



Diagnóstico ambiental del Golfo de México

Margarita Caso, Irene Pisanty y
Exequiel Ezcurra (compiladores)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Instituto de Ecología, A.C.
Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies

ÍNDICE

Volumen 2

IV. MANEJO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Perspectivas de la conservación en el Golfo de México	637
<i>Roberto de la Maza y Amaya Bernárdez</i>	
Hidrocarburos en el sur del Golfo de México	657
<i>Gerardo Gold Bouchot</i>	
Distribución y contaminación de metales en el Golfo de Mexico	683
<i>Alfonso Vázquez Botello, Susana Villanueva Frago</i> <i>y Leticia Rosales Hoz</i>	
Aprovechamiento y conservación del recurso camarón	713
<i>Adolfo Gracia</i>	
La sustentabilidad de las pesquerías del Golfo de México	727
<i>Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández,</i> <i>Porfirio Álvarez-Torres, Oscar Ramírez-Flores y</i> <i>Luis Gerardo López-Lemus</i>	
La pesca en el Golfo de México. Hacia mayores biomásas en explotación	757
<i>Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo</i>	

Hipoxia en el Golfo de México <i>Nancy N. Rabalais</i>	773
La condición reproductiva del camarón blanco <i>Litopenaeus setiferus</i> (Crustacea; Penaeidae): evidencias de deterioro ambiental en el sur del Golfo de México <i>Carlos Rosas , Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito, Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y Ariadna Sánchez</i>	791
Eutrofización costera en la península de Yucatán <i>Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden</i>	823
El delta del Misisipi: funcionamiento del sistema, impactos ambientales, y manejo sustentable <i>John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch, G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras, Dubravko Justic, Ellis Clairain, Russell Theriot</i>	851
La observación de impactos en el Golfo de México mediante imágenes de satélite <i>Raúl Aguirre Gómez</i>	883
Lineamientos para el programa regional de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y Caribe <i>D. Zárate Lomelí, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona y S. Guevara Sada</i>	899
Entre la ciencia y la política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México <i>Alejandro Toledo</i>	937
Los impactos de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas en la disminución de los humedales costeros en el delta del Misisipi <i>Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot</i>	961

V. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Hacia un manejo integrado del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México <i>Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres, Roberto Mendoza- Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez y Oscar Manuel Ramírez</i>	985
La normatividad de las zonas costeras y marinas <i>Aquilino Vázquez García</i>	1007
Monitoreo y vigilancia de las zonas costeras. Marco legal de las inspecciones de PROFEPA <i>José N. Iturriaga</i>	1033
Ambivalencias y asimetrías en el proceso de urbanización en el Golfo de México: presión ambiental y concentración demográfica <i>Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez</i>	1043
La invención del Golfo de México <i>Sergio Guevara Sada</i>	1083

Cuarta parte
EL MANEJO DE LA ZONA COSTERA
DEL GOLFO DE MÉXICO

PERSPECTIVAS DE LA CONSERVACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Roberto de la Maza y Amaya Bernardez

ANTECEDENTES

Existen testimonios de que entre 1900 y 1940 los ecosistemas nativos del Golfo de México cubrían prácticamente toda la región desértica chihuahuense y la de matorrales tamaulipecos, casi toda la Huasteca, gran parte de la región Totonaca, la de Los Tuxtlas, el Istmo, una extensión significativa de la Sierra Madre Oriental, la costa de Tabasco y prácticamente todo Chiapas y Campeche y, los cuerpos de agua dulces, salobres y marinos estaban en un buen grado de conservación. La densidad de la población en la cuenca del Golfo de México era muy baja, presentándose en promedio menos de 10 habitantes por kilómetro cuadrado. Esta situación se debía principalmente a la presencia de enfermedades infecciosas, como el vómito negro y la malaria, que obligaban a la población a ubicarse en regiones menos adversas (Genin 1931: 531-532, Revel-Mouroz 1980: 9-55; Tyler-Townsend 1898: 13-14, 19-23, Challenger 1998: 37).

Revel-Mouroz (*op. cit*) explica que, hasta la década de los años treinta, la estrategia de colonización iniciada en la década de 1920 se había venido realizando con base en la irrigación y el establecimiento de poblaciones agrícolas en las regiones áridas que, en este caso, corresponden a los distritos de riego de la cuenca del río Conchos, en Chihuahua, así como en Coahuila (Don Martín, Nadadores), Nuevo León y Tamaulipas (San Juan, Purificación, Mante, etc.).

El autor mencionado resalta también que el crecimiento demográfico del país se multiplicó de forma acelerada, partiendo de los 18 millones de habitantes con que contaba el país en 1930 para llegar a los 48 millones del censo de 1970. Es importante observar que el aumento demográfico más intenso, así como la colonización del trópico húmedo del Golfo de México, coinciden con el advenimiento de la penicilina y otros antibióticos, que abatieron los problemas sanitarios endémicos de sus ecosistemas.

De esta forma, a partir de la década de los cincuenta, se realiza un cambio en las políticas de asentamiento, con el cual se busca desplazar a los campesinos sin tierra hacia regiones deshabitadas, sin importar su productividad, condiciones sanitarias y posibilidades de desarrollo y, más que tratar de desarrollar económicamente las áreas abiertas a la colonización, se trata de evitar que la población se concentre en las regiones productivas poniendo en desequilibrio su tenencia de la tierra y la paz social. De hecho, el autor define el poblamiento de gran parte del trópico húmedo del Golfo de México como una forma de conservar las ventajas de los terratenientes de los distritos de riego, ante la creciente demanda de tierra.

Paralelo a este proceso se implementa una serie de proyectos de desarrollo industrial que inician con la extracción de petróleo en la Huasteca y la región totonaca, y continúa con Tabasco, Chiapas y Campeche. El desarrollo industrial crea la necesidad de abrir vías de comunicación, que son utilizadas por los demandantes de tierras para acceder a los relictos de ecosistemas silvestres y establecerse en ellos. Para la década de los setenta, la extracción de petróleo se desplaza a la plataforma continental marina donde se establecen una serie de pozos en la Sonda de Campeche.

Como complemento de los megaproyectos entran los programas de desarrollo agrícola, emanados de la Revolución verde que se establecen en el río Papaloapan, La Chontalpa, el Uxpanapa, Pujal-Coy, el Valle de Edzná, etc., y que, si bien no dieron resultados tangibles en la generación de riqueza y elevación del nivel de vida de los habitantes de las regiones en donde se establecieron, sí han impactado cerca de veinte millones de hectáreas de ecosistemas nativos, principalmente selvas tropicales lluviosas y humedales tropicales.

Otro factor que intervino en el deterioro ambiental de esta vertiente fue el mecanismo deficiente que se estableció para el manejo del creciente volumen de las aguas negras y los desechos solubles de la industria que, por medio de un drenaje común, se mezclan con el agua de la lluvia y son transportados hacia los arroyos o ríos más cercanos. Igualmente, los pesticidas y

fertilizantes usados en la agricultura terminan, inevitablemente, en los cuerpos de agua y en el mar.

Además, el libre establecimiento de actividades productivas inadecuadas en las regiones montañosas, como la agricultura nómada y la ganadería extensiva, ha propiciado una intensa erosión que se ha venido manifestando por medio del azolvamiento de gran parte de las cuencas inferiores de los ríos, en casi todas las lagunas costeras y estuarios, así como en la infraestructura hidráulica.

En un intento por resolver los problemas ambientales, las diferentes administraciones federales iniciaron la tarea de establecer medidas para reducir el deterioro de los bosques, montañas y cuencas.

En 1923 se decretan con carácter de “inalienables e imprescriptibles” las reservas forestales nacionales que, en la región de estudio, se encuentran representadas por la Región Boscosa de San Luis Potosí, San Luis Potosí; y El Gavilán, Veracruz. Todas ellas se establecieron sobre terrenos nacionales que fueron sujetos a reparto agrario sin atender o abrogar su decreto.

En 1931 se decreta la Zona Protectora Forestal del río Tocuila en Orizaba, Veracruz, y en 1933 se complementa con la expedición de mecanismos similares en la cuenca superior del río Blanco y en la del río Carbonera en la misma región (cabe mencionar que esta cuenca tuvo una serie de deslizamientos por deforestación hace unos meses).

En 1934 se publica el acuerdo que establece zonas protectoras forestales para los distritos nacionales de riego, que en la vertiente del Golfo de México involucra la protección de las cuencas del río Tula y Tulancingo, en Hidalgo; Conchos y Florido, en Chihuahua y Durango; Sabinas y Nadadores, en Coahuila; Alto San Juan y Salinas, en Coahuila y Nuevo León; Mante y Purificación, en Tamaulipas y Actopan, en Veracruz.

En 1936 se expiden los decretos de los parques nacionales Los Mármoles, en Hidalgo y El Potosí, en San Luis Potosí. Para 1937 se establece la Zona Protectora Forestal de la Cuenca de la Laguna de Catemaco, en Veracruz y en el mismo estado se publican los decretos para el Cofre de Perote y el Pico de Orizaba, como parques nacionales.

En el año de 1938 se publican los decretos del Parque Nacional Cañón del río Blanco y de zonas protectoras forestales para las ciudades de Orizaba y Veracruz, en Veracruz; y la de la Cuenca Hidrológica del río Necaxa, en Puebla e Hidalgo. Al año siguiente, se expide un decreto similar para la ciudad de Zacualtipán, en Hidalgo.

En 1949, el ejecutivo federal publica el decreto que establece zonas protectoras forestales vedadas, para las cuencas alimentadoras de los distritos

de riego, que se sobrepone al acuerdo previo, sin abrogarlo, e implicaría la protección de más de quince millones de hectáreas en la vertiente que nos ocupa.

En teoría, el territorio protegido por estos decretos debería haber prevenido, en un alto grado, el mal uso de los suelos montañosos y la consecuente degradación de los suelos y las cuencas hidrológicas, con implicaciones favorables para el Golfo de México, destino final de todos sus afluentes. Desgraciadamente, estos ordenamientos nunca fueron cumplidos, ni administrados por las autoridades correspondientes, ni tomados en cuenta por las encargadas del reparto agrario, de tal manera que los territorios involucrados han sido entregados a la colonización y al establecimiento de actividades productivas tradicionales, muchas veces contrarias a la vocación natural de los terrenos y sin ninguna regulación especial (De la Maza 1998: 31-51).

PANORAMA ACTUAL DE LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO RELEVANTES PARA LA CONSERVACIÓN

México cuenta con 104 millones de habitantes y, la densidad de población en los estados del Golfo se ha multiplicado. Chihuahua, Coahuila y Campeche presentan hasta 30 habitantes por km², Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Oaxaca y Chiapas, hasta 70 mientras que Puebla, Hidalgo, Veracruz y Tabasco hasta 169. Para el año 2020, se espera que la población aumente a cerca de 122,000,000 de habitantes (De Alba y Reyes 1998: 61)

Esto tiene como consecuencia una sobre demanda del uso del suelo para las actividades agropecuarias, forestales y urbanas, así como en el aumento de la población que depende de actividades extractivas de la naturaleza (leña, pesca, carne de monte, recolección, etc.), y que ha ocasionado la extirpación de grandes áreas de ecosistemas nativos, por lo que México presenta el tercer lugar en deforestación en América. Cabe mencionar que la política alimenticia nacional desarrollada sobre todo en la década de los setenta y principios de los años ochenta, contribuyó de forma acelerada a destruir ecosistemas completos que abarcaban una enorme superficie de la región. Se calcula que siguiendo los lineamientos de la *autosuficiencia alimenticia* se desmontaron cerca de 20 millones de hectáreas, incluyendo varios millones de hectáreas de selva alta perennifolia. Tan sólo en el Uxpanapa se eliminaron más de medio millón de hectáreas de selva alta para destinarlas a arrozales, de las cuales además no se extrajo ninguna cosecha debido a la violencia característica de las lluvias en la región (Caamal y del Amo

1987: 195-210).

Asimismo han desaparecido las sabanas tropicales de Tabasco, el Istmo y Veracruz y la selva tropical lluviosa, que antiguamente se distribuía desde Córdoba y los Tuxtlas hasta la Selva Lacandona. Actualmente presenta menos del 10% de su distribución original y se considera en peligro de extinción como ecorregión y máxima prioridad regional de conservación. Se encuentran en la misma situación los manglares desde la Laguna Madre, hasta Alvarado, la cuenca de Cuatrociénegas y la del río Bravo, considerados como una ecorregión vulnerable, con riesgo medio de extinción y de alta prioridad de conservación regional (Dinerstein *op. cit.*: 38, Olson 1995: XIV).

Otros ecosistemas muy presionados, aunque no se tienen cifras de su situación, son las selvas subtropicales deciduas de Veracruz y Tamaulipas, el matorral xerófilo poblano, los matorrales de dunas costeras y el bosque mesófilo de montaña (Dinerstein 1995: 17, Challenger *op. cit.*: 37).

La explosión demográfica que se presenta en el estado de Chiapas, aunada a una situación social confusa y caótica, está presionando los remanentes de la Selva Lacandona, e incluso, se está desplazando hacia la Sierra Madre de Chiapas, así como a la vecina región del Istmo húmedo de Oaxaca, poniendo en peligro, también, los remanentes de la Selva Zoque.

La elevada tasa de deforestación se manifiesta en que el 78% de la superficie del país muestra algún grado de erosión, y que entre 60 y 80 millones de hectáreas la presentan entre severa y muy severa (Peña y Neyra 1998: 194). En el Golfo, es una de las razones de que se existan procesos de desertificación en la costa norte de Tamaulipas, en los límites de Coahuila y Nuevo León, en parte de la Huasteca y en casi toda la región totonaca, así como en la región de Sotavento (De Alba y Reyes *op. cit.*: 15, 19).

También es importante resaltar que la deforestación en la cuenca del Golfo de México ha ocasionado daños en la infraestructura de desarrollo; por ejemplo, la presa Miguel Alemán (Temascal) inaugurada en 1951, se azolvó completamente en sólo 30 años debido al aporte de sólidos de la cuenca superior del río Tonto, sujeta a una feroz agricultura nómada. Esta situación se puede presentar, a mediano plazo, en el sistema hidroeléctrico del río Grijalva, involucrando la generación de La Angostura, Chicoasén y Malpaso (De la Maza 1992: 266). La deforestación es también causa directa del fuerte incremento de sedimentos terrígenos en el Golfo de México, mismos que constituyen una severa amenaza para los ecosistemas costeros y marinos.

A la deforestación se suma el sobrepastoreo, que ha deteriorado la capa-

cidad de retención acuífera de los suelos lo que, aunado a la extracción de agua de los mantos freáticos ha causado que algunos ríos, como el Conchos en Chihuahua, no hayan presentado flujo a lo largo de su cauce en cerca de una década. Otros ríos que han tenido crisis en su flujo son el Soto la Marina en Tamaulipas y el Tancochín en Veracruz. La escasez de agua en las cuencas mencionadas se está manifestando en una acelerada salinización de los suelos (De Alba y Reyes *op. cit.*: 22).

La incontenible presión demográfica lleva aparejada también la falta de planeación del desarrollo urbano, lo cual ha generado especialmente en la franja costera del Golfo de México un crecimiento descontrolado, eclécticos e insuficientes servicios urbanos, industriales y portuarios, una actividad industrial con escasa regulación ambiental, y el incremento de la presión de uso sobre los recursos naturales al presentarse descargas crudas de aguas residuales municipales e industriales, dragados frecuentes en puertos, una construcción desordenada de infraestructura con elevado impacto ambiental, exacerbamiento de mantos freáticos para abastecimiento de agua, procesos de eutrofización significativos, entre otros. La falta de planeación se refleja también en los desarrollos turísticos de la región. No ha existido un ordenamiento de dicha actividad ni una planeación a mediano y largo plazo. La capacidad de carga turística no está definida y se observa un desarrollo descontrolado e incluso a veces innecesario de infraestructura turística. El crecimiento turístico poco eficiente de la región puede afectar no sólo al entorno ambiental sino también al introducir elementos de riesgo expresados a través de un incremento en la contaminación, una degradación de los ecosistemas, y una consecuente pérdida de atractivo turístico y de empobrecimiento de la población.

Las consecuencias de la ausencia de planeación urbana y turística se han reflejado en la degradación de ecosistemas relevantes: arrecifes coralinos frente al Puerto de Veracruz y Tuxpan, manglares de la cuenca del Papalopan, y humedales de Tabasco, lagunas costeras y estuarios desde Tamaulipas hasta Yucatán, por mencionar algunos.

En el Golfo de México es preciso destacar la actividad petrolera desarrollada por Pemex desde hace varias décadas. Vale la pena señalar que la cuenca del Gran Caribe, donde se sitúa geográficamente el Golfo, se considera uno de los espacios oceánicos de mayor densidad de líneas de transporte de hidrocarburos del mundo (Intergovernmental Maritime Consultative Organisation 1979). En las dos regiones marinas del Golfo se extrae más del 78% de la producción petrolera nacional, en tanto que la producción te-

rrestre en el sur del país, principalmente en Tabasco y Chiapas, contribuye con un 20% adicional. Tan sólo en las regiones marinas de explotación existen más de 150 plataformas marinas y 1,500 kilómetros de ductos submarinos (PEMEX 1999).

La extracción y explotación de hidrocarburos tiene impactos ambientales negativos asociados al desarrollo natural de la propia actividad y también riesgos inherentes, a pesar de la permanente innovación tecnológica. En el Golfo de México se han producido accidentes de considerable magnitud. Los accidentes de alto riesgo constituyen una constante amenaza para los ecosistemas de la región. En materia de explotación petrolera existe un pasivo ambiental que, si bien ha ido disminuyendo conforme la normatividad del país se ha hecho más estricta, es importante reconocer.

Otro factor muy importante que ha deteriorado la vertiente del Golfo de México es la contaminación. Se puede considerar que cualquier afluente que curse por una población, área agrícola tecnificada o desarrollo industrial, recibe contaminantes en mayor o menor grado. Cabe aclarar que las 20 cuencas hidrológicas más importantes del país se encuentran gravemente contaminadas (Challenger *op. cit.*: 44).

En el caso de contaminación de tipo industrial sobresale la cuenca del río Sabinas, Coahuila, que obedece a la explotación de minas de carbón, y la cuenca baja del río Coatzacoalcos, que presenta residuos de la industria azufrera y petroquímica establecida entre Jáltipan y el Golfo. Los desechos de los ingenios azucareros, o beneficios cafetaleros, son un problema común en casi todos los afluentes del Golfo de México.

La contaminación por pesticidas y herbicidas agrícolas es difusa, acumulativa y se presenta en casi todas las cuencas en diferentes concentraciones. Provoca diversos tipos de envenenamiento, o carcinogénesis, dependiendo del compuesto químico de los productos y ataca a todos los organismos que ingieran o vivan en el agua, o bien a quienes consuman la fauna acuática o los productos pesqueros de los cuerpos de agua contaminados (fauna silvestre, ganado, habitantes ribereños, comensales de restaurantes, etc.). Esta contaminación se intensifica abajo de cualquier área de agricultura tecnificada (granos, algodón, fruticultura, cafeticultura, etc.) y se acentúa cuando los afluentes presentan esteros con salidas intermitentes al mar, o en cuencas cerradas, lagunas y represas.

Un factor más de contaminación química son los detergentes, blanqueadores de ropa y cosméticos, a la que se suman sus envases. También se presenta en forma generalizada, afectando todas las cuencas y hasta sus

más humildes arroyos.

La contaminación por aguas negras es producto del drenaje de cualquier población y por ello, se presenta en cualquier afluente que reciba flujos de asentamientos humanos. Esta contaminación se agrava cuando las poblaciones en una cuenca presentan cientos de miles de habitantes, y se vuelve crítica en el caso de conurbaciones caóticas como en el caso de la cuenca Tula-Moctezuma-Pánuco que recibe el flujo de la zona metropolitana del Valle de México, la del río Santa Catarina, que recibe el aporte de aguas negras de Monterrey, o la que se presenta entre Nogales y Córdoba que ha convertido al río Blanco en uno de los afluentes más contaminados de la cuenca del Golfo. Se detectan coliformes fecales en muchos sistemas lagunares y cuerpos de agua de Campeche, Veracruz y Tabasco. A este tipo de contaminación obedecen, en gran parte, los procesos de eutroficación de las lagunas de Tampamachoco y Mandinga (INE 2000).

La contaminación marina y costera más conspicua proviene precisamente de las descargas de aguas residuales municipales, debido a la ausencia o ineficiencia de plantas de tratamiento de agua en las grandes ciudades de la región. La descarga directa de aguas residuales ha dado como resultado condiciones potencialmente peligrosas para la salud humana y el ambiente marino. En las costas mexicanas del Golfo de México prácticamente todas las poblaciones costeras descargan sus desechos domésticos en los ríos, estuarios, lagunas costeras y el mar sin ningún tratamiento previo (Botello *et al.* 1996).

Como consecuencia de lo anterior las lagunas costeras del Golfo de México se encuentran altamente presionadas, se ha detectado la presencia de metales, compuestos orgánicos persistentes e hidrocarburos, como se mencionó previamente, en los sedimentos de los principales sistemas lagunares costeros de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche.

La actividad pesquera ha sido otro factor de presión sobre los recursos naturales de la región. En el Golfo de México se ubica la segunda flota camaronera del país, donde se extraen también volúmenes importantes de especies comerciales de moluscos (sobre todo caracol) y de algunos otros crustáceos. El acceso desordenado a los recursos pesqueros ha deteriorado el hábitat y afectado ecosistemas marinos y costeros en parte del litoral de los cinco estados colindantes. La pesca es además motivo de conflictos sociales de consideración en regiones marginadas, donde el acceso a los recursos adquiere un mayor valor.

No son sólo los recursos pesqueros los que se ven presionados por un

acceso desordenado. La ausencia y/o la ambigüedad de los derechos de propiedad sobre la tierra fomentan la extracción descontrolada y alarmante de grava y arena en algunos puntos del Golfo, ocasionando serias alteraciones en la dinámica de transporte de litoral y en la línea de costa.

Finalmente, se observa en toda la región una evidente fragmentación de políticas públicas y de enfoques sectoriales, que obstaculizan las acciones de conservación. No existe integralidad en la política regulatoria de costas y océanos, de cuencas hidrográficas y de otras unidades territoriales, y se da una actuación fragmentada de las instituciones gubernamentales en los tres niveles de gobierno. Las herramientas de política ambiental, como el ordenamiento ecológico del territorio, el ordenamiento pesquero y la evaluación de impacto ambiental, tienen que cobrar un significado regional y aplicarse con mayor énfasis localmente.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Las áreas naturales protegidas representan una de las herramientas más sólidas y contundentes de la política ambiental, y constituyen el instrumento toral de la conservación. Conforman verdaderas instituciones dado que se comportan como unidades bien definidas de gestión territorial, tienen una sólida infraestructura jurídica de manejo, y cuentan con eficaces estructuras de organización local y una alta certidumbre. Propician además mecanismos de concurrencia entre los diferentes órdenes de gobierno, el sector privado y la población local, y resultan estratégicas como base de las políticas ambientales y de gestión pública integral.

Tienen como objetivo garantizar los alcances de los servicios ecológicos que prestan los ecosistemas, alcanzar la protección y conservación de todos los ecosistemas del país, conservar las áreas que proporcionan servicios ambientales estratégicos y su diversidad biológica, colaborar en detener y revertir los procesos de erosión y deforestación y en promover el uso sustentable de los recursos naturales, incluyendo la eficiencia en el uso del agua y la energía.

LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS FEDERALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Existen 12 áreas naturales protegidas federales en los cinco estados que colindan con el Golfo de México, de las cuales nueve cuentan con presupuesto, equipamiento y personal. Si se considera que el Golfo de México termina en Cabo Catoche, Quintana Roo, es necesario incluir también a Yum Balam,

que además comparte algunos ecosistemas con Río Lagartos.

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Veracruz	PN Sistema Arrecifal Veracruzano. 24 de agosto de 1992 Recategorizada el 7 de junio del 2000.	52,239
Veracruz	RB los Tuxtlas 23 de noviembre de 1998	155,122
Veracruz	PN Cañón del Río Blanco* 22 de marzo de 1938	55,690
Veracruz	PN Cofre de Perote* 4 de mayo de 1937	11,700
Veracruz y Puebla	PN Pico de Orizaba* 4 de enero de 1937	19,750
Tabasco	RB Pantanos de Centla 6 de agosto de 1992	302,707

ECOSISTEMAS RELEVANTES

RESUMEN AMENAZAS

* Arrecife coralino.
 * Vegetación halófito.
 * Ecosistemas de dunas
 costeras nativas.

* Sedimentación
 * Descargas de aguas domésticas e industriales en crudo
 * Saqueo de material coralino y arena.
 * Chapopoterías naturales que incrementan sedimento en
 suspensión
 * Actividad y tráfico portuario (dragados, vertimiento
 aceites y combustibles, encallamientos)
 * Marea roja

* Selva baja caducifolia
 * Selva mediana perennifolia
 * Bosque mesófilo

* Incendios por quemas no controladas
 * Contaminación por fertilizantes y basura en arroyos
 presentes en el área.
 * Deforestación por tala clandestina.

* Selva mediana perennifolia
 * Bosque de pino y mesófilo
 de montaña

* Incremento asentamientos humanos.
 * Tala clandestina.
 * Incendios forestales provocados.
 * Contaminación de cuerpos de agua por actividad
 industrial.

* Bosque de pino
 * Oyamel

* Explotación de recursos (madera).
 * Tala inmoderada.
 * Falta de regulación en el uso del suelo.
 * Incendios forestales.

* Bosque de pino
 * Oyamel
 * Encino
 * Aile

* Creciente demanda de los recursos naturales.
 * Disminución de la superficie arbolada por el cambio de
 uso de suelo.
 * Incendios forestales.
 * Cacería furtiva.
 * Tala.

* Pantanos
 * Marismas
 * Selva baja subperennifolia
 * Manglar

* Fuerte contaminación generada principalmente por el
 desarrollo urbano y la actividad petrolera, que provocan
 retención de agua y desecación en los pantanos, así como
 modificación en el sistema hídrico.

(Continúa)

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Campeche	RB Calakmul 23 de mayo 1989	723,186
Campeche	RB los Petenes 24 de mayo de 1999	282,858
Campeche	APFF Laguna de Términos. 6 de junio de 1994	705,017
Yucatán	RB Ría Celestún 19 de julio de 1979 Recategorizada el 27 de noviembre del 2000	81,482
Yucatán	RB Ría Lagartos 26 de junio de 1979 Recategorizada el 21 de mayo de 1999	60,347

ECOSISTEMAS RELEVANTES

RESUMEN AMENAZAS

*Vegetación acuática
 *Palmares
 *Selva mediana (pukte)

*Cacería furtiva, (tortuga y lagarto).
 *Incendios forestales

*Selva alta mediana y baja
 subperennifolia
 *Vegetación hidrófita

*Contaminación generada por actividad turística.
 *Cambio de uso del suelo.

*Manglar
 *Matorral de zonas áridas
 *Selva húmeda perennifolia
 *Selva subhúmeda caducifolia

*Impactos generados por el crecimiento de la mancha urbana.
 *Contaminación orgánica causada por desechos sólidos
 *Amenaza de impactos causados por fenómenos naturales

*Praderas de pastos
 sumergidos
 *Bosques de manglar
 *Tular
 *Vegetación riparia.
 *Popal
 *Sistemas hidrológicos
 *Sistema fluvio-lagunar

*Azolve del sistema fluvio-lagunar provocado por la deforestación en la cuenca alta.
 *Crecimiento urbano desmedido: contaminación del manto freático, eutroficación y contaminación de la laguna.
 *Fuerte presión por el material pétreo.
 *Extracción de arena que modifica línea de costa y provoca cambios al sistema hídrico.

*Manglar
 *Vegetación de dunas
 costeras
 *Petenes y sabana
 *Tulares
 *Carrizales
 *Selva baja inundable
 *Selva baja Caducifolia con cactáceas

*Conflicto por recursos pesqueros (Celestún-Isla Arena)
 *Contaminación orgánica causada por desechos sólidos
 *Impactos causados por fenómenos naturales.

*Selva baja caducifolia
 *Dunas
 *Costeras
 *Manglar
 *Selva mediana

*Incendios forestales
 *Introducción de especies exóticas
 *Ganadería extensiva
 *Uso de plaguicidas y herbicidas
 *Extracción de especies de flora ornamental

(Continúa)

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESTADO	ÁREA NATURAL PROTEGIDA	SUPERFICIE (HA)
Yucatán	PN Arrecifes Alacranes 6 de junio de 1994 Recategorizada el 7 de junio del 2000	333,769
Quintana Roo	APFF Yum Balam 6 de junio de 1994	154,052

*Areas naturales protegidas sin presupuesto federal asignado.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas tiene como estrategia para la conservación y consolidación de las ANP de la región:

- Conservar las áreas que poseen servicios ambientales estratégicos, elementos de interés nacional, así como la biodiversidad marina y terrestre a través del diagnóstico, establecimiento y consolidación de las zonas.
Fomentar los mecanismos y espacios de participación y corresponsabilidad social en la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y sus ecosistemas en las ANP, con los diferentes sectores de la sociedad involucrados.
Fomentar el aprovechamiento, uso sustentable y conservación de la vida silvestre.

ECOSISTEMAS RELEVANTES	RESUMEN AMENAZAS
* Arrecife coralino	*Amenazas por el paso de huracanes y tormentas tropicales *Cacería clandestina. *Pesca furtiva *Extracción de especies de flora y fauna arrecifal. *Impactos ocasionados por fenómenos naturales *Impactos a la zona de arrecifes ocasionada por el turismo.
* Selva tropical mediana-baja y bajas inundable * Bosque de manglar chaparro o mangle rojo * Humedales del norte en la península de Yucatán * Selvas tropicales	* Desarrollo turístico que puede incrementar contaminación del área.

- Proteger la biodiversidad reconociendo los beneficios económicos que aporta al desarrollo de la sociedad y del país.
- Consolidar los esquemas de sustentabilidad financiera y turística de las ANP, a través de la instrumentación y permanente mejora del cobro de derechos por acceso a las ANP con vocación turística de la región.
- Impulsar nuevos mecanismos de conservación de la biodiversidad, como la certificación de tierras privadas para la conservación.
- Establecer nuevos decretos de áreas naturales protegidas en aquellas áreas, terrestres o marinas prioritarias para la federación, y realizar la redelimitación, recategorización, derogación o abrogación de las existentes.
- Promover y actualizar permanentemente información de las UMA en las ANP y establecer áreas de manejo sustentable de vida silvestre.

- Fortalecer y desarrollar proyectos de recuperación de especies prioritarias identificadas en alguna categoría de riesgo.
- Desarrollar e impulsar mercados verdes: redes de ecoturismo, comercialización de productos orgánicos, diversificación productiva.
- Introducir incentivos económicos y fiscales en las ANP: exención de impuestos (IVA o ISR) en proyectos de ecoturismo, exención del impuesto predial a propietarios que destinen sus predios a la conservación, etc.

LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO NATURAL DEL GOLFO DE MÉXICO A LARGO PLAZO

Se debe impulsar en la región un conjunto de políticas públicas que garanticen la permanencia del capital natural del Golfo, refuercen el desarrollo económico y mejoren la calidad de vida de su población. Las estrategias de conservación por tanto, tendrán que ligarse a la economía regional, para alcanzar los objetivos de sustentabilidad deseados.

ECOSISTEMAS RELEVANTES A CONSERVAR

En el Golfo de México existen ecosistemas que deben ser incluidos en algún esquema de protección, dada su relevancia ante la biodiversidad y los servicios ecológicos que prestan. Es preciso destacar los siguientes: sistema lagunar de Laguna Madre, Tamaulipas, los arrecifes coralinos frente a Tuxpan y los que se ubican en la Sonda de Campeche, la selva mediana y el bosque mesófilo de Otontepec, Veracruz, la selva zoque de Oaxaca, Veracruz y Chiapas, la selva y el bosque mesófilo de la Chinantla en Oaxaca, la selva alta de la región de Motzorongo, Veracruz, las selvas mixte y zapoteca del Istmo, los manglares de Alvarado y los bosques de la Sierra Madre Oriental de Tamaulipas.

SERVICIOS AMBIENTALES

El pago por servicios ambientales constituye una herramienta relativamente novedosa dentro de las acciones de conservación en México. Mediante su aplicación se induce a los propietarios, a conservar intacta la cobertura vegetal original del predio. Existe ya un fondo forestal creado por la CONAFOR cuyos recursos se destinarán a servicios ambientales en materia forestal y de

agua. Además de este fondo será preciso utilizar recursos económicos tradicionales, como pueden ser los que provienen del Programa de Empleo Temporal (PET) y del Programa de Desarrollo Rural Sustentable (PRODESA) para fomentar los servicios ambientales en ANP y en regiones prioritarias para la conservación. Se le daría prioridad a proyectos que conserven la vegetación original intacta antes que a aquéllos que pretendan rehabilitar predios deforestados, como ocurre actualmente. Con objeto de garantizar el abasto de agua mediante la conservación de las cuencas, se puede introducir el pago de servicios ambientales a propietarios que conserven bosques cuenca arriba.

INTEGRALIDAD Y ARMONIZACIÓN DE LA LEGISLACIÓN, NUEVOS MECANISMOS DE CONCURRENCIA

La regulación de los recursos naturales, sobre todo en la franja costera, se da mediante una evidente sobreposición de leyes, funciones y atribuciones de las instituciones a cargo de su aplicación, lo cual incrementa la complejidad jurídica y paradójicamente, crea vacíos importantes que dificultan los procesos regulatorios para la conservación del patrimonio natural. En el Golfo de México se debe armonizar la legislación de toda la región, creando un marco jurídico sólido que introduzca el concepto del manejo integral de los ecosistemas, de los recursos naturales, de la zona costera y de las cuencas, sin fronteras estatales o divisiones políticas ficticias.

Por su lado, resulta imperativo crear nuevos mecanismos de concurrencia que garanticen la inclusión de variables ambientales y la viabilidad ambiental de los planes de desarrollo urbano, de los planes de desarrollo turístico, y de proyectos especiales de desarrollo de infraestructura como pueden ser puertos, muelles, carreteras, aeropuertos, confinamientos, hoteles, entre otros. Se debe contar con acuerdos entre centros académicos o de investigación para programas de monitoreo, educación ambiental, conservación y acuerdos institucionales para incrementar vigilancia, y acuerdos de coordinación con gobiernos estatales y locales.

SOLIDEZ EN LA APLICACIÓN DE LA POLÍTICA AMBIENTAL

La preservación del capital natural de la región requiere de una sólida aplicación de algunos instrumentos estratégicos de la política ambiental: creación de nuevas áreas naturales protegidas y consolidación de las existentes, conti-

nuidad de los mecanismos financieros recaudatorios y de control en ANP (cobro de derechos), fomento a la certificación de terrenos privados para la conservación, impulso a ordenamientos ecológicos del territorio en zonas de interés especial por su potencial turístico, urbano o industrial e impulso a ordenamientos regionales, ordenamientos pesqueros en zonas donde exista un aprovechamiento desordenado y/o exacerbado de los recursos pesqueros, inducción de un manejo de las pesquerías basado en el hábitat (que busque mantener o rehabilitar la estructura y función del ecosistema que albergue a las especies comerciales) y, en el caso de que el proyecto lo amerite, exigir manifestaciones de impacto ambiental de carácter regional.

RECREACIÓN

El ecoturismo debe impulsarse como un vehículo de desarrollo económico regional y también como un instrumento de sustentabilidad ambiental; sin embargo, para llevarse a cabo con éxito requiere ubicarse en un marco adecuado de regulación, ordenamiento y planeación, especialmente dentro de ANP. Su impulso es fundamental puesto que crea un círculo virtuoso entre la conservación y el fortalecimiento económico de la población al darle valor a una serie importante de servicios ambientales: la biodiversidad como patrimonio de la población, los servicios escénicos y paisajísticos, el hábitat de especies carismáticas, y el aporte de información biológica, cultural, evolutiva y ecológica que incrementa la calidad y el valor agregado de los productos turísticos y crea, por tanto, mayores oportunidades de recreación. El ecoturismo es una actividad de valorización intrínseca no consuntiva del capital natural dado que promueve el deseo de ver conservadas *per se* ciertas especies y ecosistemas, e implica una forma de uso con bajos costos de oportunidad al incrementar la eficiencia social y ambiental. Cabe destacar que representa una muy buena opción para internalizar beneficios ambientales, puesto que quienes conservan y usan los ecosistemas (comunidades, propietarios y operadores) son remunerados adecuadamente por la sociedad. El desarrollo planeado y ordenado de la actividad puede crear un nuevo marco regional de incentivos a favor de la conservación del patrimonio ecológico, fortalecido mediante el establecimiento de convenios institucionales con inversionistas y operadores, que permitan garantizar una derrama económica local, una capacitación permanente de las comunidades y un porcentaje de las ganancias producto de la actividad destinado directamente a proyectos de conservación.

BIBLIOGRAFÍA

- Botello A., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz Gonzalez y S. Villanueva 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. p. 25-44. En: A. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (eds.). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, México
- Caamal, M. A. y R.S., del Amo 1987. La milpa múltiple corno punto de partida del manejo de la sucesión secundaria. *Turrialba*, 37(1):195-210.
- Challenger, A. 1998: *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*. CONABIO-IBUNAM-Sierra Madre, México D.F., México.
- De Alba, E. y M. Reyes 1998. Contexto físico en: *La diversidad biológica de México, estudio de país*. CONABIO, México D.F., México.
- De la Maza, E. R. 1992. El uso del suelo en los Altos de Chiapas y sus perspectivas a mediano plazo. Memorias del Primer congreso internacional de mayistas. Instituto de Investigaciones Filológicas, UNAM, México D.F., México.
- 1998: Antecedentes históricos en: *Natura mexicana, Áreas naturales protegidas*. Banco de Comercio Exterior, México D.F., México. Pp. 31-51.
- Dinerstein E. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. World Wildlife Found and The World Bank. Washington DC., EE.UU.
- Genin A. 1931: *Les francais au Mexique, du XVI siecle a nons jours*. Nouvelles editions Argo, París, Francia.
- Instituto Nacional de Ecología 2000. Base de datos de calidad del agua en zonas costeras, 1996. México.
- Intergovernmental Maritime Consultative Organisation (IMCO). 1979. *Report on Study IV*. IMCO paper MP XIII 6. London, England.
- Olson D. 1995. *Freshwater biodiversity of Latin America and the Caribbean, a conservation assesment*. World Wildlife Found and The World Bank. Washington DC., EE.UU.
- PEMEX 1999: *Informe. Anuario Estadístico 1999*. PEMEX, México.
- Peña A. y L. Neyra 1998. Amenazas a la biodiversidad en: *La diversidad biológica de México, estudio de país*. CONABIO, México D.F., México.
- Revel-Mouroz, J. 1980. *Aprovechamiento y colonización del trópico húmedo mexicano*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Tyler-Townsend, C.H. 1898. Notas acerca de la biogeografía de México. *Anales del Museo Nacional de Ciencias*, México D.F., México. Tomo VI, apéndice.

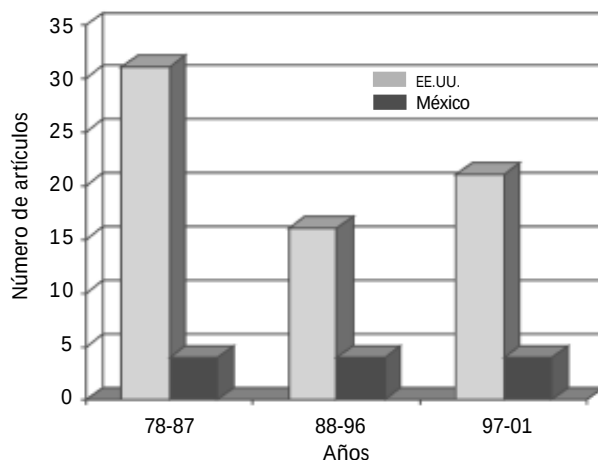
HIDROCARBUROS EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

Gerardo Gold Bouchot

INTRODUCCIÓN

La contaminación por petróleo es en particular uno de los tópicos más llamativos actualmente, por lo atractivo que resultan para los medios de difusión las imágenes de buques tanque derramando petróleo, y de aves y otros organismos cubiertos de brea, etc. En el sur del Golfo de México hay una polémica en la prensa, desgraciadamente sin bases científicas, sobre el papel que ha jugado la industria petrolera en la disminución —catastrófica en el caso de algunas especies— de la captura pesquera. Desgraciadamente este interés no ha ido acompañado de un aumento en las investigaciones sobre el efecto de los hidrocarburos en nuestros litorales. Una revisión bibliográfica usando la base de datos ASFA (*Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*) para el período 1977-2002 arrojó que se han publicado solamente 12 artículos en revistas de circulación internacional de investigadores mexicanos sobre la contaminación por petróleo en el Golfo de México (figura 1), lo que da un promedio de menos de 0.5 artículos por año; mientras que en el mismo período se publicaron 68 artículos en los Estados Unidos de América. Este es un número muy bajo, y desde luego no aporta la información sólida que se necesita para determinar el efecto real de la contaminación, y para tomar las medidas de manejo pertinentes que aseguren un desarrollo sustentable de los recursos.

FIGURA 1. NÚMERO DE ARTÍCULOS PUBLICADOS SOBRE CONTAMINACIÓN POR PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO POR AUTORES DE MÉXICO Y LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA



El bajo número de publicaciones también es indicativo del reducido número de laboratorios de contaminación funcionando en el litoral Atlántico de México, y las políticas de financiamiento de la investigación que no priorizan este tipo de estudios. También refleja el hecho de que hay una gran cantidad de información en la llamada “literatura gris”, esto es, reportes técnicos, tesis, etc. que no están disponibles públicamente, y por lo tanto no pueden analizarse.

El petróleo es una sustancia muy compleja, formada por miles de compuestos diferentes, principalmente hidrocarburos —compuestos formados únicamente por carbono e hidrógeno— metales, azufre, etc. También están presentes compuestos heterocíclicos, con la presencia de átomos de nitrógeno y oxígeno (Gold 2000). El petróleo se forma por procesos químicos que transforman material orgánico de diferentes fuentes, en ambientes geológicamente diversos. Esto ocasiona que haya diferencias notables en la composición de cada yacimiento, lo que complica aún más el ambiente por la presencia de decenas de productos de refinación tales como las gasolinas, diesel, aceites lubricantes, combustóleo, asfaltos, etc. (Wang y Fingas 2003).

A diferencia de otros contaminantes, entre los que destacan los plaguicidas, los fármacos y las sustancias de origen industrial, el petróleo es de origen natural por lo que muchos organismos están adaptados a su presencia e incluso hay bacterias y hongos que lo degradan. El petróleo puede llegar al mar a partir de diferentes fuentes, siendo la principal las operaciones asociadas al transporte por barco (National Academy of Science 1985).

Una vez que el petróleo ingresa al mar está sujeto a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que en conjunto se denominan *intemperismo*. Los principales procesos son:

Dispersión. Por estar compuesto por sustancias hidrofóbicas, el petróleo se dispersa sobre la superficie del agua, formando grandes manchas. Esto incrementa el área expuesta al sol, oleaje, etc.

Fotólisis. La luz del sol, principalmente la parte ultravioleta modifica el petróleo, formando principalmente productos de oxidación.

Emulsificación. El viento y el oleaje forman una emulsión de agua en aceite (Fingas y Fieldhouse 2003), conocida como “*mousse* de chocolate”, que al llegar a las playas forma las bolas de alquitrán comunes en todo el litoral del Golfo.

Evaporación. Este es un proceso muy rápido, que en unas cuantas horas puede separar hasta la mitad del petróleo derramado.

Adsorción. Por ser una sustancia hidrofóbica, el petróleo tiende a adsorberse sobre las partículas del sedimento en suspensión, así como sobre los organismos del plancton. Este proceso favorece la degradación del petróleo (Owens y Lee 2003).

Sedimentación. El petróleo se adsorbe sobre las partículas en suspensión, incluyendo al plancton, y eventualmente se sedimenta.

Biodegradación. Una serie de organismos, particularmente bacterias y hongos, pueden degradar el petróleo, e incluso se ha desarrollado una industria usando microorganismos para degradar manchas de petróleo derramado.

Todos estos procesos afectan de manera diferente la composición del petróleo, aumentando aún más su complejidad, lo que hace que el análisis químico y la evaluación toxicológica del petróleo sean muy complejas. Esto es particularmente importante cuando se trata de determinar el origen del petróleo que se encuentra en el ambiente para determinar posibles responsabilidades legales (Wang y Fingas 2003). Determinar de qué barco —o si es de los pozos o de filtraciones naturales— proviene un derrame es uno de los problemas más complicados en la química analítica ambiental.

Hay una serie de técnicas analíticas, desarrolladas en el campo de la geoquímica del petróleo para determinar la madurez, roca de origen, migración, etc. de los yacimientos petroleros. Estas técnicas se basan en el uso de biomarcadores moleculares tales como los perfiles de alquilación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular —como naftalenos y fenantrenos, —, los dibenzotiofenos, hopanos, norhopanos, etc. (Wang y Fingas 2003). Estos biomarcadores moleculares se han usado también exitosamente como indicadores de origen de los hidrocarburos en el ambiente, su grado de intemperismo, etc.

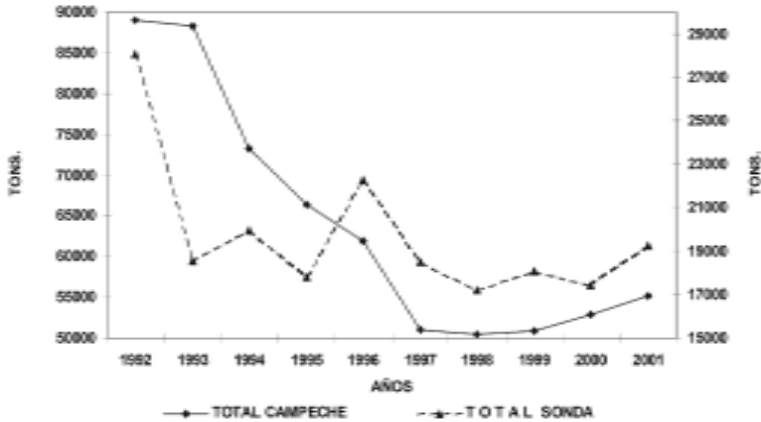
ANTECEDENTES

La zona de explotación petrolera en el Golfo de México abarca una superficie de varios miles de kilómetros cuadrados, que por su visibilidad, y por los grandes recursos que maneja la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos (Pemex), ha sido objeto de grandes controversias sociales, pues se le atribuye la disminución de las capturas de las principales especies pesqueras, incluyendo desde luego al grupo de especies de mayor valor comercial, que es el camarón. Sus capturas y en especial la de camarón rosado (*Farfantepenaeus duorarum*), han disminuido dramáticamente en los últimos 20 años (figura 2), lo que ha ocasionado una gran presión social para resolver este problema, pues esta pesquería genera miles de empleos tanto en la pesca como en la industria empackadora.

Se asegura por los medios masivos de difusión y por los pescadores que la contaminación por hidrocarburos del petróleo, así como la prohibición de pescar dentro del área de explotación petrolera, han sido la causa de la caída de las capturas. Sin embargo, en foros académicos se han sugerido otras posibilidades como el cambio climático global, la disminución de la variabilidad genética, la sobrepesca y la captura de juveniles en aguas interiores, por lo que parece ser un problema multifactorial.

Ya que se han publicado un par de revisiones sobre el problema de la contaminación petrolera en las lagunas costeras de México, incluyendo al Golfo de México (Vázquez Botello *et al.* 1994), y las lagunas del sur del Golfo de México (Gold Bouchot *et al.* 1999a), este apartado revisará sobre todo el estado del conocimiento sobre los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés) y el efecto de la actividad petrolera en el sur del Golfo de México durante los últimos 13 años (desde 1990 a la fecha).

FIGURA 2. CAPTURAS DE CAMARÓN EN LA SONDA DE CAMPECHE, DE 1982 A 2001



HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS Y ORGANISMOS DE LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS

Los sedimentos son el destino final de muchos contaminantes, y en particular de aquellos que son hidrofóbicos. En el cuadro 1 se presentan las concentraciones promedio de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en sedimentos de diferentes lagunas costeras y bahías del litoral Atlántico de México. También se incluyen, para comparación, la concentración considerada alta para el norte del Golfo de México por el Status and Trends Program de la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NOAA) de los Estados Unidos de América (O'Connor 1990), así como la concentración crítica reportada por Long y Morgan (1990), que es la concentración a partir de la cual se esperan efectos tóxicos sobre la biota.

En este cuadro hay varios resultados que son notables. Primero, que las concentraciones de PAH totales en varias lagunas costeras y bahías mexicanas, y en particular las del estado de Veracruz, rebasan el valor considerado como alto ($2.4 \mu\text{g/g}$) para el norte del Golfo de México por la NOAA (O'Connor, 1990). Segundo, en ningún caso la concentración promedio en las lagunas y bahías rebasa, o se aproxima, al valor crítico de Long y Morgan

CUADRO 1. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH TOTALES, ASÍ COMO DE ALTO Y BAJO PESO MOLECULAR, EN LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS DEL LITORAL ATLÁNTICO MEXICANO

LAGUNA/BAHÍA	PAH (µg/g)	BPM* (µg/g)	APM§ (µg/g)	REFERENCIA
Chetumal	2.34	0.27	2.17	Noreña-Barroso <i>et al.</i> 1998.
Sian Ka'an	1.16	0.55	0.80	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1999b.
Salada	6.65	0.21	6.44	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Llano	5.00	0.31	4.69	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Mandinga	5.68	0.80	4.88	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Mancha	6.73	0.39	6.34	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 2001.
Pueblo Viejo	3.81	1.12	2.08	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Tamiahua	3.42	0.88	2.54	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Tampamachoco	4.48	1.21	3.27	Vazquez-Botello <i>et al.</i> 1998.
Mecoacán	0.95	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
Carmen	1.31	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
Machona	1.85	N. R.	N. R.	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997.
"Alto" EUA	2.4			O'Connor 1990
Crítico	35.0			Long y Morgan 1990

*BPM = PAH de bajo peso molecular; §APM = PAH de alto peso molecular; N. R. = No reportado.

(1990) de 35.0 µg/g, a partir del cual se considera probable que haya daños a la biota, por lo que no es probable que estos compuestos sean tóxicos para los organismos que habitan estos sitios.

Es común agrupar a los hidrocarburos aromáticos policíclicos de acuerdo con su peso molecular, para tener una indicación de su origen. Así, se agrupan las concentraciones de hidrocarburos de bajo peso molecular como la suma de las concentraciones de los hidrocarburos de dos y tres anillos bencénicos (naftaleno, bifenilo, fenentreno y antraceno, así como sus derivados metilados, principalmente). Los hidrocarburos de alto peso molecular son aquellos de cuatro y cinco anillos bencénicos (pireno, los benzo(x)pirenos, benzo(x)antracenos, perileno, etc.). Si la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular es mayor que la de los de alto peso molecular, se considera que estos compuestos se origi-

naron en el petróleo; mientras que si la situación es opuesta, esto es, si predominan los hidrocarburos de alto peso molecular se considera que se originaron en procesos de combustión incompleta (incendios forestales, chimeneas de fábricas, etc.), asfaltos de pavimentación de calles o provienen de productos de refinación del petróleo como los aceites para motor (Wade *et al.* 1994, Noreña-Barroso *et al.* 1998). En todos los ecosistemas costeros para los que hay información disponible, la concentración de PAH de alto peso molecular rebasa la de los PAH de bajo peso molecular, lo que indica que el petróleo no es la fuente de estos compuestos, sino aceites de motor y/o compuestos provenientes de la combustión incompleta de materia orgánica. Esto debe confirmarse por un análisis más detallado, usando otros biomarcadores geoquímicos (Wang y Fingas 2003).

Se pueden usar otros índices geoquímicos de origen de los PAH, como por ejemplo el grado y patrón de alquilación de los naftalenos, fenantrenos y antracenos, pero debido a que la mayoría de los estudios ambientales se enfocan en los PAH considerados prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, no es posible calcular otros índices, pues los compuestos necesarios no se cuantifican.

En el cuadro 2 se presentan las concentraciones promedio de PAH en organismos de diferentes ecosistemas costeros en el Atlántico mexicano.

En este cuadro se pueden ver los promedios de las concentraciones de PAH en ostiones (*C. virginica*) y bagres (*A. assimilis*). Los datos entre las dos especies no son directamente comparables, pues además de ser especies con

CUADRO 2. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH EN ORGANISMOS DE LAGUNAS COSTERAS Y BAHÍAS DEL LITORAL ATLÁNTICO MEXICANO

LAGUNA/BAHÍA	PAH (NG/G)	ORGANISMO	REFERENCIA
Carmen	232	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Machona	404	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Mecoacán	219	<i>C. virginica</i>	Gold-Bouchot <i>et al.</i> 1997
Términos	1,900	<i>C. virginica</i>	Noreña-Barroso <i>et al.</i> 1999
Chetumal	77,000	<i>A. assimilis</i>	Noreña-Barroso <i>et al.</i> en prensa
Promedio STP	536	<i>C. virginica</i>	Jackson <i>et al.</i> 1994

diferencias metabólicas notables, en el caso de los ostiones los datos son para el tejido blando completo, mientras que para los bagres el análisis se hizo en el hígado, pero se incluyen para propósitos ilustrativos. Se incluyen también las concentraciones promedio para la misma especie obtenidas del Status and Trends Program de la NOAA.

El caso del bagre es notable que las concentraciones observadas son mucho más altas que para los ostiones; de hecho en esta especie se observó una alta incidencia de lesiones histológicas, e incluso tumores. Las concentraciones de PAH en ostiones son en general más bajas que las obtenidas por la NOAA para la misma especie en el norte del Golfo de México, con la excepción de la Laguna de Términos, donde se encontró una concentración promedio casi cuatro veces mayor que la reportada por la NOAA.

En los organismos no se puede usar la proporción entre PAH de alto y bajo peso molecular porque pueden haber procesos de bioacumulación y/o metabolismo diferencial que pueden afectar las concentraciones medidas de los PAH.

HIDROCARBUROS EN EL BANCO DE CAMPECHE

Se presenta una panorámica a dos escalas espaciales: a gran escala, abarcando todo el sur del Golfo de México y a pequeña escala, restringiéndose únicamente al área petrolera y sus alrededores.

A) Gran escala

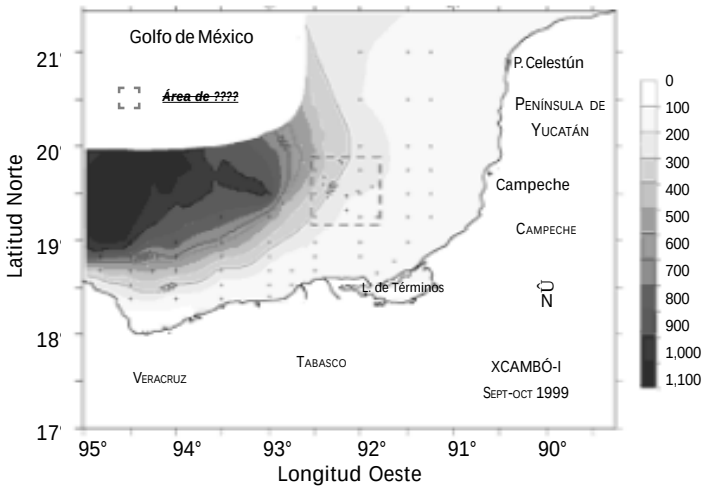
En la campaña oceanográfica Xcambó 1 se abarcaron 69 estaciones de muestreo, desde un poco al oeste de la desembocadura del río Coatzacoalcos hasta la costa occidental de la Península de Yucatán (figura 3).

En la figura 4 puede verse la distribución espacial de los hidrocarburos totales en el sur del Golfo de México.

Como puede verse, el máximo de concentración se encuentra en la zona de plataformas petroleras, indicando el posible impacto de las actividades de extracción sobre el ecosistema marino de la zona. Sin embargo, examinando los resultados de la fracción más tóxica, que es la de los PAH, se obtiene otra visión del problema.

Los resultados promedio de los PAH de bajo y alto peso molecular en sedimentos para la campaña Xcambó en 1999, así como en la campaña Camarón 1 en 2002, se presentan en la figura 5. Puede verse que predomina la concentra-

FIGURA 3. RED DE ESTACIONES DE MUESTREO DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ 1



ción de PAH de alto peso molecular en ambas campañas, lo que indica que la fuente principal de estos compuestos no es el petróleo, sino compuestos formados por combustión incompleta de materia orgánica y/o productos de refinación como los aceites para motores de combustión interna.

Un punto interesante es que esta proporción se mantiene constante en el tiempo, lo que indica que la(s) fuente(s) de estos compuestos permanece. Una indicación de cual es esta fuente se puede observar en la figura 6, que muestra la distribución espacial de los PAH de alto peso molecular.

A diferencia de los hidrocarburos totales, que tuvieron su máxima concentración en la zona de plataformas de PEMEX, las concentraciones máximas de PAH de alto peso molecular están frente a la desembocadura del río Coatzacoalcas. Esta es la zona donde se localizan las refinerías más importantes del país, además de una zona urbana muy importante. La evidencia geoquímica por lo tanto apunta a que la principal fuente de PAH en el sur del Golfo de México no es la actividad de extracción en el Banco de Campeche sino las descargas de los ríos.

Otro contaminante comúnmente asociado a la extracción petrolera es el bario, que se usaba en forma de barita en los fluidos de perforación. Este

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

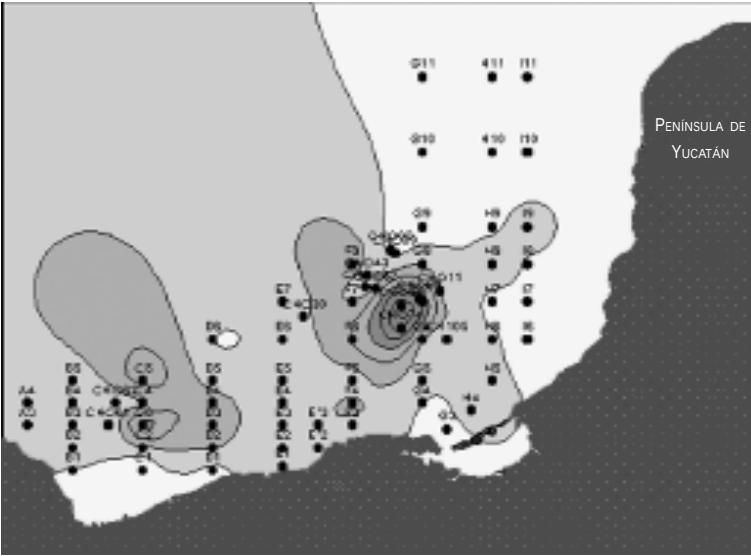


FIGURA 5. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE PAH DE BAJO Y ALTO PESO MOLECULAR EN SEDIMENTOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO EN LAS CAMPAÑAS XCAMBÓ (1999) Y CAMARÓN (2002)

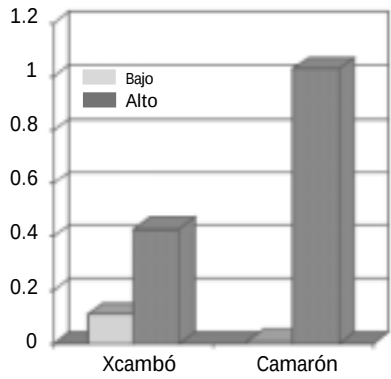


FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PAH DE ALTO PESO MOLECULAR (CUATRO Y CINCO ANILLOS BENCÉNICOS) EN SEDIMENTOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO DURANTE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ 1 EN 1999.

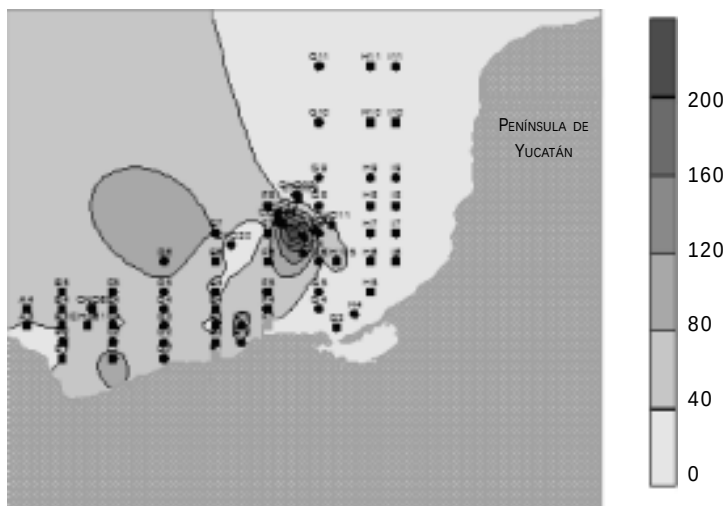


material se depositaba alrededor de los pozos y posteriormente se distribuía por toda la zona por las corrientes y el oleaje. La figura 7 muestra la distribución espacial del bario en sedimentos del sur del Golfo de México. La concentración mayor se obtuvo en el área de plataformas, confirmando que su origen fueron los lodos de perforación. Debe mencionarse que la barita ya no se usa en la perforación de pozos petroleros en México.

B) Pequeña escala

Esta sección se basa en los resultados obtenidos por Hernández Arana (2003) y Hernández Arana *et al.* (enviado). En 1999 y 2000 se realizaron dos campañas oceanográficas, usando un diseño de muestreo consistente en cuatro

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL BARIO EN SEDIMENTOS OBTENIDOS DURANTE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA XCAMBÓ EN 1999



transectos de 12 estaciones cada uno (figura 8). Dos transectos son paralelos a la costa, para ver el cambio de sedimentología en la zona de transición entre las provincias carbonatada y terrígena del Golfo de México; los otros dos transectos son perpendiculares a la costa, para ver el efecto de la profundidad.

La concentración de hidrocarburos a través de los transectos se incrementa notablemente dentro del área de plataformas (figura 9). La concentración de bario también se incrementa (figura 10), lo que indica que el origen del bario fueron las actividades de perforación de las plataformas.

Este argumento se fortalece si se ve la relación directa entre las concentraciones de hidrocarburos totales y las de bario (figura 11), pues la relación es directa y lineal. La evidencia geoquímica disponible parece apuntar a que la fuente de las altas concentraciones de bario en el Banco de Campeche proviene de las actividades de perforación que se realizaron hace tiempo.

Otros metales, como el cromo (figura 12) y el níquel también incrementan su concentración dentro del área de plataformas, lo que indi-

FIGURA 8. DISEÑO DE MUESTREO DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS DE 1999 Y 2000, CON CUATRO TRANSECTOS A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS.

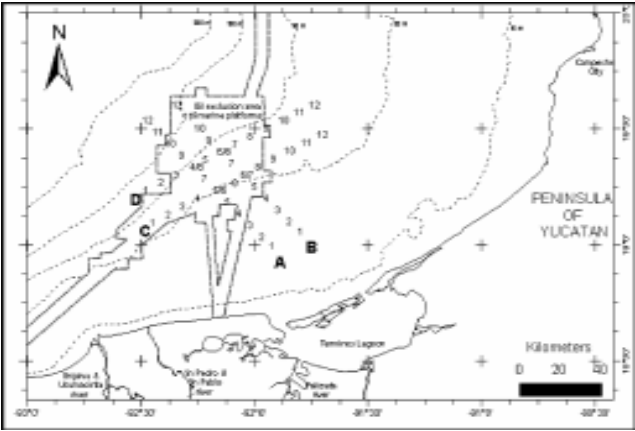


FIGURA 9. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS, A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE.

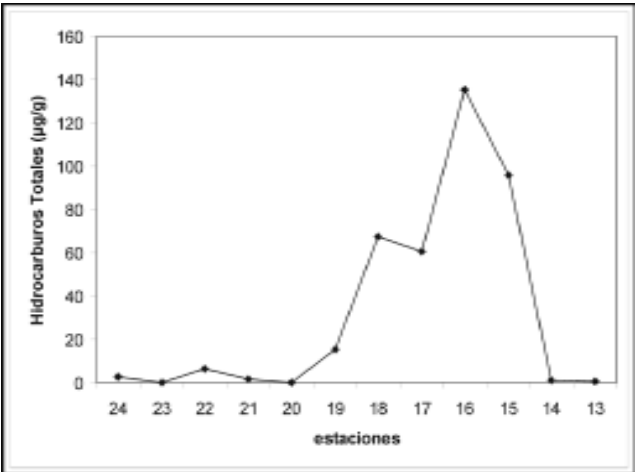


FIGURA 10. CONCENTRACIONES DE BARIO EN SEDIMENTOS, A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE

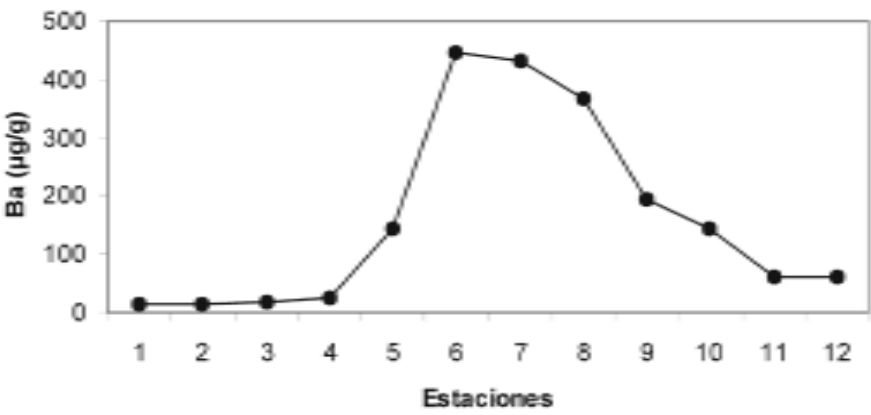


FIGURA 11. RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES Y BARIO EN LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL BANCO DE CAMPECHE

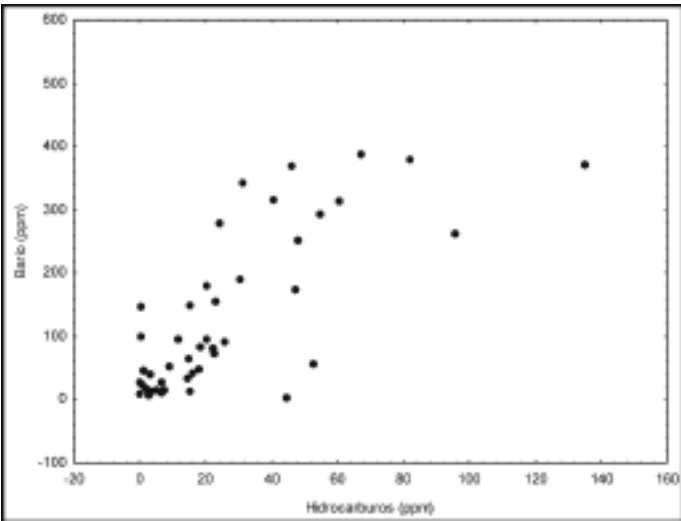
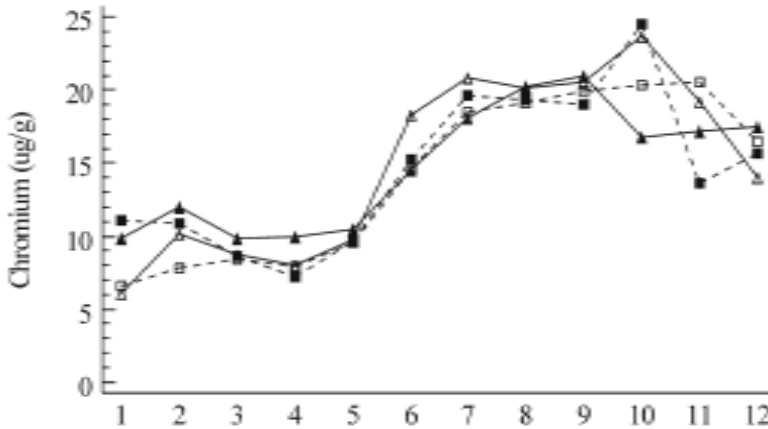


FIGURA 12. CONCENTRACIÓN DE CROMO EN SEDIMENTOS EN LOS CUATRO TRANSECTOS A TRAVÉS DE LA ZONA DE PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



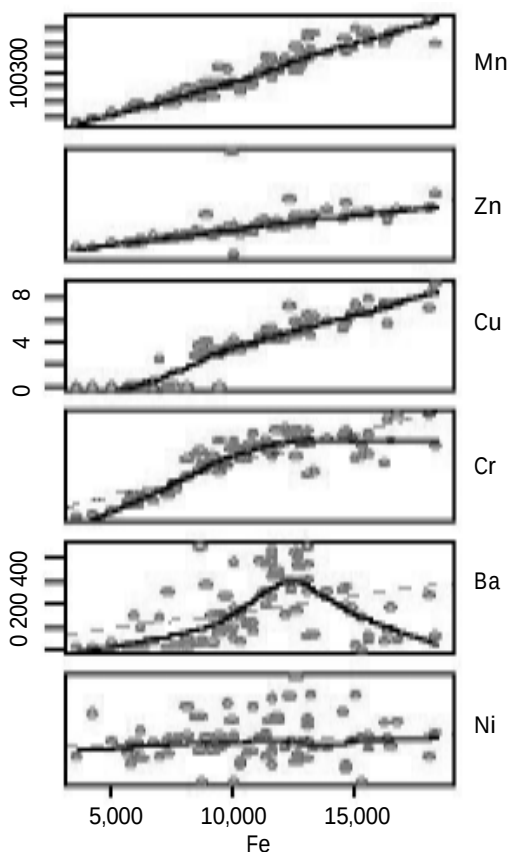
ca que su origen está en las actividades de perforación y extracción de hidrocarburos.

Hay otras técnicas geoquímicas que permiten determinar el origen de los metales. Si el origen de los metales es la matriz de los sedimentos, entonces se esperaría una relación entre las concentraciones de metales en los sedimentos y el hierro o el aluminio. Como puede verse en la figura 13, hay una relación lineal entre el manganeso, el zinc y el cobre con el hierro pero no con el bario, níquel y cromo, lo que indica que estos últimos metales se originan en la actividad de las plataformas.

Las concentraciones de estos contaminantes (hidrocarburos, bario, níquel y cromo) disminuyen respecto a la distancia de las plataformas, lo que confirma que su origen es en dichas plataformas. Con la información disponible no se puede determinar si continúa el aporte de estos contaminantes, o si el uso de tecnologías más limpias ha detenido este aporte.

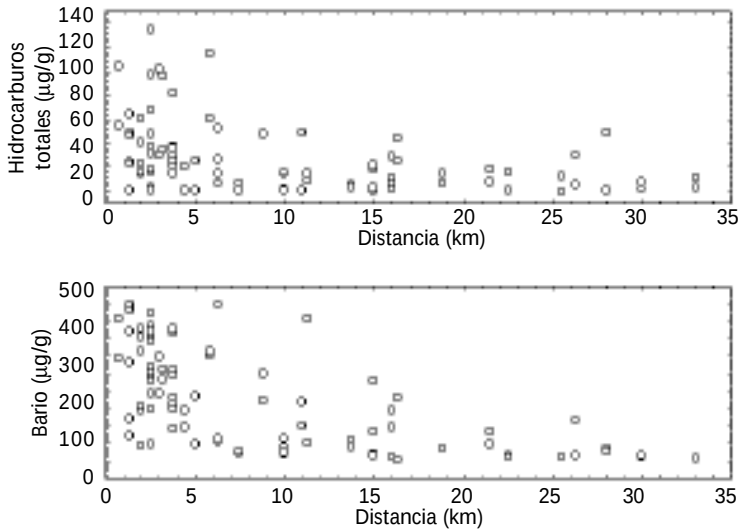
La figura 14 ejemplifica, para los hidrocarburos y el bario, la relación entre la distancia respecto a las plataformas y la concentración de estos contaminantes. Como puede verse en esta figura, la concentración disminuye conforme se aleja de las plataformas, sugiriendo que estas estructuras son el origen de los contaminantes. La disminución es relativamente suave, y a distancias

FIGURA 13. RELACIÓN DE METALES EN SEDIMENTOS CON LA CONCENTRACIÓN DE HIERRO EN EL ÁREA DE PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



considerables (más de 10 km) todavía las concentraciones observadas son elevadas respecto a los valores más alejados, a diferencia de lo que se observa en el Mar del Norte y costas de Luisiana y Texas, donde las concentraciones disminuyen en 3 km o menos de distancia a las plataformas.

FIGURA 14. RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES EN SEDIMENTOS Y BARIO EN RELACIÓN CON LA DISTANCIA RESPECTO DE LAS PLATAFORMAS PETROLERAS EN EL BANCO DE CAMPECHE



Efectos biológicos

Hay muy pocos trabajos en México donde se hayan estudiado los efectos biológicos de los hidrocarburos del petróleo u otras sustancias derivadas de la actividad petrolera. En particular, en esta sección se revisan aquellos estudios donde se evalúa en campo o con muestras ambientales el efecto de las actividades petroleras, y por restricciones de espacio no se discuten aquellos hechos con sustancias puras.

Gold y Herrera (1996) evaluaron el efecto de los hidrocarburos, y otras variables ambientales como la profundidad, la granulometría y el contenido de materia orgánica, sobre la estructura de la comunidad de nemátodos bénticos de vida libre en el Banco de Campeche durante cuatro campañas oceanográficas. Se realizó un análisis de conglomerados con las abundancias de nemátodos, encontrándose generalmente tres grupos de estaciones, que además eran contiguos geográficamente. Los resultados se confirma-

ron por medio de un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS).

El agrupamiento obtenido de las estaciones se trató de “explicar” por medio de un análisis múltiple de discriminantes. Se encontró que para los cuatro cruceros realizados la profundidad y el contenido de materia orgánica eran las variables que mejor explicaban el agrupamiento obtenido, mientras que en tres de los cuatro la concentración de hidrocarburos totales también era una variable explicativa. Esto significa que los hidrocarburos juegan un papel en la estructuración de la comunidad de nemátodos de vida libre, además de las variables ambientales.

Gold-Bouchot *et al.* (1995) reportaron que algunas fracciones de hidrocarburos y de metales tales como el cadmio, se asocian con la presencia de lesiones histológicas en los tejidos blandos de los ostiones (*Crassostrea virginica*) en las lagunas Carmen, Machona y Meocacán en el estado de Tabasco. También encontraron que el índice de condición de los ostiones disminuía con la concentración de contaminantes, sobre todo metales (Marín-Mézquita *et al.* 1997).

Rodríguez-Fuentes y Gold-Bouchot (2000) encontraron que los extractos de sedimentos de las lagunas el Yucateco y Santa Anita, en el estado de Tabasco, inhibían la acetilcolinesterasa de cerebro de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). La inhibición correlacionaba significativamente con la concentración de hidrocarburos en los sedimentos y era mayor en la época de lluvias que en la de secas.

Los bagres (*Ariopsis assimilis*) de la Bahía de Chetumal presentaron lesiones histológicas y, sobre todo lo más preocupante, tumores hepáticos cuya prevalencia se pudo asociar a la concentración de contaminantes orgánicos como PAH y plaguicidas en el hígado (Noreña-Barroso *et al.* en prensa). Adicionalmente, Zapata-Pérez *et al.* (2000) demostraron que los sedimentos de la bahía son tóxicos. Estos dos estudios son particularmente preocupantes porque la Bahía de Chetumal es un ecosistema crítico, que ha sido declarado zona protegida por ser zona de reproducción del manatí, y porque es un ecosistema compartido entre México y Belice, y es una de las dos áreas prioritarias, junto con el Golfo de Honduras, consideradas para el Programa del Sistema Arrecifal Mesoamericano.

Hernández Arana (2003) y Hernández Arana *et al.* (enviado) encontraron efectos de los contaminantes asociados a la actividad petrolera sobre la estructura de la macrofauna béntica del Banco de Campeche. Este efecto es difícil de detectar sobre la alta variabilidad de la estructura de la macrofauna

béntica inducida por los cambios estacionales y la descarga de los ríos (Hernández Arana *et al.* en prensa).

A principios de la década de los 1990 los pescadores de ostión y las autoridades de la entonces Secretaría de Pesca atribuían a la alta concentración de hidrocarburos una supuesta mortalidad de ostiones (*Crassostrea virginica*) en las lagunas costeras del estado de Tabasco. Un punto interesante es que las concentraciones de hidrocarburos en la Laguna de Términos (Gold-Bouchot *et al.* 1995) eran mayores que las concentraciones encontradas en las lagunas de Carmen, Machona y Mecoacán (Gold-Bouchot *et al.* 1995), sin que se reportaran mortalidades masivas. También las concentraciones de PAH son mayores en Términos que en las lagunas de Tabasco (ver cuadro 2). Las prevalencias del parásito *Perkinsus marinus* eran mucho mayores en las lagunas de Tabasco que en la Laguna de Términos, lo que es una posible explicación de la mortalidad diferencial en estas lagunas (Dra. Leopoldina Aguirre Macedo, comunicación personal). Alvarez-Legorreta *et al.* (1994) reportaron concentraciones muy altas de hidrocarburos en almejas (*Rangia cuneata* y *Polymesoda carolineana*) de la Laguna de Pom, en Campeche. Si se toman en cuenta las diferencias en bioacumulación entre las almejas y el ostión, las concentraciones encontradas en Pom son varias veces mayores que las encontradas en ostiones de las lagunas de Tabasco ó en la Laguna de Términos.

Nipper y Carr (2001) encontraron que alrededor del 80% de los sedimentos muestreados de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an son tóxicos. No se pudo atribuir a qué se debía esta toxicidad, pero los sedimentos de la reserva tienen concentraciones 70% mayores de hidrocarburos totales y concentraciones similares de algunos plaguicidas, como los hexaclorociclohexanos y clordanos, respecto a la Bahía de Chetumal (Gold-Bouchot *et al.* 1999b), que se considera un ecosistema altamente impactado. Esto es preocupante, por tratarse de un área protegida y además alejada de zonas agrícolas o industriales.

Los resultados obtenidos por investigadores mexicanos en el Banco de Campeche contrastan con los obtenidos recientemente en la zona petrolera del Mar del Norte (Grant y Briggs 2002), donde se encontró que los metales no ejercían efectos tóxicos sino que la toxicidad de los sedimentos se explicaba totalmente por los hidrocarburos presentes en el sedimento. Una posible explicación de esta diferencia es que en el Mar del Norte trabajaron con sedimentos muy cercanos a las plataformas petroleras —desde el centro de la plataforma hasta unos cuantos centenares de metros— mientras que los

estudios en México siempre se han realizado con distancias mucho mayores, de varios kilómetros. Otro factor es que los trabajos que se han hecho en nuestro país no se han diseñado para distinguir qué contaminante produce el efecto tóxico.

En una revisión reciente de los efectos de las actividades petroleras sobre los procesos ecológicos en ecosistemas templados y tropicales, Holdway (2002) concluye que para evaluar el impacto crónico y subletal de los desechos producidos por la extracción mar adentro del petróleo, son necesarios estudios de 10 a 20 años. Dado que actualmente en nuestro país no hay programas de monitoreo de la concentración de contaminantes tóxicos en las áreas costeras, menos aún se puede esperar tener estudios de tan largo plazo, lo que es preocupante. Es necesario buscar mecanismos que permitan el establecimiento de programas de monitoreo e investigación que permitan observar tendencias de largo plazo, eliminando la variabilidad inducida por los ciclos climáticos y biológicos.

Los pocos trabajos que se han realizado en nuestro país, indican que la actividad petrolera puede tener un efecto nocivo sobre los organismos que viven en nuestras costas. Sin embargo, la información disponible no permite concluir si la magnitud de los efectos observados es suficiente para concluir que la influencia de la actividad petrolera ha sido la causa de la caída de la captura pesquera —y otros deterioros ambientales frecuentemente atribuidos a Pemex— entre otras razones porque no hay información de largo plazo que permita cuantificar el efecto de la variabilidad natural sobre las respuestas biológicas.

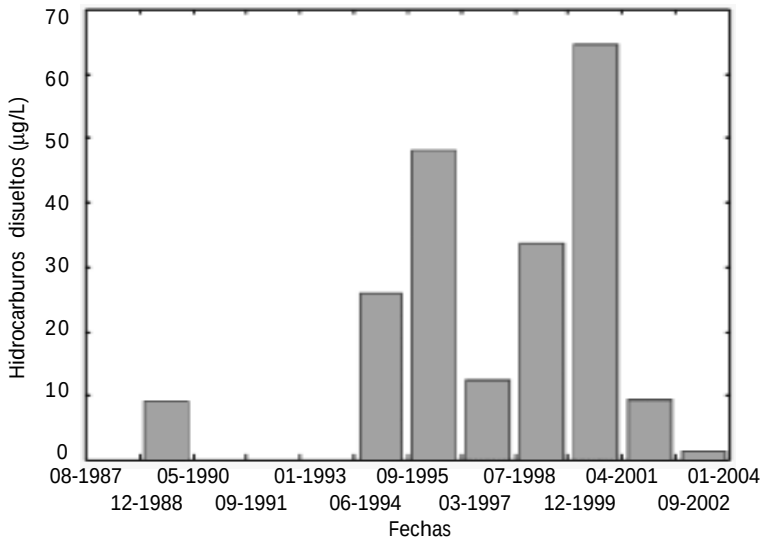
Monitoreo

Hasta donde se sabe públicamente, no hay ningún programa sistemático de monitoreo de hidrocarburos —o cualquier otro contaminante tóxico— en el Golfo de México. El único programa que el autor conoce es el que se realiza en Punta Venado, Quintana Roo, por la empresa Calicas Industriales del Carmen S. A. desde hace unos años (figura 15). Este monitoreo empezó desde 1988 con mucha irregularidad, pero ha sido razonablemente constante desde 1995.

Se han realizado más de 500 determinaciones de hidrocarburos disueltos/dispersos en agua del Caribe Mexicano y Golfo de México en el Laboratorio de Geoquímica Marina del Cinvestav Unidad Mérida usando siempre la misma técnica analítica, por lo que los resultados son comparables. La

distribución de frecuencia de los resultados, sorprendentemente no es log normal (figura 16). Transformando logarítmicamente los resultados se obtiene una distribución de frecuencias gaussiana (figura 17), con una media de $11.5 \pm 2.5 \mu\text{g/L}$. Basado en estos resultados se puede proponer como medida de manejo una concentración de referencia de $16.5 \mu\text{g/L}$ —el promedio más dos desviaciones estándar— pues esto dejaría fuera aproximadamente el 65% de las mediciones.

FIGURA 15. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE HIDROCARBUROS DISUELTOS/DISPERSOS EN PUNTA VENADO, QUINTANA ROO, DESDE 1988 HASTA LA FECHA



Aunque no forman parte de un programa sistemático de monitoreo, se han reportado una serie de resultados de concentraciones de hidrocarburos en sedimentos para el sur del Golfo de México. Estos resultados deben tomarse con un poco de cuidado, pues las áreas de estudio, así como las técnicas analíticas empleadas no son idénticas pero permiten tener una idea a largo plazo de la situación en esta región. La figura 18 muestra las concentraciones de hidrocarburos totales en sedimentos desde 1978 hasta la fecha.

FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE HIDROCARBUROS TOTALES DISUELTOS/DISPERSOS (EN $\mu\text{g/L}$) EN EL CARIBE MEXICANO Y GOLFO DE MÉXICO

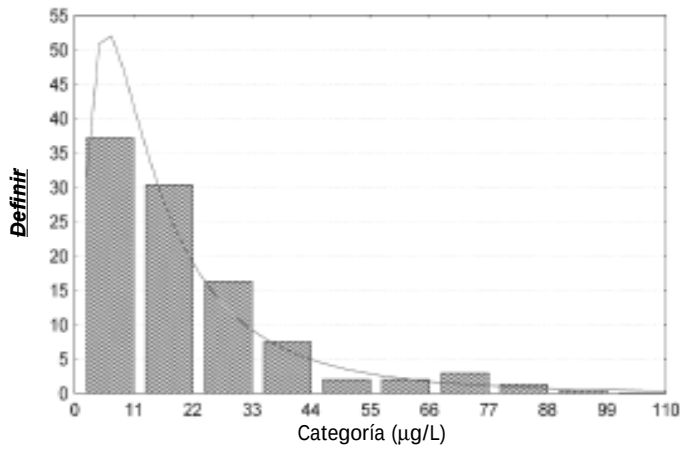


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE LAS CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS TOTALES DISUELTOS/DISPERSOS ($\text{LOG } X_i$) EN EL CARIBE MEXICANO Y GOLFO DE MÉXICO.

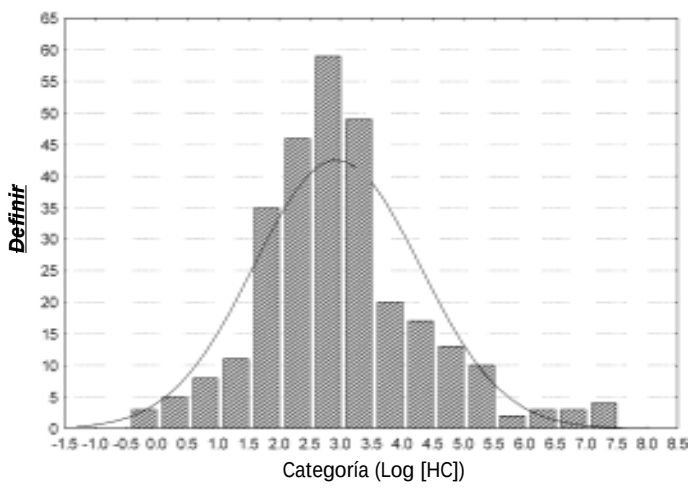
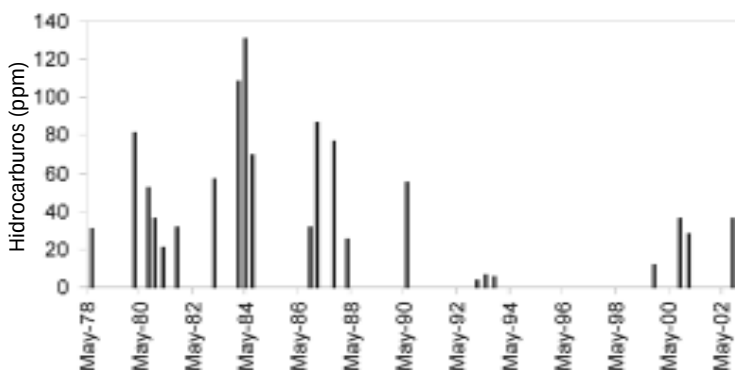


FIGURA 18. CONCENTRACIONES PROMEDIO DE LOS HIDROCARBUROS TOTALES (EN $\mu\text{G/G}$) EN SEDIMENTOS EN DIFERENTES CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS, DESDE 1978 A LA FECHA



Temporalmente parece que ha habido una tendencia a disminuir las concentraciones. Esto puede ser debido a la creciente atención y presión sociales, y a la implementación de mejores regulaciones ambientales, que han impulsado una mejor operación de las instalaciones petroleras.

CONCLUSIONES

Hay pocos trabajos publicados en la literatura científica. Mucha información está en la “literatura gris”, sobre todo informes técnicos de proyectos y tesis que no están disponibles públicamente.

Las concentraciones de hidrocarburos totales en el sur del Golfo de México han tendido a bajar desde finales de los años 70 hasta la fecha.

Hay una fuente urbana e industrial de hidrocarburos pirogénicos, tanto en las lagunas costeras y bahías para las que hay información disponible como en el Banco de Campeche.

Algunos metales (Ba, Cr, Ni, V) están asociados, en el área cercana a las plataformas, a la actividad petrolera.

Se han detectado efectos de la actividad petrolera sobre la biota: nemátodos de vida libre, macrofauna béntica, ostiones (*Crassostrea virginica*) y bagres (*Ariopsis assimilis*).

Esto no necesariamente significa que los efectos a gran escala, como la caída de la pesca, sean producidos por la actividad petrolera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Legorreta T., G. Gold-Bouchot y O. Zapata-Perez 1994. Hydrocarbon Concentrations in Sediments and Clams (*Rangia cuneata*) in Laguna de Pom, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 52(1): 39-45.
- Fingas, M. y B. Fieldhouse 2003. Studies of the Formation Process of Water-in-Oil Emulsions. *Marine Pollution Bulletin* 47: 369-396.
- Gold-Bouchot G., E. Barroso-Noreña y O. Zapata-Perez 1995. Hydrocarbon Concentrations in the American Oyster (*Crassostrea virginica*) in Laguna de Terminos, Campeche, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 53(2): 222-227.
- Gold-Bouchot, G., R. Simá, O. Zapata, y J. Guemez 1995. Histopathological Effects of Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals on the American Oyster, *Crassostrea virginica*, from Tabasco, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 31(4-12): 439-445.
- Gold-Bouchot G. y M. Herrera-Rodríguez 1996. Efectos de los Hidrocarburos sobre la Comunidad de Nemátodos Bénticos de la Sonda de Campeche, México. En: Vázquez-Botello, A., Vázquez, F., Benítez, É., y Zárate-Lomelí, D. (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. EPOMEX, Serie Científica. P.279-296.
- Gold-Bouchot, G., M. Zavala-Coral, O. Zapata-Pérez y V. Ceja-Moreno 1997. Hydrocarbon Concentrations in Oysters (*Crassostrea virginica*) and Recent Sediments from Three Coastal Lagoons in Tabasco, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59(3): 430-437.
- Gold-Bouchot, G., O. Zapata-Pérez, M. Herrera-Rodríguez, V. Ceja-Moreno, E. Noreña-Barroso y M. Zavala-Coral 1999a. Oil Pollution in the Southern Gulf of Mexico. En: Kenneth Sherman, Herbert Kumpf and K. Steidinger (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Assessment, Sustainability and Management*. P. 372-382. Blackwell Scientific.
- Gold-Bouchot G, Zapata-Pérez O, Ceja-Moreno V y del Río-García M. 1999b. Concentraciones de Compuestos Organoclorados (plaguicidas y PCBs) e Hidrocarburos en Sedimentos de la Reserva de Sian Ka'an, Quintana Roo. Reporte presentado a la Reserva de Sian Ka'an.
- Gold-Bouchot Gerardo 2000. El petróleo: Características e Impacto Ambiental. En: Payán Cervera, A. R., Salazar Sáenz, F. X. y Álvarez Álvarez, L. H. (coord.). *Petróleo, medio ambiente y sociedad*. Senado de la República, México, D.F.

- Grant, A. y Briggs AD. 2002. Toxicity of Sediments from Around a North Sea Oil Platform: Are metals or Hydrocarbons Responsible for Ecological Impacts? *Marine Environmental Research* 53: 95-116.
- Hernández Arana H A. 2003. Influence of Natural and Anthropogenic Disturbance on the Soft Bottom Macrobenthic Community of the Campeche Bank, Mexico. Ph. D. thesis. University of Plymouth, Plymouth, UK. 211 pp.
- Hernández-Arana H., Attrill M. J., Gold-Bouchot G. (en prensa). Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine and Coastal Shelf Science*.
- Hernandez Arana HA, Warwick RM, Attrill MJ, Rowden AA, Gold-Bouchot G. Submitted. Assessing the Impact of Oil Related Activities on the Benthic Macroinfauna Assemblages of the Campeche shelf, Southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*.
- Holdway, DA. 2002. The Acute and Chronic Effects of Wastes Associated with Offshore Oil and Gas Production on Temperate and Tropical Marine Ecological Processes. *Marine Pollution Bulletin* 44(3): 185-203.
- Jackson TJ, Wade TL, McDonald TJ, Wilkinson, DL and Brooks, JM. 1994. Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Contaminants in Oysters from the Gulf of Mexico (1986-1990). *Environmental Pollution* 83: 291-298.
- Long ER y Morgan LG. 1990. The Potential for Biological Effects of Sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. NOAA Office of Oceanography and Marine Assessment, Ocean Assessment Division, Seattle, Washington, EE.UU.
- Marin-Mézquita L, Baeza L, Zapata-Pérez O y Gold-Bouchot G. 1997. Trace Metals in the American Oyster, *Crassostrea virginica*, and Sediments from the Coastal Lagoons Mecoacan, Carmen and Machona, Tabasco, Mexico. *Chemosphere* 34(11): 2437-2450.
- National Academy of Science 1985. Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects. The National Academies Press. Washington, DC. 602 pp.
- Nipper, M. y R.Carr. 2001. Porewater Toxicity Testing: A Novel Approach for Assessing Contaminant Impacts in the Vicinity of Coral Reefs. *Bulletin of Marine Science* 69: 407-420.
- Noreña-Barroso, E., O. Zapata-Pérez; V. Ceja-Moreno y G. Gold-Bouchot 1998. Hydrocarbons and Organochlorine Compounds in Sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61(1): 80-87.
- Noreña-Barroso E., Gerardo Gold-Bouchot; Omar Zapata-Pérez y José L. Sericano 1999. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons in American Oysters (*Crassostrea virginica*) from the Términos Lagoon, Campeche, México. *Marine Pollution Bulletin* 38(8): 637-645.

- Noreña-Barroso E, Simá-Alvarez R, Gold-Bouchot G y Zapata-Pérez O. En prensa. Persistent Organic Pollutants and Histological Lesions in Mayan Catfish *Ariopsis assimilis* from Bay of Chetumal, Mexico. *Marine Pollution Bulletin*.
- O'Connor TP. 1990. Coastal Environmental Quality in the United States, 1990. Chemical Contamination in Sediment and Tissues. National Oceanic and Atmospheric Administration, Rockville, Maryland, EE.UU.
- Owens EH and Lee K. 2003. Interaction of Oil and Mineral Fines on Shorelines: Review and Assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 47: 397-405.
- Rodríguez-Fuentes G. y G. Gold-Bouchot 2000. Environmental monitoring using acetylcholinesterase inhibition in vitro. A case study in two Mexican lagoons. *Marine Environmental Research* 50(1-5): 357-360.
- Vázquez Botello A, Ponce Velez G, Villanueva Fragosos S y Rueda Quintana L. 1994. Contaminación. In: Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano. De la Lanza Espino G y Cáceres Martínez C. (Editores). Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz Baja California Sur. 525 pp.
- Vázquez Botello A. y Calva LG. 1998. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the Southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 60: 96-103.
- Vázquez Botello A, Calva LG y Ponce Velez G. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67: 889-897.
- Wade TL, Velinsky DJ, Rainharz J. 1994. Tidal river sediments in the Washington D.C. area. II. Distribution and sources of organic contaminants. *Estuaries* 17(2): 321-333.
- Wang, Z y Fingas, M. F. 2003. Development of Oil Fingerprinting and Identification Techniques. *Marine Pollution Bulletin* 47: 423-452.
- Zapata-Pérez, Omar, R. Simá-Alvarez, E. Noreña-Barroso, J. Guemes, G. Gold-Bouchot, A. Ortega y A. Albores-Medina 2000. Toxicity of sediments from Bahía de Chetumal, Mexico, as assessed by hepatic EROD induction and histology in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Marine Environmental Research* 50(1-5): 385-391.
- Zapata-Pérez, Omar, Gold-Bouchot, Gerardo, Ortega, Arturo, López, Tomás y Albores, Arnulfo 2002. Effect of Pyrene on Hepatic Cytochrome P450 1A (CYP1A) Expression in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 42(4): 477-485.

DISTRIBUCIÓN Y CONTAMINACIÓN DE METALES EN EL GOLFO DE MÉXICO

*Alfonso Vázquez-Botello, Susana Villanueva-Fragoso
y Leticia Rosales-Hoz*

INTRODUCCIÓN

Los metales son constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y agua. Sin embargo, en los años posteriores a la revolución industrial han ocurrido grandes cambios en su concentración natural debido a su uso extensivo en las actividades industriales y humanas.

Un claro ejemplo de lo anterior, lo constituye la cuenca del Golfo de México, en donde la presencia excesiva de algunos metales en sus ecosistemas costeros responde a la introducción de los mismos por procesos de contaminación y por aportes de ríos, entre los cuales se encuentran dos que forman los sistemas deltáicos más grandes del Golfo de México: el río Misisipi en Estados Unidos de América y el Grijalva-Usumacinta en México.

De manera adicional, éstos también contribuyen con grandes volúmenes de desechos tóxicos incluyendo metales, hidrocarburos del petróleo y contaminantes orgánicos persistentes como plaguicidas y PCB. Así, las actividades industriales y comerciales que se efectúan en los grandes complejos portuarios de Brownsville, Corpus Christi, Houston y Galveston en los Estados Unidos de América y los de Tampico-Madero, Altamira, Veracruz, Alvarado, Coatzacoalcos, Dos Bocas y Ciudad del Carmen en México, son fuentes potenciales de contaminantes al medio marino y costero.

En México existen 22 ríos que vierten sus aguas al Golfo de México; de éstos el más importante es el río Bravo, el cual sirve de frontera con los Estados Unidos de América, y en su cauce se han construido una serie de presas que regulan su aporte al Golfo de México. El segundo en importancia es el río Usumacinta, que si bien su cuenca es ligeramente más chica que la del río Panuco, tiene más escurrimientos por localizarse en una zona tropical.

Se ha calculado que alrededor de 95% de los metales transportados por los ríos son removidos y depositados en las márgenes oceánicas tales como los estuarios, la plataforma y la pendiente continental.

Estudios conducidos por más de 20 años en las costas del Golfo de México han demostrado la presencia de elevadas concentraciones de metales tóxicos como el Pb, Cd, Cr, y Ni, mostrando que los problemas más severos de la contaminación por metales ocurren en cuerpos de agua semicerrados particularmente en bahías, estuarios y lagunas costeras.

Aquí, los metales están disponibles en grandes concentraciones, dependiendo básicamente de la naturaleza y tipo de los sedimentos y de las características físico-químicas de las aguas.

Sin embargo, para conocer la conducta y el balance geoquímico de los metales, es necesario realizar estudios sobre su naturaleza química, su tiempo de residencia, su disolución, su remoción, su disponibilidad hacia la biota, su transferencia hacia los sedimentos, sus interacciones entre la fase acuosa y los sedimentos, su biomagnificación en diferentes niveles tróficos y sobre todo su toxicidad. Dichos estudios permitirán definir los efectos y alteraciones que los metales pueden producir en la biota y sus daños a la salud humana.

FUENTES DE ORIGEN

La mayoría de los metales empleados en las diversas actividades industriales manifiestan su presencia en las regiones costeras del Golfo de México, sobre todo en las cercanías de las refinerías de petróleo, de producción de fertilizantes, de minería y metalurgia, y desde luego en las cercanías de ciudades costeras con un gran número de habitantes. Las actividades de dragado para la perforación de pozos petroleros también emplean grandes cantidades de lodos que contienen metales como cromo y bario. De igual manera, las descargas domésticas sin tratamiento, aportan grandes volúmenes de lodos enriquecidos con metales como Pb, Zn, Cd y Cr, que se descargan en

los ríos o directamente en el mar.

Los metales también son introducidos en los ambientes marino y costero por el lavado de suelos; el intemperismo de las rocas; las erupciones volcánicas; el empleo de fertilizantes y plaguicidas en zonas agrícolas; y el desecho de fundidoras y plantas de cromado.

Estudios realizados en los últimos 50 km del río Coatzacoalcos muestran un contenido de material suspendido variable a lo largo del año; los valores más altos se encuentran en agosto, correspondientes a la época de lluvias donde se reportan valores promedio de 99.7 mg L^{-1} en agua de fondo (Bahena-Manjarrez *et al.* 2002:3). El contenido promedio más alto de metales disueltos fue en abril donde se reportan valores de 42 mg L^{-1} de Zn en superficie, 6.0 mg L^{-1} de Cu en superficie y 4.3 mg L^{-1} de Cr en agua de fondo. Aparentemente en este caso la concentración de metales disueltos está en función del caudal del río y de las descargas antrópicas que se llevan a cabo en el área.

La concentración de material suspendido en ocho ríos localizados en los Estados Unidos de América, que desembocan en el Golfo de México, mostró intervalos de concentración entre 12 y 954 mg L^{-1} . La concentración de metales en el material suspendido está en función del tipo de material; en este sentido no se observó una correlación entre los metales disueltos y el contenido de metales en el material suspendido (Turekian y Scott 1967:40).

En el cuadro 1 se presentan algunos valores sobre los porcentajes transportados de cada metal, asociados con el material en suspensión de algunos ríos que descargan al Golfo de México, según Páez-Osuna *et al.* (1987:29).

La mayoría de los metales son insolubles en agua a valores de pH neutros o básicos, pero son fácilmente adsorbidos en el material particulado o en

CUADRO 1. CONCENTRACIÓN DE CADA METAL TRANSPORTADO POR EL MATERIAL EN SUSPENSIÓN DE ALGUNOS RÍOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	Río	Fe	Mn	Cu	Cd	Co	Pb
Palizada	99.6	95.8	64.6	19.7	13.6	74.2	
Candelaria	87.9	89.7	25.0	22.3	10.0	18.2	
Cruces	90.8	40.0	38.7	53.8	89.0	81.0	
Pinas	96.8	78.3	8.70	36.0	53.3	37.8	
Misisipi	99.0	98.0	90.0	83.0	97.6	—	

sedimentos, los cuales son el sitio final de depósito, y cuya concentración para algunos llega a ser 10^3 a 10^7 mayor que la columna de agua. Desde ahí, los metales son asimilados por los organismos bentónicos o forman complejos iónicos con aniones hidrosolubles.

De esta manera los análisis de metales en partículas suspendidas, sedimentos y organismos nos provee de una completa información sobre su origen, rutas, destinos y efectos, así como de su posible riesgo ambiental. Una de las principales características de los metales en los ecosistemas costeros es que los organismos pueden almacenar grandes concentraciones de un cierto metal (bioacumulación), y consecuentemente inducen a un incremento de las concentraciones del metal en niveles tróficos superiores (biomagnificación).

Así, en los océanos y las zonas costeras los organismos con hábitos bentónicos son los más afectados por la contaminación de algunos metales de naturaleza tóxica como el Hg, Pb, Cr, y Cd, los cuales reducen drásticamente su potencial de sobrevivencia y, en ocasiones propician su total desaparición.

NIVELES DE METALES EN SISTEMAS COSTEROS DEL GOLFO DE MÉXICO

En México, la creciente contaminación de las áreas costeras y marinas se está perfilando como una amenaza de elevadas proporciones. Por ello algunas instituciones realizan estudios orientados a evaluar los niveles y el comportamiento de los metales en matrices de agua y sedimentos sobre todo en las costas del Golfo de México.

AGUA

Las investigaciones que se han realizado sobre metales disueltos/particulados de áreas costeras del Golfo de México son escasas, debido al grado de dificultad que representa su cuantificación, el contenido, distribución y comportamiento de los metales en agua (Villanueva y Botello 1998:50).

SEDIMENTOS

Cadmio

Los datos que se presentan en esta recopilación, muestran que los valores promedio de Cd total en los sedimentos de siete sistemas costeros del estado de Veracruz (González 1995:9, Páez-Osuna *et al.* 1986:28, Álvarez *et al.* 1986:1,

Rodríguez 1994:33) (figura 1), y catorce del estado de Tabasco (Botello 1996:4) son altos, principalmente en los núcleos de la laguna El Yucateco ($5.18 \mu\text{g g}^{-1}$) y la laguna Limón ($3.22 \mu\text{g g}^{-1}$) (figura 2). Como se observa en dichas figuras, todas las lagunas y ríos de los estados de Veracruz y Tabasco se encontraron por encima de la concentración mínima para producir efectos biológicos adversos a los organismos acuáticos (ERL $1.2 \mu\text{g g}^{-1}$) (Long *et al.* 1995:19).

BIODISPONIBILIDAD DE LOS METALES

A pesar de la gran utilidad que pueden tener los datos sobre la concentración total, resultan insuficientes como medida para evaluar el transporte y el tiempo de residencia de los metales en los sedimentos. Ello se debe a que una parte del contenido total de los metales reside en las partículas sólidas y minerales, y la otra es la forma biodisponible que se incorpora a los sedimentos, ya sea por medio de precipitación, floculación o adsorción (Loring 1979:18).

Esta fracción representa la porción que fue inicialmente intemperizada en las descargas inducidas por el hombre, otra parte puede derivarse de los iones que se liberan cuando se perturban las condiciones diagenéticas. Por consiguiente, esta fracción es la que está disponible para la acumulación en la biota acuática (Loring 1979:18, Luoma y Jenne 1976:20).

En las figuras 1 y 2, se observa que los intervalos de concentración del Cd total varía de $1.09 \mu\text{g g}^{-1}$ para la laguna de Mandinga a $2.18 \mu\text{g g}^{-1}$ en el río Coatzacoalcos y $2.2 \mu\text{g g}^{-1}$ en la laguna Salada y para la fracción biodisponible de $0.22 \mu\text{g g}^{-1}$ (río Blanco) a $1.37 \mu\text{g g}^{-1}$ (Laguna Sontecomapan). Todas estas áreas se encuentran ubicadas en el estado de Veracruz.

Se puede decir que la presencia de Cd en los sedimentos de las lagunas costeras de Veracruz se considera un componente normal de los sedimentos marinos y de las rocas fosfóricas (Largerwerff 1972:15), mientras que los altos valores detectados en la laguna El Yucateco y Limón (ambas en Tabasco), están directamente relacionados con las descargas urbanas, las características sedimentológicas y el contenido de materia orgánica del sedimento, el cual forma complejos orgánicos con el Cd, así como de los desechos industriales de estas zonas.

Plomo

Las concentraciones más altas que se han registrado de Pb total en sistemas costeros del estado de Veracruz, son en las lagunas que se encuentran cercanas a la planta nuclear de Laguna Verde: del Llano ($77.2 \mu\text{g g}^{-1}$), Salada ($78.8 \mu\text{g g}^{-1}$).

FIGURA 1. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

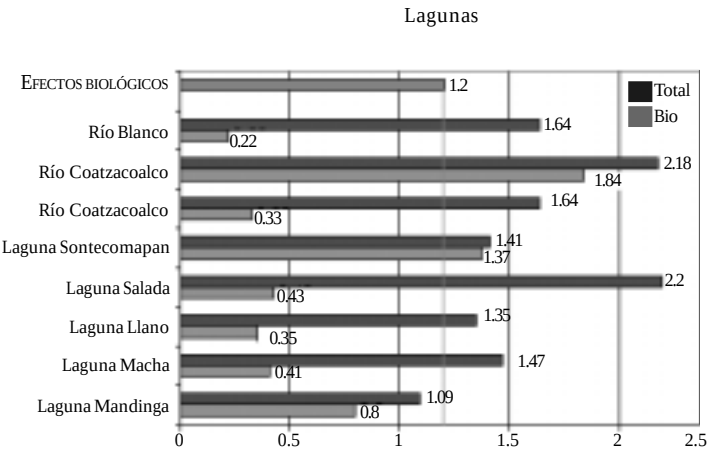


FIGURA 2. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

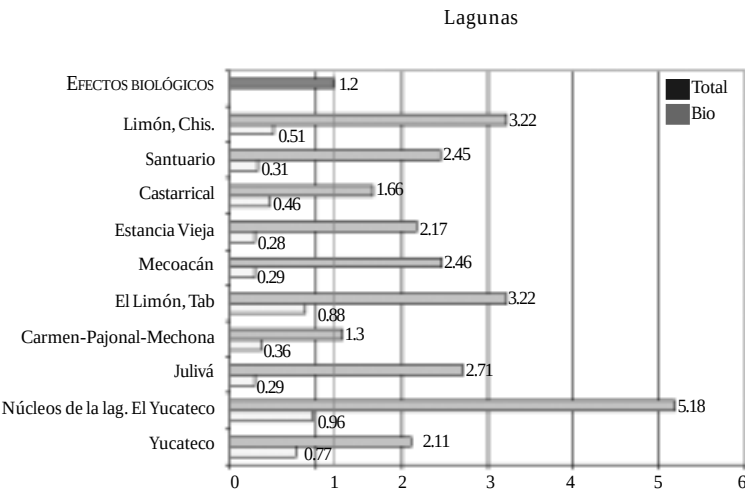
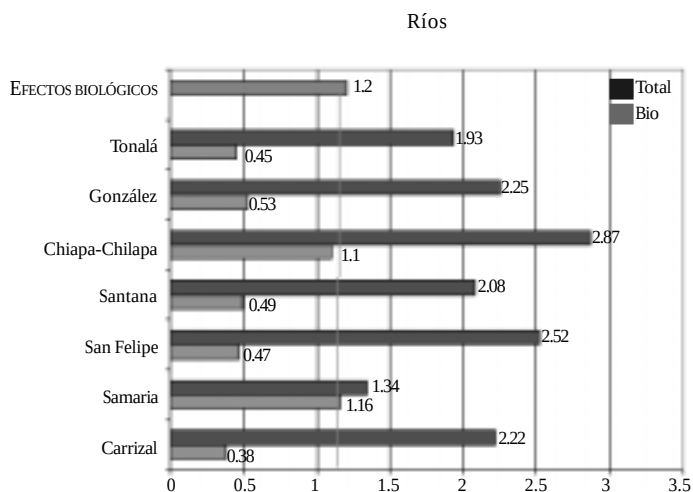


FIGURA 2. CONCENTRACIONES DE CADMIO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ (*continúa*)



¹) y Mancha ($81.1 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rodríguez 1994:33). Mientras que la laguna Sontecomapan (González 1995:9), los ríos Coatzacoalcos (Villanueva y Botello 1998: 59) y Blanco (Alvarez *et al.* 1986:1) se encontraron por debajo del valor propuesto por Long *et al.* (1995:19) para que los organismos pudieran presentar algún efecto en sus tejidos que ERL de $46.6 \mu\text{g g}^{-1}$.

También se han evaluado las concentraciones de Pb biodisponible en dichas lagunas y presentaron los valores más altos ($11.6 \mu\text{g g}^{-1}$ a $21.4 \mu\text{g g}^{-1}$) (figura 3). Esto indica que los organismos, principalmente los moluscos-bivalvos de las citadas lagunas están severamente expuestos a la acumulación por Pb.

El valor más alto que se ha registrado de Pb (figura 4) corresponde a la laguna de las Ilusiones, (Tabasco) con $158.7 \mu\text{g g}^{-1}$ (Valencia, 1989: 41), así como la laguna El Yucateco ($117 \mu\text{g g}^{-1}$) (Botello 1996: 4); estos valores se pueden relacionar de manera directa con la continua introducción y en algunas ocasiones introducciones masivas de aguas residuales, así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Villahermosa, las cuales se transportan a otras regiones del Golfo de México, dado que el Pb es volátil y tiende a depositarse en áreas

distintas a las de su origen, dependiendo del patrón de vientos que predominen en el Golfo de México (Valencia 1989: 41).

Esto también se puede comprobar para el área del río Coatzacoalcos, en donde el Pb se dispersa como PbO y $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$, llegando de este modo al río, ya que este metal se utiliza como un subproducto de la fabricación del antidetonante mexoctano. Así, el efluente tal y como sale de la fábrica, se recibe en un pozo de lodos donde se decantan los sólidos y se recupera el metal, y el líquido sobrenadante es enviado al río Coatzacoalcos a través de un ducto que penetra al río; la descarga del Pb a través del ducto es intermitente, dando como resultado que la acumulación sea continua (Ochoa *et al.* 1973: 26).

Al comparar las concentraciones de estos sistemas, se observa que se encuentran por arriba del valor establecido por Long *et al.* (1995:19) para que los organismos tengan algún efecto adverso en sus tejidos que es ERL: $46.6 \mu\text{g g}^{-1}$ hasta en un 150% (figuras 3 y 4).

Cromo

La laguna del Ostión ($140.7 \mu\text{g g}^{-1}$) (Villanueva y Botello 1992:50) y la laguna de Alvarado ($159.7 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rosales *et al.* 1986: 35) ambas en el estado de Veracruz y las lagunas El Limón ($249 \mu\text{g g}^{-1}$) y Julivá ($223 \mu\text{g g}^{-1}$) en Tabasco

FIGURA 3. CONCENTRACIONES DE PLOMO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

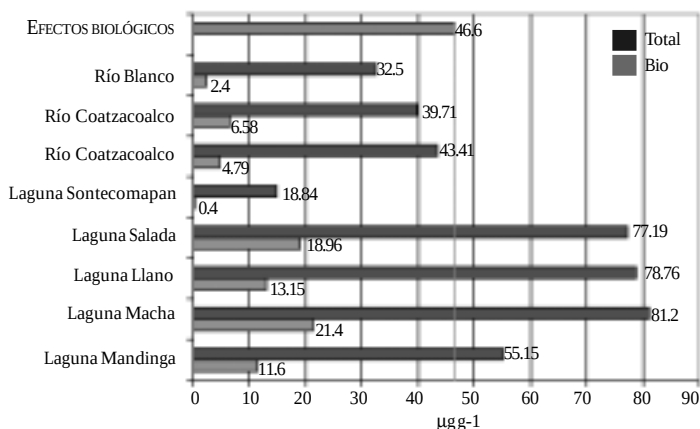
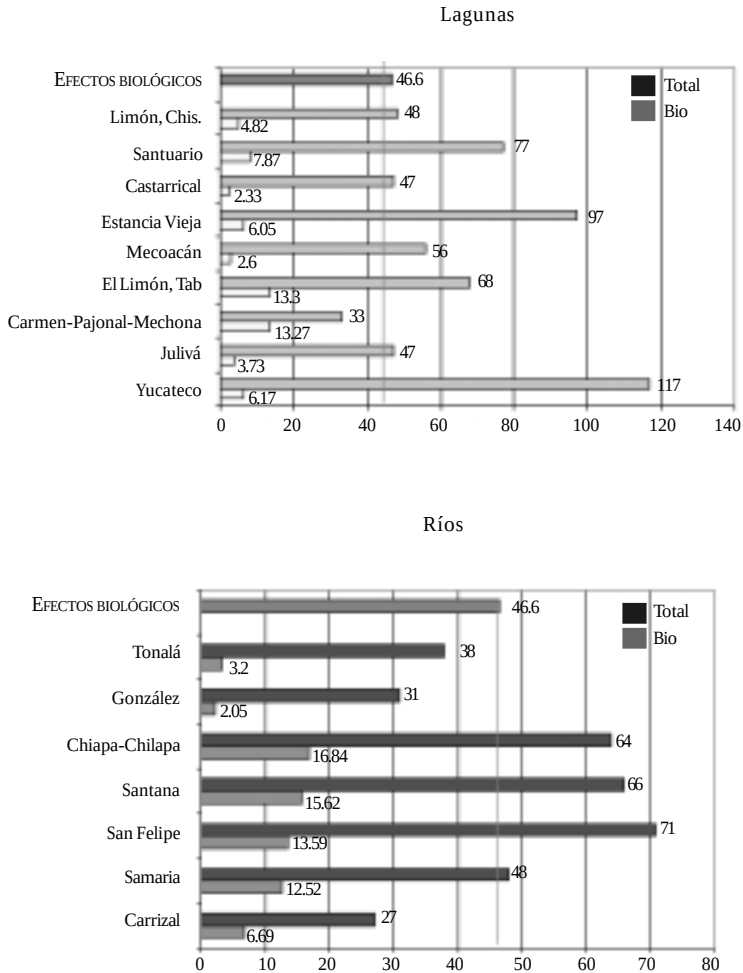
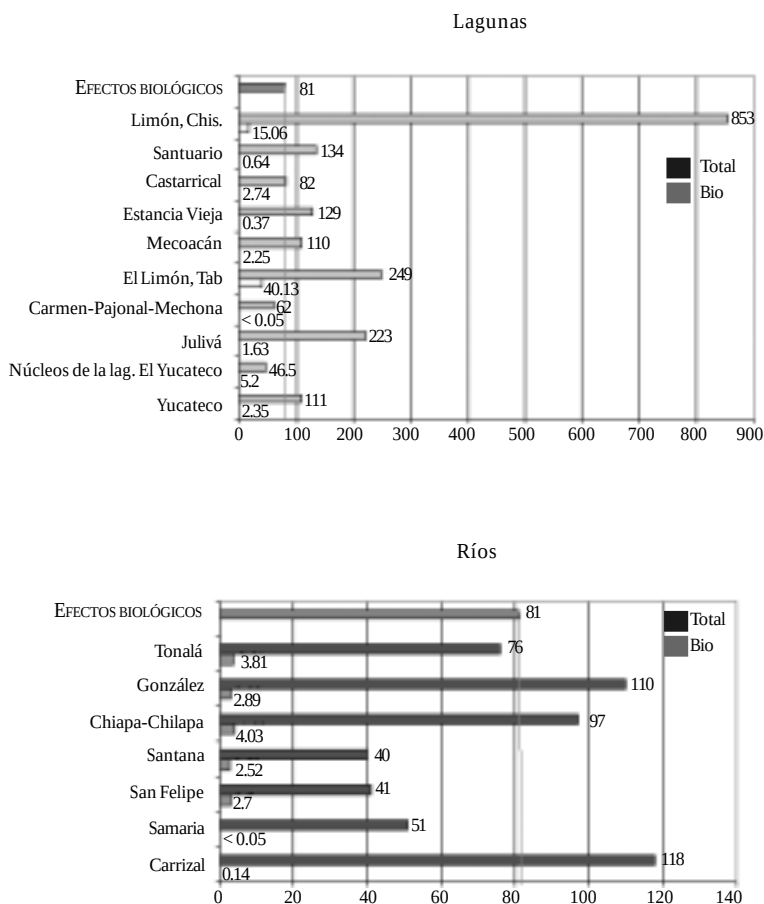


FIGURA 4. CONCENTRACIONES DE PLOMO ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS
COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



(véase cuadro 5), son las que registran las concentraciones más altas de Cr en los sedimentos de estos dos estados, sobrepasando las concentraciones que establecen Long *et al.* (1995: 19) para el ERL que es de $81\mu\text{g g}^{-1}$ hasta en un orden de magnitud.

FIGURA 5. CONCENTRACIONES DE CROMO EN SEDIMENTOS
DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



Estos datos sugieren la existencia de descargas de industrias aledañas a estos sitios, principalmente aquellas relacionadas con la tenería y los fertilizantes, las cuales descargan sus desechos en forma de cromatos. El Cr es un metal que tiende a acumularse en los sedimentos, lo que contribuye de manera significativa al incremento de su nivel en estas zonas.

Sin embargo, estos altos valores se contraponen con las concentraciones

de la fracción biodisponible, las cuales son menores a $5.5 \mu\text{g g}^{-1}$ para todas las áreas de donde se obtuvo información.

Níquel

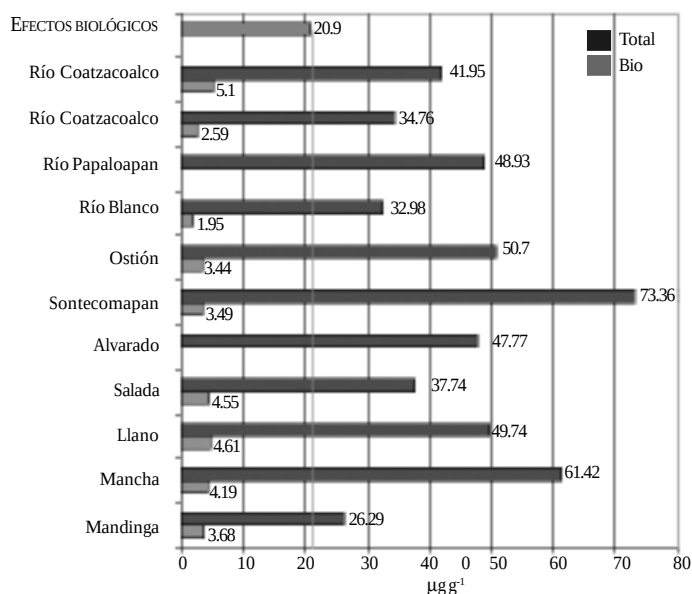
La presencia de Ni total en los sedimentos de las zonas costeras del Golfo de México sigue un patrón relativamente uniforme, ya que el intervalo de valores es de $26.29 \mu\text{g g}^{-1}$ (laguna de Mandinga) hasta $98.40 \mu\text{g g}^{-1}$ (río Tonalá) (Villanueva y Botello 1992:49), seguido por los ríos Jamapa, Actopan, Papaloapan en Veracruz con concentraciones que no exceden los $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (Vázquez *et al.* 1995: 45). Las concentraciones biodisponibles son uniformes para las lagunas del estado de Veracruz $<5.0 \mu\text{g g}^{-1}$. En cambio en Tabasco, las lagunas El Limón ($141 \mu\text{g g}^{-1}$), Julivá ($139 \mu\text{g g}^{-1}$) y el río Chilapa-Chilapilla ($155 \mu\text{g g}^{-1}$) son altas hasta en un orden de magnitud, ya que el valor que establecieron Long *et al.* (1995: 19) para el ERL es de $20.9 \mu\text{g g}^{-1}$ (figuras 6 y 7). Los valores reportados para el río Tonalá permiten suponer que este metal junto con el vanadio se encuentra formando parte de la composición de los petróleos crudos, empleando también el Ni como agente catalizador en el proceso de refinación de este petróleo. Es por ésto que se puede presumir que dichas concentraciones se relacionan directamente con las actividades petroleras propias de la zona, entre las que se encuentran las industrias petroquímicas como La Venta, El Panal, y Cinco Presidentes, en Tabasco, las cuales remontan sus actividades a varias décadas anteriores y sus desechos se han vertido desde entonces directamente al río sin ningún tratamiento previo (Villanueva y Botello 1992: 49).

ORGANISMOS

Extensivos programas de vigilancia se han implementando, inicialmente con mejillones para evaluar la presencia de los elementos potencialmente tóxicos y otros contaminantes en ambientes marinos (Goldberg *et al.* 1978: 7, Lauenstein *et al.* 1990:16). Aunque los mejillones son recomendados como una alternativa a los análisis de agua y sedimentos, existen variables adicionales que denotan la necesidad de ser investigados (Phillips 1977:31, Páez-Osuna *et al.* 1987:29, Villanueva y Botello 1998:50, Westerhagen *et al.* 1978:52).

A partir de los años setenta se ha generado información sobre la acumulación de los metales traza en moluscos por medio del Programa Mussel Watch, a través del cual se han analizado concentraciones de Cd, Cu, Pb, Ni,

FIGURA 6. CONCENTRACIONES DE NÍQUEL ($\mu\text{g g}^{-1}$) EN SEDIMENTOS DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE VERACRUZ

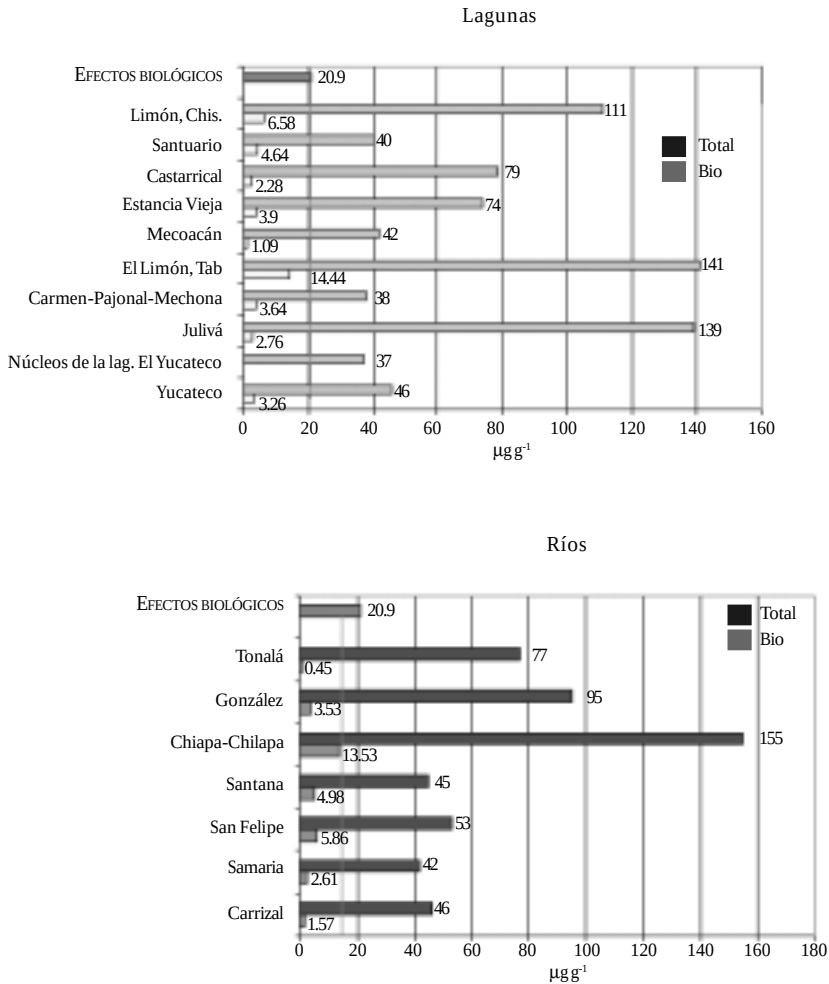


Ag y Zn en moluscos-bivalvos de la costa norte del Golfo de México, correspondiente a la parte de Estados Unidos (Goldberg *et al.* 1978: 7, 8, Lauenstein *et al.* 1990: 16). En el cuadro 2 se exponen los resultados de este programa en dos décadas de estudio.

De acuerdo con estos resultados, Lauenstein *et al.* (1990:16) concluyen que la concentración del Pb, Cd, Cu, y en menor grado el Zn en los moluscos-bivalvos ha disminuído durante la última década. Los autores no dan una respuesta definitiva al comportamiento de estos metales, pero proponen que el aumento del Cu en el ambiente es inversamente proporcional a la concentración en los moluscos, debido principalmente a los procesos fisiológicos de estos organismos.

Plomo

FIGURA 7. CONCENTRACIONES DE NIQUEL (g g^{-1}) EN SEDIMENTOS
DE SISTEMAS COSTEROS DEL ESTADO DE TABASCO



Los niveles de Pb en *Crassostrea virginica* presentan un patrón de distribución heterogéneo a lo largo de la costa del Golfo de México, registrándose los máximos valores en la laguna de Mandinga ($11.55 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hernández *et al.* 1996:11). Este valor fue notable, ya que las concentraciones biodisponibles

CUADRO 2. INTERVALO Y CONCENTRACIONES MEDIAS ($\mu\text{g g}^{-1}$, PESO SECO) DE METALES EN MOLUSCOS DE 13 SITIOS A LO LARGO DE LA COSTA NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO (PROGRAMA MUSSEL WATCH DURANTE 1976-1978 Y 1986)

	DÉCADA DE 1970			DÉCADA DE 1980		
	ELEMENTO	INTERVALO	MEDIA		INTERVALO	MEDIA
Ag	0.69	3.2	1.81	0.60	4.5	3.02
Cd	2.10	9.1	4.49	1.4	7.0	3.95
Cu	90.0	200	157.6	45	190	118
Ni	1.70	4.5	2.52	1.2	2.4	1.68
Pb	0.27	1.1	0.68	0.3	0.86	0.43
Zn	520	5100	1618	560	3500	1446

de Pb para esta laguna fueron las más altas registradas para el Golfo de México. En las lagunas de San Andrés ($5.85 \mu\text{g g}^{-1}$) (Vázquez *et al.* 1990:42), la Mancha ($3.24 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rodríguez 1994:33) y del Carmen ($3.04 \mu\text{g g}^{-1}$) se observan valores superiores al límite máximo permisible para consumo humano que es de $2.5 \mu\text{g g}^{-1}$ (Nauen 1983:23) (cuadro 3).

Sin duda, ello refleja el incremento de las actividades humanas e industriales cercanas a estas zonas, influyendo en su concentración y distribución, la dirección de los vientos y las corrientes costeras que acarrean dichos metales provenientes de las ciudades costeras industriales como Tampico, Veracruz y Tabasco. El alto valor de la laguna de Mandinga refleja que a ésta se vierten descargas directas enriquecidas de Pb, originándose probablemente en las áreas industriales de Córdoba y Orizaba, y que son transportadas a la zona costera por medio de los ríos Blanco y Jamapa en Veracruz.

Pérez-Zapata *et al.* (1984:30) analizaron dos especies de peces *Centropomus undecimalis* y *Guerres* sp. y reportaron los valores más altos para organismos del Golfo de México con $50.00 \mu\text{g g}^{-1}$ de Pb para el cráneo y riñón respectivamente.

A pesar de que el estado de Veracruz es altamente industrializado y urbanizado, las concentraciones promedio de Pb en *Crassostrea virginica* ($4.38 \mu\text{g g}^{-1}$), son semejantes a las del estado de Campeche ($4.59 \mu\text{g g}^{-1}$); y a la vez son menores a las registradas para el estado de Tamaulipas ($5.85 \mu\text{g g}^{-1}$).

Botello (1996: 4) realizó un estudio en la laguna El Yucateco, Tabasco de metales en distintas especies de peces y reportó que las concentraciones de

Pb para la mojarra prieta *Cichlasoma friedrichthali* fueron las más altas reportadas para peces registrando $15.68 \mu\text{g g}^{-1}$, así como para las cuatro especies enunciadas en el cuadro 4, estando por arriba del límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos según Nauen (1983:23) ($2.50 \mu\text{g g}^{-1}$).

Cadmio y Cromo

En el cuadro 3 se reportan las mayores concentraciones obtenidas para *Crassostrea virginica* en las lagunas del Carmen ($3.20 \mu\text{g g}^{-1}$), (Botello 1996:4), Términos ($5.33 \mu\text{g g}^{-1}$ y $4.17 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hicks 1976:12; Vázquez *et al.* 1993:44), y Mandinga ($3.13 \mu\text{g g}^{-1}$) (Hernández *et al.* 1996:11); estos valores sobrepasan el límite permisible para consumo humano ($2.0 \mu\text{g g}^{-1}$). Así, las elevadas concentraciones en las lagunas del Carmen y Términos se deben a la deposición de los desechos del río Panuco y río Palizada respectivamente, así como de los aportes de las industrias y actividades agrícolas aledañas a ellas. Un hecho claro es que generalmente hay una asociación entre la proximidad a las áreas densamente urbanizadas con las áreas de operaciones de minería, electroplastia y petrolera.

En cambio las concentraciones reportadas para peces de la laguna El Yucateco se encuentran entre $0.36 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0.71 \mu\text{g g}^{-1}$ (cuadro 4). Las concentraciones detectadas de Cr en el ostión *Crassostrea virginica* son altas para todas las áreas reportadas en el cuadro 3 de acuerdo con el límite máximo permisible que es de $1.0 \mu\text{g g}^{-1}$ (Nauen 1983:23), por lo que hay una alta disponibilidad y acumulación de este metal del sedimento hacia los moluscos-bivalvos.

Los peces analizados de la laguna El Yucateco presentan concentraciones ligeramente por arriba del límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos que es de $1.00 \mu\text{g g}^{-1}$ (cuadro 4).

Níquel

A pesar de que el Ni es un metal esencial para los organismos vivos, también es el metal que menos tendencia tiene a bioacumularse, y sólo los moluscos de la laguna del Ostión en Veracruz ($84.00 \mu\text{g g}^{-1}$) (Villanueva *et al.* 1988: 48) mostraron niveles importantes de este metal. Sin embargo, esta concentración no es tan elevada al comparar dicho valor con el que reporta Segar (1971: 39) en el gasterópodo *Crepidula fornicata* ($850 \mu\text{g g}^{-1}$), donde el autor hace referencia a que esta concentración no tiene ningún efecto tóxico en el organismo. Los niveles reportados por Villanueva *et al.* (1998:48) en

Diaptherus olisthostomus (78.00 $\mu\text{g g}^{-1}$) son altos en relación con otros estudios, como el realizado por Izaguirre-Fierro *et al.* (1992:13) para el noroeste,

CUADRO 3. VALORES PROMEDIO DE METALES EN *CRASSOSTREA VIRGINICA* ($\mu\text{g G}^{-1}$, PESO SECO) DE LAGUNAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO

Estado	Cd	Cr	Pb	Ni	Referencia
<i>Tamaulipas</i>					
Laguna San Andrés Veracruz	2.55		5.85	3.4	Vázquez <i>et al.</i> 1990:42
Mandinga	3.13	3.32	11.55	5.77	Hernández <i>et al.</i> 1996:11
Mancha	1.34	5.13	3.24	2.88	Rodríguez 1994:33
Llano	1.11	4.58	2.23	4.13	Rodríguez 1994:33
<i>Tabasco</i>					
Carmen	3.29	6.31	51.80		Botello, 1996:4
Machona	2.94	5.17	22.38		Botello, 1996:4
Mecoacan	1.08	6.47	4.08		Botello, 1996:4
L.M.P.C.A.A.*	0.20	1.00	2.50		

* Límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos.

Fuente: Nauen (1983)

CUADRO 4. CONCENTRACIONES DE METALES EN TEJIDO DE PECES Y CRUSTÁCEO ($\mu\text{g G}^{-1}$, PESO SECO) DE LA LAGUNA EL YUCATECO, TABASCO

ESPECIE	NOMBRE COMÚN		Cd	Cr	Pb	Ni
<i>Cichlasoma friedrichsthalii</i>	Mojarra Prieta		0.61	1.24	15.68	4.99
<i>Megalops atlanticus</i>	Sábalo		0.43	1.03	10.06	4.10
<i>Cichlasoma bifasciatum</i>	Castarrica		0.36	2.10	5.29	4.57
<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	Mojarra		0.39	0.16	8.89	5.74
<i>Callinectes rathburnae</i> Jaiba	0.71	1.26	12.13	8.75		
L.M.P.C.A.A.*	0.20	1.00	2.50			

* Límite máximo permisible para consumo de alimentos acuáticos.

Fuente: Botello 1996: 4.

te del Pacífico mexicano donde encontró valores menores a $10.30 \mu\text{g g}^{-1}$ en *Mugil curema* (cuadro 3).

Las concentraciones reportadas en los cuadros 2 y 3 para el ostión *Crassostrea virginica* y en cinco especies diferentes de peces son muy semejantes, ya que su intervalo va de $2.88 \mu\text{g g}^{-1}$ para el ostión de la laguna de Mandinga, a $8.75 \mu\text{g g}^{-1}$ en la jaiba *Callinectes rathuburnae* de la laguna El Yucateco.

Núñez (1996:24) realizó un estudio en tiburones del Golfo de México en donde analizó diez metales en seis órganos diferentes de *Carcharhinus limbatus* y en *Rhizoprionodon terraenovae* considerando las diferentes tallas, edad y sexo de estas dos especies. Mediante este estudio determinó el factor de riesgo para su consumo de acuerdo con las concentraciones detectadas

CUADRO 5. CONCENTRACIONES DE METALES TÓXICOS EN DIFERENTES ESPECIES DE TIBURONES DEL GOLFO DE MÉXICO

METAL	As	Cd	Hg	Pb
Ingesta máxima tolerable*	0.05 mg/kg/día	0.008 mg/kg/semana	0.03 mg/kg/día	2.5 mg/kg/día
Concentración detectada en <i>C. limbatus</i>	3.15 mg/kg	0.30 mg/kg	3.01 mg/kg	1.79 mg/kg
Concentración detectada en <i>R. Terraenovae</i>	3.68 mg/kg	0.40 mg/kg	0.75 mg/kg	3.35 mg/kg
Ingesta máxima tolerable** de carne de <i>C. limbatus</i>	1.11 kg/día	1.86 kg/semana	0.0697 kg/día	97.76 kg/día
Ingesta máxima tolerable** de carne de <i>R. terraenovae</i> .	0.951 kg/día	1.40 kg/semana	0.287 kg/día	52.23 kg/día

* Según los límites establecidos por la FAO/OMS.

**Considerados para una persona adulta de 70 kg de peso.

de metales, sobre todo los altamente tóxicos como el As, Cd, Hg y Pb, debido a que son especies que forman parte importante de las pesquerías a escala nacional.

A diferencia de otras sustancias como los plaguicidas y los radioisótopos artificiales, los metales se hallan presentes formando parte de los seres vivos. Los efectos adversos de los metales dependen de su interacción con los organismos o comunidades en su totalidad. Existe un balance muy delicado entre los organismos y su ambiente, el cual está determinado por la utilización de ciertos metales en los procesos catalíticos que ocurren en la célula y la bioacumulación de estos niveles tóxicos. Este balance está influenciado no solamente por la abundancia y disponibilidad de los metales en la corteza terrestre, sino también por las transformaciones que sufren estos elementos a consecuencia de las alteraciones fisicoquímicas y biológicas que provocan y/o aceleran las actividades humanas (Páez-Osuna 1996: 27).

La mayoría de los metales son insolubles en agua con un pH neutro o básico, pero fácilmente absorbidos al material particulado, como la materia orgánica o los sedimentos, siendo éstos el destino final de los metales en los ambientes acuáticos, en donde la concentración es de 10^3 a 10^7 veces mayor que la concentración de los mismos en la columna agua, ya que pueden ser asimilados por los organismos, o formar compuestos iónicos con aniones hidrosolubles. Por lo tanto, en los océanos y las costas los organismos bentónicos son los más afectados por la concentración de los metales debido a su interacción directa con los sedimentos (Laws 1993: 17).

Se pueden hacer las siguientes consideraciones sobre los resultados que reportan los autores sobre las altas concentraciones de metales tóxicos en los sedimentos y organismos de los sistemas costeros del Golfo de México:

La contaminación por Pb parece ser un fenómeno limitado al área crítica del río en donde existen zonas que se encuentran considerablemente degradadas y completamente destruidas.

Las variaciones de las concentraciones de Pb en los sedimentos dependen del comportamiento de la descarga industrial, la tendencia del Pb a acumularse, y las características propias del sedimento, el cual puede sostener poblaciones de organismos principalmente de bacterias, que a través de su actividad metabólica permiten la incorporación del Pb en forma orgánica, y la afinidad con la materia orgánica (Landner 1970: 14, Hartung 1972: 10).

Las altas concentraciones de Pb biodisponible determinadas en ambientes costeros del Golfo de México se pueden atribuir a los siguientes hechos:

(a) la asociación del metal con la materia orgánica y su precipitación como carbonatos de Pb, (b) el Pb no está totalmente disponible a los organismos, (c) los compuestos de Pb son solubles en agua, (d) la periodicidad de la descarga del Pb, (e) su magnitud, (f) el gasto del río o laguna, y también a la influencia de las mareas, y sobre todo a los compuestos orgánicos de Pb contenidos en las gasolinas, ya que el Hg y el Pb son dos de los metales que se descargan intermitentemente en la zona del río Coatzacoalcos (Ochoa *et al.* 1973: 26, Páez-Osuna *et al.* 1986: 27).

Con respecto a los niveles de metales en los sedimentos de las áreas costeras del Golfo de México, éstos son de varios órdenes de magnitud mayores a los determinados en columna de aguas costeras y mar abierto. Los niveles de concentración y distribución de Pb, Cd y Cr en los sedimentos, con algunas excepciones, están en un intervalo similar a zonas costeras no impactadas.

El comportamiento de los metales en los organismos, depende de varios factores, como: su absorción, excreción, almacenamiento y eficiencia de su sistema de regulación o desintoxicación (Bryan 1971: 5). Así, tales estrategias fisiológicas y bioquímicas pueden diferir de una especie a otra (Gerlach 1981: 6), provocando que las concentraciones varíen entre especies, organismos, tejidos y también con la edad, madurez sexual, hábitos alimenticios, migración, dinamismo, metabolismo, y sobre todo con la diferente afinidad de los metales por órganos específicos (Hicks 1976: 12, McFarlane y Franzin 1980: 22).

METALES EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México es una cuenca abierta con una plataforma continental bien desarrollada. Recibe un suministro importante de diversos materiales terrígenos. Su área de plataforma es de poco relieve predominando los factores de depósito sobre los estructurales.

ORGANISMOS DE PLATAFORMA

Vázquez *et al.* (2001: 45) realizaron estudios de metales (Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, Zn, Ag, Ba y Fe) en peces y camarones colectados en diferentes áreas de la Sonda de Campeche, donde muestran que la concentración de dichos metales en los músculos, gónadas y vísceras (Cu: 1.3-10.5, Pb: 0.15-8.5, Cd: 0.001-4.88, Cr: 1.3-9.8, Mn: 0.1-0.6, Zn: 41-202, Ag: 0.002-1.5,

Ba:9.3-55.7, Fe: 8.5-236 mg/kg) no presentan variaciones en función del área de colecta, con excepción del Ba y el Zn. Estos metales mostraron las concentraciones más altas en los músculos y gónadas de organismos colectados dentro del área de circulación restringida, adyacente a las plataformas. En camarones se estudiaron los músculos y cabezas en tres áreas diferentes; en general los valores más altos se presentan en la cabeza (Cu: 17.1-125, Pb:1.7-13.1, Cd:1.7-15.9, Cr:1.2-15.9, Mn:0.1-1.1, Zn:55-161,

CUADRO 6. CONCENTRACIONES DE METALES ($\mu\text{g L}^{-1}$) EN AGUA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

ÁREA	Cu	Cr	Ni	V	Ti
Costas de Veracruz (1)			.032*	.026*	
Bahía de Campeche A (2)	8.2	7.4	4.2	20.4	13.4
Bahía de Campeche B (2)	5.6	5.2	3.5	24	5.3
Bahía de Campeche C (2)	7.9	5.8	3.4	28.7	4.5
Bahía de Campeche D (2)	11.4	6	2.9	24.7	13
Bahía de San Francisco 3	0.2-5.3	-	-	-	-
Trinidad, Indias Occ. (3)	-	.003-.011	-	-	-
Canal Inglés (4)	-	-	0.02	1.1	-

1. Vázquez *et al.* 1991:43, 2. Villanueva-Estrada 2000:51, 3. Sadiq 1992:38, 4. Auger *et al.* 1999 :2.

Ag:16-2.7, Ba:11.6-90.6, Fe:59-285) y no se observa una tendencia definida de concentración en función del área.

AGUA DE PLATAFORMA

Los datos de la concentración de metales en aguas del Golfo de México son muy escasos. Las dificultades analíticas inherentes a la determinación de metales en agua de mar, así como los niveles de concentración del orden de mg L^{-1} o ng L^{-1} en que se encuentran los metales dificultan su análisis.

Vázquez *et al.* (1991:43) realizaron estudios en las costas de Veracruz, donde evaluaron las concentraciones de Ni y V en agua (superficie y fondo)

y en sedimentos superficiales. La concentración promedio de Ni que encontraron en agua fue de $0.032 \mu\text{g L}^{-1}$ con un intervalo de 0.008 a $0.095 \mu\text{g L}^{-1}$. Los mismos autores obtuvieron valores más altos durante un crucero en diciembre, lo cual se atribuye a la presencia de nortes, observándose una clara diferencia entre las muestras de superficie y fondo. El V en el agua varió de 0.001 a $0.119 \mu\text{g L}^{-1}$ con un promedio de $0.026 \mu\text{g L}^{-1}$. En el muestreo de noviembre los valores de superficie y fondo fueron similares, en tanto que para diciembre se observaron diferencias atribuidas a los vientos del norte presentes durante el muestreo. Comparando estos valores con los valores promedio reportados por Auger *et al.* (1999:2) en el Canal Inglés, de 0.02 mg L^{-1} de Ni, y 1.10 mg L^{-1} de V, se observó que los valores de Vázquez *et al.* (1991:43) están por debajo de las concentraciones observadas en el Canal Inglés.

Villanueva -Estrada (2000:51), llevó a cabo un estudio de metales disueltos, (Cu, Cr, Ni, V y Ti) en agua de fondo, en cuatro zonas del sur del Golfo: i) zona A, localizada cerca de la descarga de los ríos Grijalva- Usumacinta; ii) zona B, localizada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al suroeste de la misma; iii) zona C, localizada dentro de la zona de exclusión de PEMEX, al noreste de la misma; y iv) zona D, localizada fuera del área de exclusión dentro de la provincia carbonatada. Los valores más altos obtenidos (cuadro 6) de Cu se ubican en la zona D, donde también se obtuvieron los valores más altos de materia orgánica disuelta con la cual se asocia el Cu. Los valores más altos de Cr, Ni y Ti se localizaron en la zona A y se asocian con las descargas de los ríos Grijalva, Usumacinta. El valor más alto de V ($28.7 \mu\text{g L}^{-1}$ en promedio) se presenta en la zona C y se atribuye a las actividades de extracción de hidrocarburos.

SEDIMENTOS DE PLATAFORMA

Los estudios de concentración de metales en sedimentos de la plataforma continental del Golfo de México son escasos. En el cuadro 7 se presentan las concentraciones de metales en sedimentos superficiales del Golfo de México de acuerdo con diferentes estudios realizados.

Vázquez *et al.* (1991:43) en un estudio realizado en las costas del estado de Veracruz encontraron concentraciones de Ni entre 82 y 113 mg/kg con un promedio de 95.5 mg/kg . Los valores fueron muy similares a los muestreos realizados en noviembre y diciembre, las muestras más alejadas de la costa muestran los valores más altos, lo que se atribuye a los procesos diagenéticos. Las concentraciones de V en los sedimentos del área se presentaron en un

intervalo de 39 y 63 mg/kg con un promedio de 45.5 mg/kg, con valores muy similares entre ambos cruceros realizados.

Rosales *et al.* (1994:36) llevaron a cabo estudios en el área de la Sonda de Campeche para evaluar el impacto de las actividades de explotación petrolera que se llevan a cabo en el área, encontrando valores de 18 mg/kg de Pb, de 66 a 366 mg/kg de Cr con un promedio de 166 mg/kg. El patrón de distribución de estos metales sugiere que las fuentes de aporte son las descargas de los ríos Grijalva- Usumacinta, lo cual se apoya adicionalmente en su relación con las descargas de Al, elemento al que se le atribuye un origen terrígeno. El Ba encontrado en el área, muestra patrones de distribución que podrían relacionarse con actividades de exploración y explotación petroleras que se llevan a cabo en el área; los valores más altos (767 mg/kg) se encuentran adyacentes a estas áreas.

Ponce (1995: 32) realizó un estudio en sedimentos superficiales a lo largo de la plataforma de Tamaulipas. Los valores de concentración más altos de metales están asociados a la desembocadura del río Soto la Marina a excepción del Cr cuyo valor más alto corresponde al extremo norte del área de estudio.

En la plataforma continental del estado de Veracruz, la misma autora colectó muestras de sedimento superficial frente a la desembocadura de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá y frente a la laguna del Carmen. Los valores más altos se encontraron en la estación localizada al sur de la desembocadura del río Coatzacoalcos, cerca de la costa (cuadro 7). También se estudiaron los sedimentos superficiales frente a la desembocadura del río Grijalva donde los valores más altos se encontraron en las estaciones localizadas más alejadas de la costa. De las tres áreas estudiadas de la plataforma (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), los valores más altos de Ni, Zn y Cr se encontraron en la plataforma continental del estado de Tabasco; los de Cu y Pb en el sur de Veracruz y los de Cd correspondieron a la plataforma continental de Tamaulipas.

Durante febrero de 1992 se colectaron 26 núcleos de sedimentos de 10 cm en la plataforma de Campeche (Macias-Zamora *et al.* 1999:21), y se evaluaron las concentraciones de Cu, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb, V, Mn, Fe. La mayoría de los metales mostraron una mayor concentración hacia el suroeste del Banco de Campeche y concentraciones bajas hacia la plataforma de Yucatán. En el cuadro 7 se muestra el promedio de concentración obtenido para cada metal, así como el intervalo en que se encontraron. Los patrones de distribución de los metales, sugieren que la concentración de éstos es controlada en gran parte por la cercanía a la fuente de aporte de material terrígeno. Aparentemente,

los gradientes de distribución son afectados por los patrones de circulación.

Los valores de Fe y Zn muestran alta variación, en tanto los valores de Cu, Cr y Cd muestran poca variación. La normalización de los metales estudiados respecto al Fe muestra que este elemento está controlando la distribución de la mayoría de los metales.

Un análisis de la regresión lineal de esta relación sugiere la presencia de tres áreas, especialmente en los casos de Cr, Ni y Zn: una con alto contenido de metales, otra con bajo contenido de metales y un área de transición.

El análisis de la distribución de metales a lo largo de 10 cm en el núcleo 5A (localizado alrededor de 19° 24' de latitud y 92° 38' de longitud) no mostró cambios notables, lo que sugirió la ausencia de procesos diagenéticos, con excepción del Cd. En el caso del núcleo 5B (localizado alrededor de 20° 05' de latitud y 91° 52' de longitud), se observaron perturbaciones entre 4-5 cm de profundidad para todos los metales estudiados, lo que sugirió un evento común como es la fluctuación en los aportes fluviales o en el régimen de circulación. Los patrones de distribución espacial de los metales sugirieron una influencia de material terrígeno depositado en las áreas costeras de Tabasco y Veracruz.

El patrón de distribución de Ni/V mostró los valores más altos en el área restringida de explotación de hidrocarburos. Este patrón puede estar asociado con las actividades de extracción de hidrocarburos o con los patrones de circulación en el área.

Rosales *et al.* (1999: 37) colectaron 73 muestras de sedimento superficial en el sureste del Golfo de México. El análisis de las características texturales de los sedimentos superficiales mostró que los sedimentos lodosos aportados por el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta se distribuyeron hacia el norte y posteriormente se desplazaron en dirección noreste; este patrón de distribución se asoció con la dinámica del área. Enfrente de la laguna de Términos se observa otra corriente de menor intensidad que fluye hacia la desembocadura de los ríos Grijalva Usumacinta; estas corrientes son determinantes en los patrones de distribución de metales en el área.

Basándose en el contenido de Si/Al se clasificaron las muestras en dos grupos con características químicas diferentes: 1) los sedimentos asociados a las descargas de los ríos Grijalva, Usumacinta, correspondieron a sedimentos más intemperizados, con más alto contenido de Al, concentraciones menores de Na y K, y una correlación significativa de Al con Fe, Ti y Zn, lo que sugiere que el Fe se encuentra asociado a la estructura cristalina de las arcillas.

En el cuadro 7 se presenta el contenido de metales de estos sedimentos. Los sedimentos con menor contenido de Al se asociaron a las descargas de la

laguna de Términos; estos sedimentos tienen una correlación alta de Al con Si y de Fe con Mn, Ti, Mg, lo que sugiere la presencia de minerales pesados altamente resistentes al intemperismo.

Un análisis de factores, permite observar la presencia de tres tipos de sedimentos con características químicas diferentes: 1) sedimentos terrígenos asociados a las descargas de los ríos Grijalva/Usamacinta, caracterizados principalmente por su contenido de Al, Zn, Fe y K 2) sedimentos con un alto contenido de Ba, asociados con las actividades de extracción de hidrocarburos y 3) sedimentos asociados a las descargas de laguna de Términos caracterizados por su contenido de materia orgánica.

En febrero/marzo de 1997 Vázquez *et al.* (2002: 47) colectaron 28 muestras de sedimento en el sureste del Golfo de México desde la desembocadura del río Coatzacoalcos hasta la laguna de Términos concluyendo lo siguiente: los elementos estudiados (Si, Al, Fe, Na, Mg, Ca, K) a excepción de Ca y Si no mostraron una variación significativa entre estaciones. La alta concentración de CaO en la región este del área de estudio se debe a que el Banco de Campeche es una provincia carbonatada. La concentración de Si fue más alta en la porción oeste del área de estudio. Los metales presentaron distribuciones al azar y no siguieron un patrón definido; sin embargo, algunos metales tales como Ni, V y Ba tuvieron valores anormalmente altos en algunos sitios que sugirieron que podrían estar asociados a las actividades de extracción de hidrocarburos. No se observó una correlación entre la concentración de metales y la composición de sedimentos, lo que sugirió que los metales no están asociados a los minerales de aluminosilicatos, hidróxidos de hierro y carbonatos presentes naturalmente en el área. La correlación entre metales indica que el Cu, Zn, Ni, Co y V en sedimentos son controlados por los mismos factores tales como asociación a la superficie de los óxidos de Fe.

Comparando los valores de metales obtenidos con los de otras áreas, se observa que las concentraciones de Cu, Zn y Cr son similares a los valores obtenidos en zonas costeras, sin embargo, las concentraciones de Cd, Pb y Ni son más altas.

RADIONUCLIDOS ARTIFICIALES

Rodríguez-Espinosa *et al.* (2002:34) estudiaron los isótopos de ^{137}Cs y ^{40}K en núcleos de sedimentos localizados en el sureste del Golfo de México, encontrando que las concentraciones de estos isótopos variaron dependiendo de

CUADRO 7. METALES EN SEDIMENTOS (MG/KG) DEL GOLFO DE MÉXICO

AREA	N	CU	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni	V	Ba	Fe
Costa de Veracruz (1)	31	Prom.	-	-	-	-	-	95.5	45.5	-
		Intervalo	-	-	-	-	-	82-113	39-63	-
Sureste Golfo de México (2)	37	Prom.	-	-	166	-	18	-	-	147
		Intervalo	-	-	83-316	-	-	-	-	33-767
Plataforma de Tamaulipas (3)	23	Prom.	15.23	9.14	36.97	71.67	4.22	26.82	-	-
		Intervalo	3.2-24.98	2.8-18.0	nd-74.96	17.3-115.7	nd-6.9	1.9-76	-	-
Plataforma de Veracruz (3)	29	Prom.	17.94	1.79	15.6	33.18	15.2	17.86	-	-
		Intervalo	1.6-91.25	1.16-5.96	nd-50.3	nd-185.9	nd-37.7	3.4-84.8	-	-
Plataforma de Tabasco (3)	32	Prom.	16.88	7.03	101.7	84.4	6.44	91	-	-
		Intervalo	nd-33.5	2.8-13.9	57.8-157.4	47.3-127.9	nd-27.2	45.7-147.4	-	-
Plataforma de Campeche (4)	26	Prom.	7.53	0.09	39.8	18.5	4.3	-	47.78	1.84
		Intervalo	3.8-18.7	0.01-0.7	3.0-100.0	0.04-79.6	0.22-20.2	-	15.6-117.5	0-7.9
Sureste Golfo de México: Río (5)	18	Prom.	-	-	-	79.7	-	-	-	751
		Intervalo	-	-	-	45.4-116.7	-	-	-	256.4-2909
Sureste Golfo de México: Lag (5)	14	Prom.	-	-	-	10.4	-	-	-	472
		Rango	-	-	-	0-85.2	-	-	-	106.8-864
Sureste Golfo de México (6)	28	Intervalo	9.4	3.45	74.5	64.6	107	71.3	33.9	35.5
		Rango	0.05-18.3	0.05-6.82	54.7-97.3	0.54-131	67.3-263	1.54-211	17.7-59.6	9.3-74.6
USA (7)		Intervalo	35	0.48	110	140	43	34	-	-

1) Vázquez *et al.* (1991:43), 2) Rosalez-Hoz *et al.* (1994:36) 3) Ponce (1996:32) 4) Macías-Zamara *et al.* (1999:21) 5) Rosales-Hoz *et al.* (1999:37), 6) Vázquez *et al.* (2002:47) 7) O'Connor y Cantillo 1992:25

los ambientes sedimentarios, pero son similares a los valores reportados en otras áreas a nivel mundial. Las concentraciones de ^{137}Cs están en el intervalo de 2 a 6.5 Bq/kg y las de ^{40}K de 100 a 800 Bq/kg. Los valores más altos de ^{137}Cs se encontraron en los sedimentos localizados en el delta de los ríos Grijalva Usumacinta a profundidades de 75 m; estos valores se asociaron a la gran cantidad de lluvias presentes en el área (3,000 mm/año) y al tamaño de la cuenca de los ríos Grijalva Usumacinta, que es mucho mayor que la cuenca del río Pánuco. Los valores más altos de ^{40}K se localizaron en el delta del río Pánuco, los sedimentos aportados por este río proceden de la Sierra Madre Oriental y de la parte central de México donde existe una intensa actividad agrícola y uso de fertilizantes. Los valores más bajos tanto de ^{137}Cs como de ^{40}K se localizaron en el escarpe de Yucatán.

El estudio de isótopos radioactivos permite diferenciar la plataforma continental del Golfo de México en función de los ambientes de depósito de cada región, por lo que no se pueden generalizar los procesos biogeoquímicos de los metales de una región oceánica a otra.

CONCLUSIONES

La ausencia de programas efectivos de vigilancia y control de metales del ambiente costero mexicano, la creciente industrialización y urbanización de la zona costera mexicana y sobre todo la falta de una verdadera aplicación de normas ambientales, han ocasionado que el 45% de los ríos y lagunas del Golfo de México, contengan Pb, Cd y Cr, principalmente las lagunas de Ostión Alvarado, y del río Coatzacoalcos en Veracruz y de las lagunas de las Ilusiones, El Yucateco, Julivá en Tabasco.

Los datos analizados en este trabajo, demuestran que la tendencia de los niveles de metales va en aumento, principalmente del Pb y Cr cuyos valores se han incrementado hasta en 20 órdenes de magnitud con respecto a las concentraciones detectadas en las dos últimas décadas.

Los altos niveles de metales en las áreas costeras del Golfo de México se deben, principalmente a la introducción continua y masiva de aguas residuales de ciudades costeras, a los aportes industriales, de minería, tenejería, galvanoplastia y de fertilizantes, las cuales varían con la periodicidad y magnitud de las descargas. Finalmente, las emisiones atmosféricas, provenientes de las regiones urbanas e industriales de las ciudades costeras, son otra fuente de aporte importante de contaminación. Así, la información aquí presentada muestra que la tendencia de la contaminación por metales

en las zonas costeras del Golfo de México va en aumento, principalmente la producida por Pb, Cd y Cr metales que pueden producir efectos toxicológicos negativos en los organismos que habitan las áreas costeras mexicanas, y por lo tanto un efecto deletéreo en las pesquerías importantes de la región, como son las de las lagunas de la Mancha, Mandinga, del Ostión en Veracruz y el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R.U., Rosales, H.L., Carranza, E.A. 1986. Heavy metals in Blanco river sediments, Veracruz, México. Universidad Nacional de Autónoma de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 13: 1-10.
- Auger, Y., Bodineau, L., Leclercq, S., Wartel, M. 1999. Some aspects of vanadium and chromium chemistry in the English Channel. *Continental Shelf Research* 19, 2003-2018. Pergamon.
- Bahena-Manjarrez, J.L., Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A. 2002. Spatial and temporal variation of heavy metals in a tropical estuary. *Environmental Geology* 42: 575-582.
- Botello, A.V. 1996. Hidrocarburos Tóxicos en cuerpos acuáticos y su Bioacumulación. Informe Final presentado a Petróleos Mexicanos-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Enero, 1997. 166 pp.
- Bryan, G.W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine organisms. *Proc. Roy. Soc. London (B)* 177:389-410.
- Gerlach, S.A. 1981. *Marine Pollution. Diagnosis and Terapy*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
- Goldberg, E.D., Bowen, V.I., Farrington, J.W., Martin, J.H., Parker, P.L., Risenbrough, R.W., Robertson, W., Schneider, E., Rambre, E. 1978. The Mussel Watch. *Environmental Conservation* 5:101-125.
- Goldberg, E.D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A.R., Martin, J. 1983. U.S. Mussel Watch: 1977-1978 Results on Trace Metals and Radionuclides. *Estuarine Shelf Science* 16: 69-93.
- González, F.A. 1995. Evaluación de metales en sedimentos recientes y organismos bentónicos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Tesis Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Puebla.
- Hartung, R. y B.D. Sinman 1972. *Environmental mercury contamination*. Ann Arbor Science.
- Hernández, A.E., Hernández, V.E., Botello, A.V., Villanueva, F.S. 1996. Deterioro por metales del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. 6° Congreso Nacional de Geoquímica. Instituto Nacional de Geoquímica, A.C., México. *Acta INAGEQ* 2: 307-312.

- Hicks, E.A. 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Facultad de Química. UNAM, México.
- Izaguirre-Fierro, G., Páez-Osuna, F., Osuna-López, J.I. 1992. Metales pesados en los peces del Valle de Culiacán. *Ciencias Marinas* 18: 143-151.
- Landner, L. 1970. Restoration of mercury contaminated lakes and rivers. *Swedish Water and Air Pollution*. Research Laboratory Ref. B.
- Largerwerff, J.V. 1972. En: Micronutrients in agriculture. J.J. Morvedt (ed). *Soil Science*. Society America Madison Wisconsin. 67 pp.
- Lauenstein, G.G., Robertson, A., O'Connor, T.P. 1990. Comparison of trace metal data in mussel and oysters from a Mussel Watch Programme of the 1970's with those from a 1980's Programme. *Marine Pollution Bulletin* 21: 40-447.
- Laws, E.A. 1993. *Metals*. 351-415. En: *Aquatic Pollution. An Introduction Text*. Second Edition. An Interscience Publication. John Wiley and Sons, Inc.
- Loring, D.H. 1979. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science* 16: 1196-1209.
- Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.
- Luoma, S.N., Jenne, E.A. 1976. Estimating bioavailability of sediment-bound trace metals with chemical extractants. In: Trace substances in environmental health. DD Memphill (ed). Univ. Of Missouri, Columbia, MO 343-351.
- Macías Zamora, J.V., Villaescusa Celaya, J.A., Muñoz Barbosa, A., Gold Bouchot, G. 1999. Trace metals in sediment cores from the Campeche shelf, Gulf of Mexico. Elsevier Science Ltd. *Environmental Pollution* 104 (1), 69-77.
- McFarlane, G.A., Franzis, W.G. 1980. An examination of Cd, Cu and concentration in liver of northern pike, *Esox lucius* and white sucker, *Catostomus commersoni* the five lakes near a base metals smelter at Flin Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37:1573-1578.
- Nauen, C.E. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fisheries products. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, October 1-100.
- Núñez, N.G. 1996. Concentración de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se y Zn en cerebro, branquias, músculo, páncreas, riñón e hígado de dos especies de tiburones del Golfo de México (*Rhizoprionodon terraenovae* y *Carcharhinus limbatus*) con importancia comercial. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM. México, D.F.
- O'Connor T.P., Cantillo A.Y. 1992. Trace element contaminants in sediments from the NOAA National Status and Trends Programme compared to data from throughout

- the world. *Chemistry Ecology* 7:31-50.
- Ochoa, S.A., Halffter, G.E., Ibarra, R. 1973. Estudio de la contaminación en el Bajo Río Coatzacoalcos. Primeros trabajos. Primer Seminario sobre la Evaluación de la contaminación Ambiental. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables (ed.). México, D.F. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas: 115-162.
- Páez-Osuna, F. 1996. Efectos de los metales, p. 349-361. En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (Eds.). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, 5.
- Páez-Osuna, F., Botello, A.V., Villanueva, S.F. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 11: 516-519.
- Páez-Osuna, F., Valdez-Lozano D, Alexander, M.H., Fernández-Pérez, H. 1987. Trace metals in the fluvial system of Términos Lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 18: 294-297.
- Perez-Zapata, A.J., Deleón, I.R., Gil, R.A.M. 1984. Determinación cuantitativa de plomo en peces del estuario del Río Coatzacoalcos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México*. 28: 193-197.
- Phillips, D.J.H. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metals pollution in marine and estuarine environments -a review. *Environmental Pollution* 13: 282-317.
- Ponce, V.G. 1995. Evaluación de los niveles de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Rodríguez, P.C. 1994. Evaluación de metales en sedimentos, agua y biota de las lagunas Salada, el Llano y la Mancha, Veracruz, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México D.F. 99 pp.
- Rodríguez Espinosa, P.F., Vidal Lorandi F.V., VidalLorandi, V.M. 2002. Regionalization of natural and artificial radionuclides in marine sediments of the southern Gulf of Mexico. En : *Environmental changes and radioactive tracers*. Fernandez J.M. y Fichez R. (ed). IRD Editions. París.
- Rosalez, H.L., Carranza, E.A., Alvarez, R.U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México 13 (3): 19-28.
- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Santiago-Pérez, S., Méndez-Jaime C., Doger-Badillo R. 1994. Study of antropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. Centro de Ciencias de la Atmosférica, UNAM, México, D.F. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 10(1), 9-13.

- Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Mendez-Jaime C., Monreal-Gómez M.A. 1999. Metals in shelf sediments and their association with continental discharges in a tropical zone. *Marine Freshwater Research*, 50, 189-196. CSIRO Publishing, Australia.
- Sadiq M., 1992. *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*, M. Dekker Inc. New York.
- Segar, D.A., Collins, J.D., Riley, J. 1971. The distribution of major and minor elements in marine animals. II Molluscs. *Journal Marine Biology Association U.K.* 51, 131-136.
- Turekian K.K., Scott M.R. 1967. Concentrations of Cr, Ag, Mo, Ni, Co and Mn in suspended material in stream. *Environmental Science and Technology* 1(11):940-942.
- Valencia, J.J.L. 1989. Registro sedimentario de metales pesados en la Laguna de las Ilusiones, Villahermosa. Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas- Biología. Unidad Sierra.
- Vázquez, F.G., Aguilera, G.L., Delgado, H.D., Marquez, G.A. 1990. Trace and heavy metals in the oyster *Crassostrea virginica*, San Andres Lagoon, Tamaulipas, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 45: 907-914.
- Vázquez, F.G., Sánchez, M., Alexander, H., Delgado, D. 1991. Distribution of Ni and V and Petroleum hydrocarbons in recent sediments from the Veracruz coast, Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* 46: 774-781.
- Vázquez, F.G. Sánchez G.M., Virender K.S. 1993. Trace metals in the oyster *Crassostrea virginica* of the Terminos lagoon, Campeche, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 26:398-399.
- Vázquez F.G., Sharma, V.K., Alexander, V.H., Frausto, C.A. 1995. Metals in some lagoons of Mexico. *Environmental Health Prespective* 103(Suppl 1): 33-34.
- Vázquez F.G., Sharma V.K., Mendoza Q.A., Hernández R. 2001. Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 46, 774-781. Springer-Verlag New York Inc.
- Vázquez, F.G., Sharma V.K., Pérez-Cruz, 2002. Concentrations of elements and metals in sediments of the southeastern Gulf of Mexico, *Environmental Geology*, 42, 41-46, Springer-Verlag, New York Inc.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V., Páez-Osuna, F. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 4:19-31.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 8(1):47-61.
- Villanueva, F.S., Botello, A.V. 1998. Metal Pollution in Coastal of Mexico. *Review Environmental Contamination and Toxicology* 157:53-94.
- Villanueva-Estrada R.E. 2000. Evaluación de metales pesados en el área de las plataformas petroleras de la Bahía de Campeche. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar. ICMYL-UNAM.
- Westerhagen, H.V., Dethlefsen, V., Rosenthal, H., Furstenberg, G., Klinckmn, J. 1978. Fate and effects of cadmium in an experimental marine ecosystem. *Helv Wiss Meers* 31: 471-484.

APROVECHAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL RECURSO CAMARÓN

Adolfo Gracia

INTRODUCCIÓN

El camarón es uno de los recursos pesqueros más apreciados a nivel mundial, por lo cual alcanza un gran valor por unidad de peso. La demanda de este producto pesquero es elevada, principalmente en los países de alto nivel económico como los EE.UU., Japón y la Comunidad Económica Europea. Debido a esto alcanza una importancia comparativamente alta en la producción pesquera mundial, a pesar de sólo representar un 2.5% de esta captura total.

En México, el camarón es el recurso pesquero más importante, ya que su explotación constituye una actividad muy relevante desde el punto de vista social y económico. Debido a su valor y demanda nacional e internacional la explotación del camarón es también fuente importante de empleos y de divisas. Aunque en términos de volumen de captura, por lo general ocupa entre el cuarto y sexto lugar en la producción pesquera nacional, su valor por unidad de peso lo coloca en el primer lugar. El valor de la producción pesquera anual de camarón varía entre el 35% y 40% del valor total de la producción pesquera total del país. En ambas costas del país se captura este crustáceo con una producción total que fluctúa en alrededor de 70,000 toneladas anuales. La captura en el Golfo de México contribuye aproximadamente con 30% a la producción pesquera nacional de este producto

pesquero. En términos históricos, la explotación de camarón en el Golfo de México ha sido la actividad pesquera más importante en esta región, tanto por los volúmenes de captura, como por la generación de empleos directos e indirectos en la fase de extracción, procesamiento y servicios asociados.

Las especies más importantes en las que se basan las pesquerías de camarón del Golfo de México son comunes para toda el área, tanto en aguas nacionales como las de EE.UU. Entre estas especies, las de mayor valor comercial son: el camarón café *Farfantepenaeus aztecus*, el camarón rosado, *F. duorarum*, el camarón blanco *Litopenaeus setiferus* y en el Caribe Mexicano el camarón rojo *F. brasiliensis*. También existen otras especies que en años recientes han cobrado mayor importancia, como el camarón roca *Sicyonia brevirostris* y el camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* y que junto con otras especies menores constituyen lo que se conoce como pacotilla, generalmente con menor valor comercial.

PRINCIPALES ÁREAS DE CAPTURA

Las principales concentraciones de camarón definen tres regiones camaroneras en el Golfo de México en las que están presentes todas las especies, pero sobresale alguna de ellas en particular: 1) frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz, donde predomina el camarón café; 2) la Sonda de Campeche que presenta concentraciones importantes de camarón rosado y camarón blanco y 3) la zona de Contoy en el Caribe, en la cual las mayores capturas son de camarón rojo.

PESQUERÍAS

El camarón tiene una alta demanda para consumo humano en los diferentes estadios de su ciclo de vida, por lo cual se le captura desde nivel juvenil hasta adulto. A lo largo de su historia, la pesquería de camarón del Golfo de México en su conjunto ha pasado a través de diferentes etapas con la participación de diversos actores en su explotación. Las tres especies de camarón mas importantes del Golfo de México están sujetas tanto a una explotación artesanal como industrial, en forma secuencial en las áreas de crianza y altamar, y en el caso del camarón blanco en forma paralela en la zona costera marina.

Las características de estas pesquerías difieren en costo, inversión, empleos generados y rentabilidad. En particular las pesquerías artesanales se

distinguen por una inversión relativamente baja en las artes de pesca y en las embarcaciones empleadas en la explotación del camarón. Además se caracterizan por un bajo consumo de energía y proporcionan empleos a pescadores de nivel económico bajo. Al incidir en etapas juveniles, las ganancias también son bajas, ya que el producto por lo general es de consumo local y no generan las divisas típicas de este recurso de alto valor unitario. Las artes de pesca empleadas son variadas e incluyen artes fijas y móviles que operan sobre camarones de diferente talla y edad.

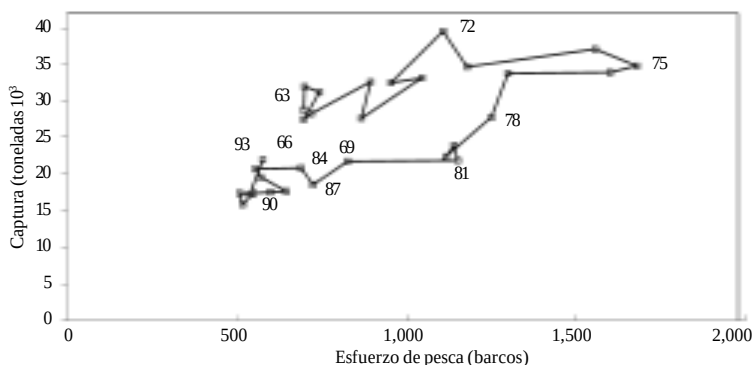
La pesca industrial por otro lado, es una actividad que exige una mayor inversión de capital por las embarcaciones y artes de pesca necesarias para la explotación del camarón en su etapa adulta en altamar. Asimismo, el consumo de energía que requieren las unidades de pesca es alto. La pesquería industrial se caracteriza por una organización compleja, que incluye empacadoras y comercializadoras. Los empleos generados, además de los directamente relacionados con la actividad pesquera misma, son variados y están relacionados con los productos y servicios necesarios para la operación de barcos, plantas, comercializadoras, etc. Las artes de pesca que se emplean son las redes de arrastre que operan en el fondo marino con tracción de los mismos barcos camaroneros.

DESARROLLO DE LA PESQUERÍA

La pesquería de camarón en el Golfo de México se inició durante los años de 1950, y como todas las pesquerías de camarón presentaron un rápido desarrollo hasta alcanzar su máxima explotación durante la década de 1970. En este período se alcanzó una producción récord de 39,500 toneladas con la participación de las flotas camaroneras de México, EE.UU. y Cuba en la pesquería (figura 1), que llegó a soportar un esfuerzo pesquero de 1,100 barcos arrastreros (Gracia y Vázquez Bader 1999). Posteriormente, a partir de 1980 solamente la flota mexicana participó en la explotación del recurso con una disminución del número de barcos participantes que en la actualidad es menor a 700. En este período, la producción total anual disminuyó hasta cifras superiores a 20,000 toneladas anuales. Cabe señalar que las estimaciones de la existencia de camarón antes de 1984 señalaban un rendimiento máximo sostenible de 10,000 toneladas para la zona de Tamaulipas-Veracruz, 30,000 toneladas para el Banco de Campeche y 2,000 toneladas para el Caribe Mexicano (Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). Estas estimaciones en conjunto indican un potencial superior al registrado en las últi-

mas décadas que reflejan los niveles de explotación a que ha sido sometido el recurso. Cada una de las principales especies tiene una historia particular que ha repercutido en su potencial de explotación.

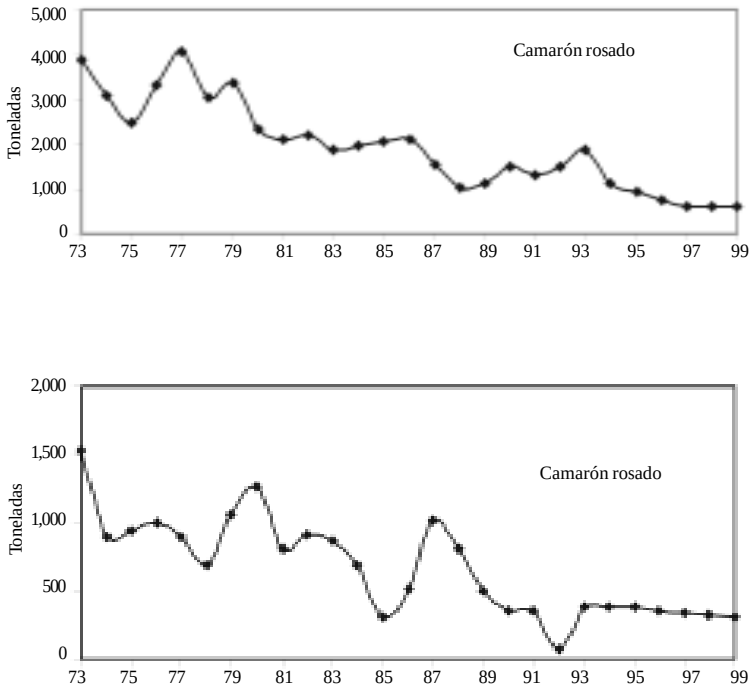
FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA CAPTURA Y ESFUERZO DE PESCA TOTAL EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DEL GOLFO DE MÉXICO



CAMARÓN ROSADO

La pesquería de camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* fue la más importante del Golfo de México en términos de volumen en el siglo pasado con un rendimiento máximo sostenible estimado entre 4,000-11,000 toneladas anuales (abdómenes) (Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). La explotación de esta especie comenzó en la década de 1950 y alcanzó su explotación plena en el decenio de 1970. A partir de 1980, la producción presentó una tendencia negativa sostenida que desembocó en los niveles bajos registrados en años recientes, los cuales son cercanos al 10% de la producción anual media registrada en la historia de explotación de esta especie. El esfuerzo pesquero de la pesquería industrial que había llegado a su máximo, también registró una disminución debido al decremento en el recurso disponible en altamar (figura 2).

FIGURA 2. PRODUCCIÓN DE CAMARÓN ROSADO *FARFANTEPENAEUS DUORARUM* Y CAMARÓN BLANCO *LITOPENAEUS SETIFERUS* EN LA SONDA DE CAMPECHE



Paralelamente durante los años de 1980 apareció una pesquería sobre el camarón rosado juvenil pequeño (1.2-11.5 cm de longitud total) dentro de las áreas de crianza y se incrementó fuertemente su explotación. De acuerdo con Gracia (1995), la captura de camarones de 25 a 60 días de edad causó una sobrepesca de crecimiento de *F. duorarum* que después derivó en una sobrepesca de reclutamiento. Este mismo autor señala que la captura de tallas pequeñas tiene un impacto negativo sobre la producción total, ya que al no permitirse la expresión del crecimiento de los juveniles se pierde una proporción de 7.5-10 kg por cada kilogramo de camarón rosado juvenil capturado.

CAMARÓN BLANCO

La pesquería de camarón blanco *Litopenaeus setiferus* alcanzó su nivel máximo de explotación también durante la década de 1970, cuya producción máxima registrada fluctuó entre 1,200-2,200 toneladas anuales. El rendimiento máximo sostenible para este período fue estimado en 1,650 toneladas (Gracia 1989). Al igual que el caso del camarón rosado, después de 1980 se presentó una tendencia de disminución sostenida hasta niveles de producción muy bajos.

A lo largo de su historia, la pesquería de camarón blanco ha estado sujeta a tres tipos de pesquerías. Inicialmente, el camarón blanco como la mayoría de los peneidos, soportó una pesca artesanal sobre juveniles en el interior de las lagunas costeras y una pesca secuencial sobre la etapa adulta en altamar con barcos arrastreros. La acción de ambas pesquerías situó al recurso en su máximo nivel de explotación en los años de 1970. Adicionalmente durante la década de 1980 apareció una nueva pesquería artesanal sobre camarón blanco en el ambiente marino con redes de deriva. Estas artes de pesca actúan principalmente sobre camarones adultos en etapa reproductiva, de talla y valor económico alto, y además tienen una alta efectividad y rentabilidad por los bajos costos de inversión para el proceso de captura (Gracia 1996). Esta alta rentabilidad provocó un crecimiento explosivo de la pesquería artesanal paralela, en particular sobre los reproductores de camarón blanco, con lo cual se incrementó además el esfuerzo pesquero total sobre la población de camarón blanco más importante en el Sur del Golfo de México. Gracia (1996) señala que este factor causó una sobrepesca del reclutamiento que ocasionó el colapso de la pesquería de camarón blanco.

CAMARÓN CAFÉ

El camarón café *Farfantepenaeus aztecus* se ha convertido en la especie más importante del Golfo de México ya que prácticamente soporta la pesquería de camarón en el área debido a que el recurso se encuentra en mejores condiciones que las otras pesquerías. La explotación de camarón café tiene una historia similar que las otras dos especies y alcanzó el máximo nivel de aprovechamiento en la década de 1970, con estimaciones de un Rendimiento Máximo Sostenible de 10,000 toneladas (Castro *et al.* 1982, Arreguín-Sánchez y Chávez 1985). Es precisamente durante este periodo cuando también se

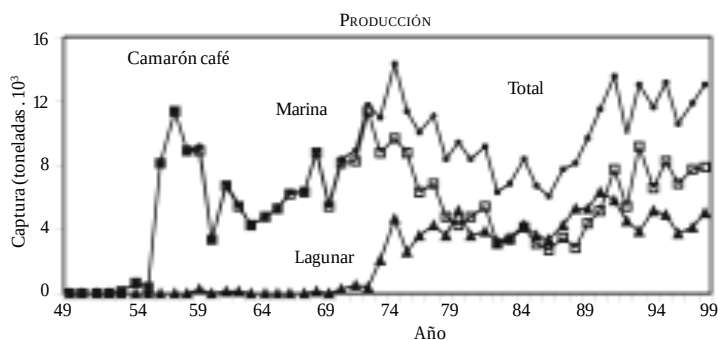
inicia la pesquería artesanal sobre juveniles en las áreas de crianza, principalmente en la Laguna Madre de Tamaulipas y Tamiahua de Veracruz. Esta actividad actualmente contribuye con aproximadamente el 40% del total de la producción de la especie.

El establecimiento de la pesquería artesanal coincidió con una tendencia negativa de la producción total y de la producción en altamar de camarón café, ya que estas pesquerías tienen una relación inversa. El crecimiento de la pesquería artesanal condujo a una sobreexplotación del crecimiento que repercutió en la biomasa residente de la población adulta. Con el fin de corregir este fenómeno se establecieron vedas temporales tanto en las áreas de crianza (45 días en junio-julio), como en la zona marina, con una duración que ha variado tanto en fechas como en extensión (45-90 días en mayo-julio). Los resultados de esta medida de manejo fueron altamente positivas y se registró un incremento de hasta 72% de la producción media total en su inicio (Gracia 1997). No obstante, la competencia entre las pesquerías secuenciales por obtener una mayor participación del recurso están disminuyendo la efectividad de la medida (Gracia y Vázquez Bader 1999) y pueden derivar en una sobreexplotación con la consecuente reducción de la producción de camarón café (figura 3). La presión pesquera sobre el camarón café ha aumentado también por las vedas prolongadas de más de 6 meses, que se han establecido en la Sonda de Campeche para protección del camarón rosado y camarón blanco, y el aumento notorio de las existencias de camarón al levantamiento de la veda en Tamaulipas, que propiciaron un incremento del número de barcos arrastreros en el área. Este movimiento de flota hacia la zona de Tamaulipas se ha incrementado en los últimos años en respuesta a la baja abundancia de camarón blanco y camarón rosado en el sur del Golfo de México. Por otro lado, la pesquería artesanal en la Laguna Madre ha incrementado su inversión de esfuerzo pesquero previo a la veda para obtener mayor volumen del recurso. El incremento conjunto de la presión pesquera derivada de la pesca artesanal e industrial, de mantenerse, además de reducir los beneficios de la veda, tenderá a afectar el estado de la población de camarón en mejores condiciones en el Golfo de México.

RELACIÓN ENTRE LAS PESQUERÍAS

El incremento constante del esfuerzo de pesca derivado de la pesca artesanal se añade al correspondiente a la presión de pesca de altamar que ya había llegado a los máximos recomendables en el recurso camarón. De esta for-

FIGURA 3. PRODUCCIÓN DE CAMARÓN CAFÉ *FARFANTEPENAEUS AZTECUS* DE LAS PESQUERÍAS ARTESANAL E INDUSTRIAL EN EL ÁREA DE TAMAULIPAS-VERACRUZ. LAS LÍNEAS PUNTEADAS INDICAN EL DESCENSO DE LA CAPTURA DE CAMARÓN EN ALTAMAR Y TOTAL, CONFORME SE INCREMENTA LA CAPTURA ARTESANAL LAGUNAR (LÍNEA CONTINUA) Y VICEVERSA



ma, se tiene un escenario en que se registra un esfuerzo total sobre las diferentes poblaciones de camarón nunca alcanzado en su historia de explotación. Como resultado, la producción total de camarón ha presentado una tendencia negativa constante desde la década de 1980. Esto condujo a la pesquería de camarón del Golfo de México a una nueva situación con una producción total 40% menor a la máxima registrada durante los años 70 (figura 4).

La reducción en la producción global de camarón del Golfo de México se debe principalmente a los colapsos ocurridos en las pesquerías de camarón blanco y rosado de la Sonda de Campeche (figura 2). Ambas pesquerías han mostrado una reducción drástica de las capturas que ha situado su producción en menos del 20% de la producción anual media máxima de cada pesquería. Las causas que se han argumentado para este colapso son varias: 1) contaminación, 2) pérdida de áreas de arrastre, 3) deterioro de las áreas de crianza, 4) incremento de esfuerzo pesquero artesanal y 5) mayor poder de pesca de la flota industrial (Gracia 1995).

Los elementos mencionados no son necesariamente excluyentes y pueden interactuar entre sí y repercutir en el estado de las poblaciones (figura 5). Sin embargo, el factor principal responsable de la declinación de las pesquerías en gran medida es el incremento sustancial del esfuerzo pesquero artesanal en la

FIGURA 4. TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE CAMARÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

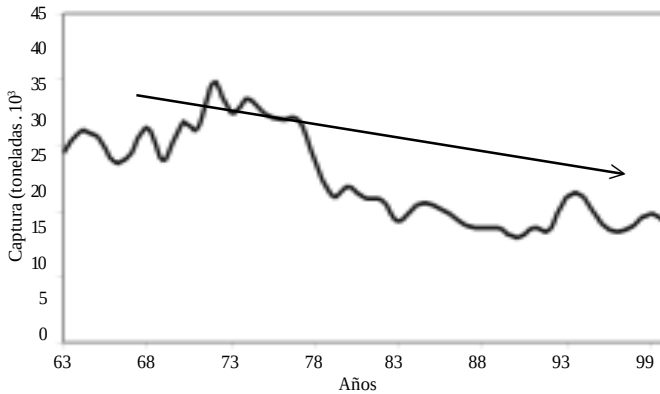
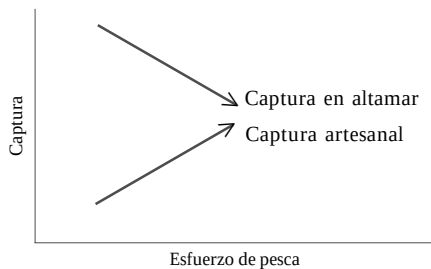


FIGURA 5. INTERACCIÓN DE LAS PESQUERÍAS SECUENCIALES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE CAMARÓN.



etapa juvenil temprana del camarón rosado y de la etapa juvenil y adulta por una nueva pesquería artesanal marina en el camarón blanco (Gracia 1997, 1998, 1999). Por otro lado, es conveniente resaltar que una población diez-mada es más susceptible a factores negativos externos y no tiene el mismo potencial para aprovechar oportunamente las “ventanas” medioambientales favorables. Este es un aspecto fundamental derivado de la estrategia

reproductiva de estos organismos (Gracia 1991, 1996) que les ha permitido su éxito en el ecosistema y también al desarrollo de las grandes pesquerías.

El incremento de esfuerzo pesquero artesanal sobre juveniles de camarón ocasiona, como se ha mencionado, una sobrepesca de crecimiento. Las estimaciones realizadas mediante modelación indican que se reduce la incorporación de biomasa a la población marina en proporciones de 1: 3, 1: 4 y 1: 9 para camarón blanco rosado y café, respectivamente, con las estrategias de pesca artesanal actuales para cada especie (Gracia 1998). La reducción de biomasa en altamar por la pesca artesanal, también tiene una repercusión en el potencial reproductivo, lo cual de acuerdo con estimaciones realizadas (Gracia 1997), puede ser comparativamente más importante que la reducción derivada de la pesca industrial. Por otro lado, la pesca artesanal marina paralela a la industrial de altamar sobre camarón blanco causó una sobrepesca del reclutamiento (Gracia 1996). Ambos factores en conjunto han propiciado una disminución de la biomasa total disponible con sus repercusiones en el potencial reproductivo de las especies y en el aprovechamiento óptimo de las pesquerías de camarón.

Aunque el crecimiento descontrolado de la pesca artesanal es uno de los factores causantes del colapso de las pesquerías de camarón blanco y rosado y que también pone en riesgo la del camarón café, la pesca industrial también participa en el crecimiento del esfuerzo pesquero total. El esfuerzo pesquero total acumulado en las diferentes etapas del ciclo de vida de camarón se traduce en altos niveles de explotación que en conjunto han incrementado la presión de pesca y han afectado el potencial reproductivo de las poblaciones.

ESTRATEGIAS DE MANEJO

Dadas las presiones excesivas sobre el stock reproductor, las estrategias de manejo de las pesquerías de camarón deben considerar su protección. Esto está relacionado con el debate sobre la existencia de la relación stock-reclutamiento en camarones peneidos. Existe literatura que documenta estas relaciones en varias especies, entre ellas las del Golfo de México (Gracia 1991, Cervantes 1999), por lo que es factible y deseable considerar los límites mínimos de biomasa reproductora. Adicionalmente, los colapsos presentados corroboran la necesidad de establecer estrategias de manejo en relación con los niveles críticos del stock reproductor. Una estrategia puede ser dirigir las acciones de manejo a las generaciones principales y mantener al stock alrede-

dor de 20% de la biomasa reproductora virgen (Gracia 1996). Esto permite preservar a las poblaciones (en la parte asintótica de la curva) con un potencial reproductivo adecuado para responder positivamente a las variaciones ambientales (figura 6), con lo cual, en determinado tamaño de población reproductora se puede tener un incremento de hasta el 100% en el número de reclutas si las condiciones medioambientales son propicias (Gracia 1991).

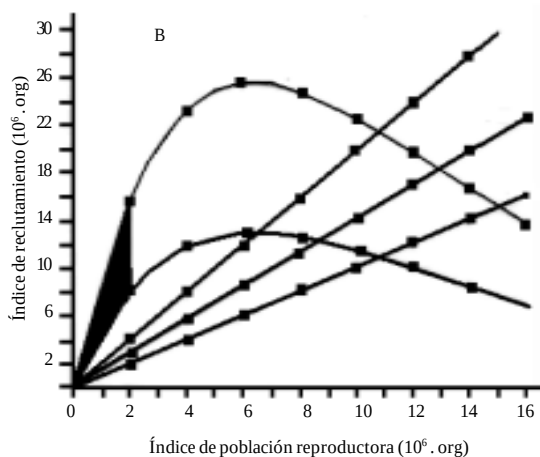
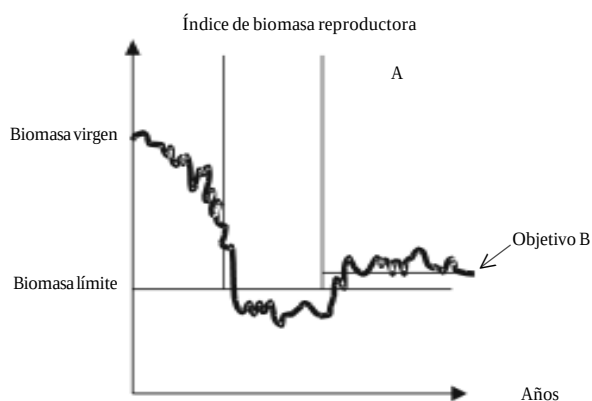
Con el fin de considerar las diferentes pesquerías, este punto de referencia puede ser ligado con información de las diferentes etapas del camarón y diseñar estrategias basadas en un escape mínimo de cada una de ellas. Para el diseño de estas estrategias de manejo es necesario contar con información sobre: 1) el reclutamiento tanto en las áreas de crecimiento, como en la zona marina, 2) niveles de esfuerzo de las diferentes pesquerías, 3) parámetros biológicos, y 4) niveles críticos de la relación stock-reclutamiento. El escape de organismos en los diferentes estados puede ser asegurado básicamente a través de: 1) cuotas de captura, 2) reducción del esfuerzo de pesca mediante vedas espaciales y/o temporales y 3) monitoreo de la captura por unidad de esfuerzo en las diversas pesquerías. Por supuesto, esto requiere de una vigilancia y cumplimiento real de las reglamentaciones para asegurar el éxito de las estrategias de manejo.

El control del esfuerzo pesquero es uno de los aspectos críticos para la conservación y aprovechamiento del recurso camarón. Los actores de la pesquería constantemente solicitan mayor participación en la obtención de biomasa de camarón, y a pesar de que existen limitaciones establecidas del esfuerzo pesquero y medidas de control como las vedas temporales, por lo general ocurren presiones de tipo social y político que disminuyen o anulan la efectividad de las medidas. Sin embargo, es urgente reconocer que el recurso pesquero tiene límites biológicos que es necesario respetar para su conservación y óptimo aprovechamiento.

También es conveniente mencionar que la utilización de camarón silvestre actualmente se encuentra en un nuevo escenario, en el cual los precios del producto están fuertemente presionados por la oferta de camarón de acuicultura, principalmente proveniente de Asia. En esta situación las tallas pequeñas son las más afectadas, por lo que una alternativa es la obtención de tallas mayores de mejor precio. No obstante, esto implicaría reorientar las estrategias de explotación de las pesquerías artesanales e industriales y considerar una serie de factores sociales, políticos y económicos.

En este sentido, el establecimiento de una estrategia de manejo basado en

FIGURA 6. LÍMITES DE REFERENCIA DE LA BIOMASA REPRODUCTORA Y MODELO DE STOCK-RECLUTAMIENTO DE CAMARÓN. (A) EL OBJETIVO B SERÍA EL NIVEL DE BIOMASA REPRODUCTORA A PRESERVAR PARA MANTENER EL POTENCIAL REPRODUCTIVO EN CONDICIONES ADECUADAS PARA APROVECHAR LOS FACTORES AMBIENTALES PROPICIOS, COMO SE OBSERVA EN LA RELACIÓN STOCK-RECLUTAMIENTO (B).



el escape de organismos puede en primera instancia reducir la sobrepesca del crecimiento, incrementar las tallas, y a mediano plazo incrementar el potencial reproductivo de las poblaciones de camarón. Los estudios de resiliencia en poblaciones de camarón muestran que éstos tienen una alta capacidad de respuesta para recuperarse de la sobreutilización (Gracia 1996). Por otro lado, medidas de manejo dirigidas a corregir la sobrepesca del crecimiento en camarón café muestran que la protección de juveniles y de su reclutamiento han resultado en incrementos sustanciales de la producción (Gracia 1997). Estas características permiten tener grandes expectativas relacionadas con la recuperación y aprovechamiento sustentable del recurso camarón si se establecen las estrategias adecuadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arreguín-Sánchez, F. y E. A. Chávez 1985. Estado del Conocimiento de las pesquerías de camarón en el Golfo de México. *Inv. Mar., CICIMAR, México*, 2 (2): 23-44.
- Castro, R. G., M. Medellín, E. Rosas y R. Orta 1982. *La pesquería de camarón en las lagunas litorales del Noreste del Golfo de México*. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Tampico, Tamps. Instituto Nacional de la Pesca: 1-12.
- Cervantes Hernández, P. 1999. Relaciones stock-reclutamiento del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* en el Banco de Campeche. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México: 37 pp.
- Gracia, A., 1989. Ecología y pesquería del camarón blanco *Penaeus setiferus* en la laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis Doctoral, Fac. de Ciencias, UNAM. Mexico. 127 pp.
- 1991. Spawning stock-recruitment relationship of white shrimp in the southwestern Gulf of Mexico. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 120: 319-327.
- 1995. Impacto de la pesca artesanal sobre la producción del camarón rosado *Penaeus Farfantepenaeus duorarum* Burkenroad, 1939. *Ciencias Mar.*, 21 (3): 343-359.
- 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Mar. Freshwater Res.*, 47: 59-65.
- 1997. Simulated and actual effects of the brown shrimp, *Penaeus aztecus*, closure in Mexico. *Mar. Fish. Rev.*, 59 (2): 18-24.
- 1998. Pesquería Artesanal del Camarón. En: D. Flores Hernández, P. Sánchez-Gil, J. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.). *Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*. EPOMEX, Serie Científica 4, 1998, Universidad Autónoma de Campeche.
- 1999. Shrimp Fisheries in the South Gulf of Mexico. Present and Future Management Alternatives. En: Kumpf, H., D. Steidinger y K. Sherman. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management*. Blackwell Science, Berlín: 205-234.

LA SUSTENTABILIDAD DE LAS PESQUERÍAS DEL GOLFO DE MÉXICO

*Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández, Porfirio Álvarez-Torres,
Oscar Ramírez-Flores y Luis Gerardo López-Lemus*

INTRODUCCIÓN

Ludwig *et al.* (1993) establecen que una constante en el uso de los recursos naturales es que son “inevitadamente sobreexplotados, frecuentemente al punto del colapso o la extinción”. La sobrepesca es una amenaza ampliamente extendida (Dayton *et al.* 1995, Schiermeier 2002, Rosenberg 2003) en donde se considera a la remoción de depredadores finales (Christiansen *et al.* 2003, Myers y Worm 2003, Sala *et al.* en prensa) como la primera causa de impactos a los ecosistemas marinos y el primer indicador del deterioro de los mismos (Goñi 1998, Pauly *et al.* 1998, Jackson *et al.* 2001, Sala *et al.* en prensa). Asimismo, los ecosistemas han sido alterados también por contaminación y deterioro del hábitat y de las áreas de crianza, (Rosenberg 2003a). Además, las necesidades sociales de corto plazo (alimentación, empleo, ingreso) y la estructura institucional son determinantes en la administración de los recursos.

El manejo pesquero tradicional aplica controles de entrada (esfuerzo) y salida (captura) (Hilborn y Walters 1992, Haddon 2002). Recientemente se han propuesto alternativas: Pauly *et al.* (2002), Sainsbury y Sumaila (2003) y Gell y Roberts (en prensa) sugieren, dado el alto grado de incertidumbre que enfrenta la administración pesquera, que es necesario cerrar porciones de zonas de pesca (áreas naturales protegidas marinas), establecer límites

más altos de mortalidad por pesca sobre los *stocks* amenazados (restricción de esfuerzo), medidas de funcionamiento en términos pesquero-ecosistémicos y de sustentabilidad, aplicar el principio precautorio (Rosenberg 2003) así como enfoques holísticos de manejo de grandes ecosistemas marinos (Steidinger y Sherman 2000, Duda y Sherman 2002).

Por lo anterior, para que el manejo pesquero sea efectivo y revierta el deterioro causado es necesario considerar: (1) el uso óptimo sostenible de los recursos y el mantenimiento de los valores naturales (como la diversidad genética) en el largo plazo, (2) la preservación de la integridad de los ecosistemas en su estructura y función, (3) estructuras de manejo que reconozcan la complejidad de los mismos, y (4) indicadores de niveles de salud de los recursos, viabilidad económica, aceptación social y gobernabilidad.

En relación con los indicadores de sustentabilidad, Arenas y Díaz-de-León (1998), plantean una propuesta inicial de cómo avanzar hacia la sustentabilidad en pesquerías de países como México. Dos años después se presenta un indicador simple de sustentabilidad en la pesca en México (INE-INEGI 2000). La FAO (2000), genera una orientación hacia el establecimiento de un Sistema de Referencia para el Desarrollo Sostenible de la Pesca. La OECD ha iniciado una revisión de indicadores pesqueros y de los necesarios para transitar hacia la pesca responsable (Le Gallic 2002). Chuengpagdee y Alder (2002) han ordenado a países del Atlántico del Norte en función de indicadores de sustentabilidad.

En este apartado se muestra que en el Golfo de México hay una tendencia decreciente en la captura, producto de una sobrecapacidad de pesca y de un manejo inadecuado (Díaz y Díaz 2001). Se plantean los antecedentes de la construcción del primer diagnóstico pesquero-ambiental, los resultados de los primeros indicadores de deterioro de las principales pesquerías, y se presenta una propuesta para avanzar en la construcción de un esquema que permita lograr la sustentabilidad de las pesquerías en la región, mostrando como ésta no se ha alcanzado en la principal pesquería de la región: la del camarón.

EVOLUCIÓN DE LAS CAPTURAS Y LA CAPACIDAD DE PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO

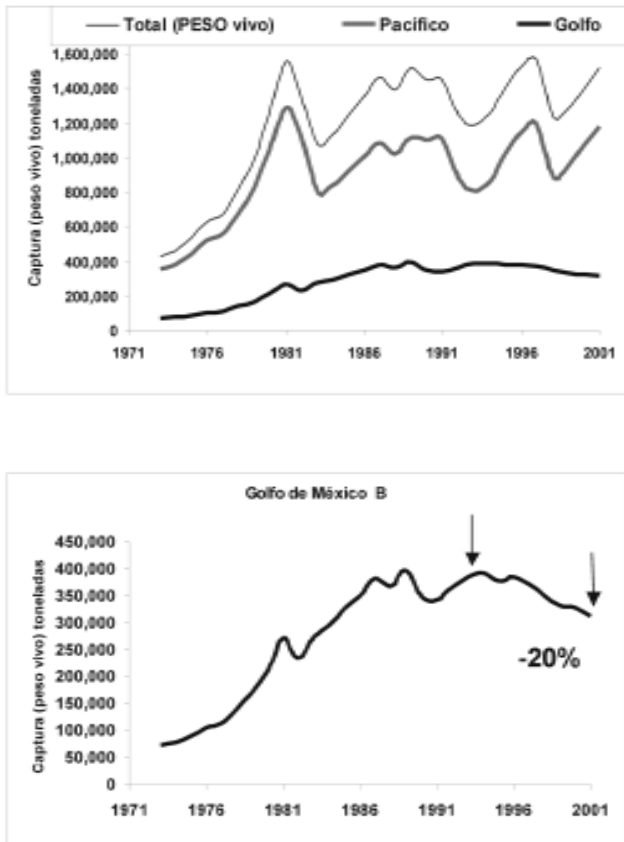
El mayor desarrollo de la pesca en México se da a fines de los años setenta cuando se crea el Departamento de Pesca y se hacen importantes inversiones en flota y planta industrial propiedad del Estado. Las capturas crecieron a más de millón y medio de toneladas en 1981 y, después de caer a cerca de un millón de toneladas en 1983, han oscilado alrededor de un millón y medio

desde entonces (figura 1A).

En el Golfo de México la captura alcanzó su máximo histórico al pescarse casi 400 mil toneladas a fines de los ochenta. Desde entonces ha habido un descenso de 20% (figura 1B).

Las principales especies que se capturan en el Golfo de México son cama-

FIGURA 1. CAPTURA PESQUERA HISTÓRICA TOTAL Y POR OCÉANOS EN MÉXICO (A)
Y CAPTURA HISTÓRICA DEL GOLFO DE MÉXICO (B)



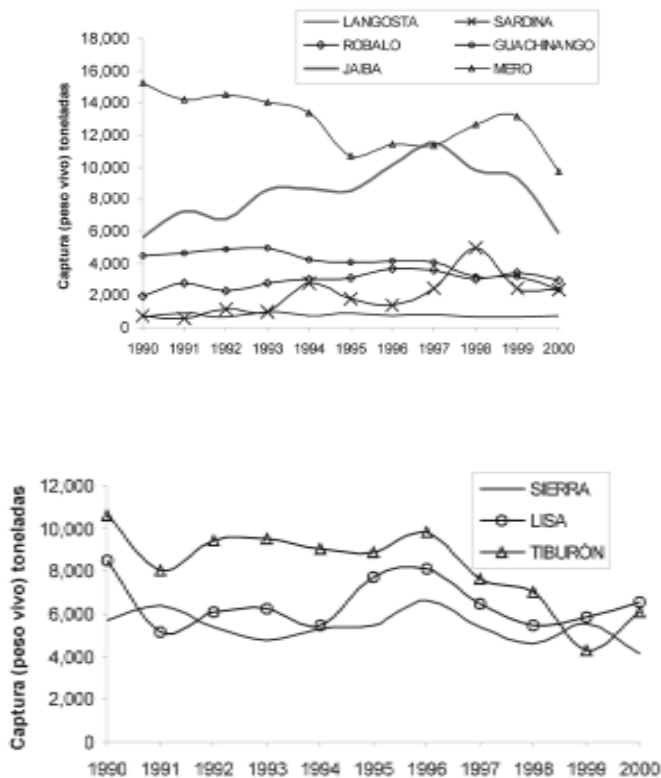
Fuente: Anuarios estadísticos pesqueros.

rones, pulpos, meros, jaibas, robalos, huachinangos, sardinas, atunes, langostas, tiburones, lisas y sierras.

A excepción del pulpo y los atunes, en los que las capturas se han mantenido con un crecimiento moderado, pasando en los últimos 10 años de 15 a 20 mil toneladas de pulpo y de 1,000 a 3,500 toneladas de atunes, el resto de las pesquerías en el Golfo muestran un comportamiento decreciente (figura 2).

La flota industrial ha tendido a disminuir en número, aunque no en su

FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DE LAS CAPTURAS EN LA ÚLTIMA DÉCADA DE LOS PRINCIPALES RECURSOS PESQUEROS DEL GOLFO DE MÉXICO. FUENTE ANUARIOS ESTADÍSTICOS PESQUEROS



poder de pesca. La flota más importante en el Golfo de México es la camaronera (742 barcos), la cual se concentra en los estados de Campeche (316) y Tamaulipas (290). A ésta le sigue la flota escamera con 795 embarcaciones, que se concentra principalmente en Yucatán (636), aunque está presente en todos los estados del Golfo.

La flota artesanal ha presentado un crecimiento del 700% en las últimas tres décadas (Sagarpa 2002). Un poco más del 46% (43,392 embarcaciones) de la flota de pesca artesanal nacional faena en el Golfo de México. Destaca Veracruz con la flota más numerosa (15,898), seguido de Tabasco (9,601), Tamaulipas (6,662), Campeche (5,362) y Yucatán (4,981).

Por otra parte el ingreso derivado de la pesca está mal distribuido. Los pescadores del Golfo de México reciben por su trabajo la quinta parte del ingreso promedio de los que pescan en las aguas del Golfo de California (INEGI 2000).

Los análisis desarrollados por los autores muestran que existe un problema de sobrecapacidad de la flota artesanal e industrial. La flota industrial camaronera tiene la capacidad de capturar entre 8 y 16 veces las capturas del 2001. La flota artesanal e industrial para la captura de escama puede capturar entre 9 y 18 veces las capturas obtenidas en el 2001.

La situación de deterioro de los recursos, aunada a la sobrecapacidad en ambas flotas, a los niveles de ingreso y a un manejo débil por parte del órgano de manejo y regulación de la pesca, han generado conflictos en Tamaulipas (camarón), Tabasco y Campeche (pesca-petróleo), Campeche (camarón), Campeche y Yucatán (pulpo, Celestun-Isla Arena), Yucatán (mero y pulpo, arrastreros, pesca cubana) y es de esperar si no se enfrenta y resuelven los problemas arriba mencionados, éstos se agudizarán y otros nuevos se presentarán (ver Nadal-Egea 1996, Cabadas-Nápoles 2002 y León y Gómez, en prensa).

INSTRUMENTOS DE DIAGNÓSTICO Y REGULACIÓN PESQUERO-AMBIENTAL (SUSTENTABILIDAD Y PESCA RESPONSABLE Y LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000)

En la administración de 1994 a 2000, ante el planteamiento de que el órgano de manejo y regulación pesquero nacional (Subsecretaría de Pesca, hoy CONAPESCA) no contaba con elementos científicos que sustentaran el ordenamiento pesquero nacional, como lo establecía el Plan Sectorial de Pesca y Acuacultura 1995-2000, el Instituto Nacional de la Pesca (INP) orientó sus esfuerzos a desarrollar investigación para el manejo pesquero. En 1998 el INP

publicó los primeros resultados sistematizados (INP 1998), en los que utilizando los últimos procedimientos analíticos apropiados para el caso definía el estado de salud de las 18 principales pesquerías comerciales (109 especies), mismas que representaban el 65% de las capturas nacionales y el 69% del valor de estas capturas. Este documento se actualizó para el periodo 1999-2000 (INP 2001), y se realizaron los proyectos *Catálogo de Artes de Pesca en México*, *Estado de Salud de la Acuicultura* y *Estado de Salud de los Ecosistemas Costeros y de las Especies Marinas en estatus de protección*. Con lo anterior, se aportaron elementos de apoyo científico- técnico y se dotó de una integralidad asociada al ecosistema, útil para el manejo integral de las pesquerías.

Los análisis mencionados mostraban que, en el Golfo de México, se encontraban en franca sobreexplotación pesquerías como las de mero y caracol rosado. También mostraban, que el espacio de crecimiento de la actividad era limitado en las pesquerías tradicionales y que la mayor parte de estos recursos explotados se encontraban a niveles máximos de explotación.

Realizado el primer diagnóstico pesquero-ambiental, el órgano de manejo y regulación planteó no contar con recursos para llevar a cabo el Ordenamiento Pesquero Nacional (*Programa Prioritario del Plan Nacional de Acuicultura y Pesca* 1995-2000 y ahora del 2001-2006), y que los recursos existentes, estaban preasignados a otras actividades.

En 1999 durante la revisión pública del reglamento de la Ley de Pesca de 1992, el INP propuso que se definieran con claridad y transparencia en la Carta Nacional Pesquera, el estado de los recursos, su inventario, la cantidad de esfuerzo pesquero máximo aplicable y las medidas de manejo, regulación, aprovechamiento y conservación de los recursos y su hábitat. La Carta Nacional Pesquera se convirtió en un instrumento regulatorio, y no únicamente en un instrumento informativo, una visión cartográfica de la pesca que había sido publicada por última vez en 1994.

En su primera edición, se convocó públicamente a participar en la elaboración de la CNP 2000 durante los primeros tres meses del año 2000. Los académicos, los usuarios, otras instancias gubernamentales y las organizaciones no gubernamentales opinaron, presentaron argumentos científicos y encontraron por primera ocasión un canal abierto de participación e interlocución.

En julio del 2000, se organizó el XII Congreso Nacional de Oceanografía por parte del INP, la ASOCEAN y la Red Oceanográfica Pesquera Mexicana, que buscaba entre otras cosas presentar los resultados a la comunidad científica, creando un ambiente propicio y de intercambio de información aso-

ciado a la elaboración de la Carta Nacional Pesquera 2000 (SEMARNAP 2000).

La Carta Nacional Pesquera fue presentada el 18 de agosto por el Presidente de la República mediante un discurso en el que se manifestaba preocupación por la pesca en México y publicada ese mismo día y el 28 de ese mes el anexo. Así se construyeron los primeros instrumentos de diagnóstico pesquero-ambiental gubernamentales para el ordenamiento pesquero, que presentan las bases científicas para identificar indicadores biológicos del grado de deterioro de los recursos pesqueros y de su hábitat en México. Adicionalmente han existido diagnósticos pesqueros del Golfo de México (Shipp 1999, Arreguin *et al.* 2000), pero ninguno con carácter regulatorio. La Carta Nacional Pesquera es hoy el único instrumento regulatorio pesquero-ambiental de carácter general que indica el estado de salud de los recursos pesqueros en México y plantea restricciones y límites a la pesca. Versiones de este proceso son las de Alvarez *et al.* (2002), Díaz-de-León *et al.* (en prensa) y Hernández y Kempton (2003).

INDICADORES DE SALUD DE LAS PESQUERÍAS (GRADO DE DETERIORO)

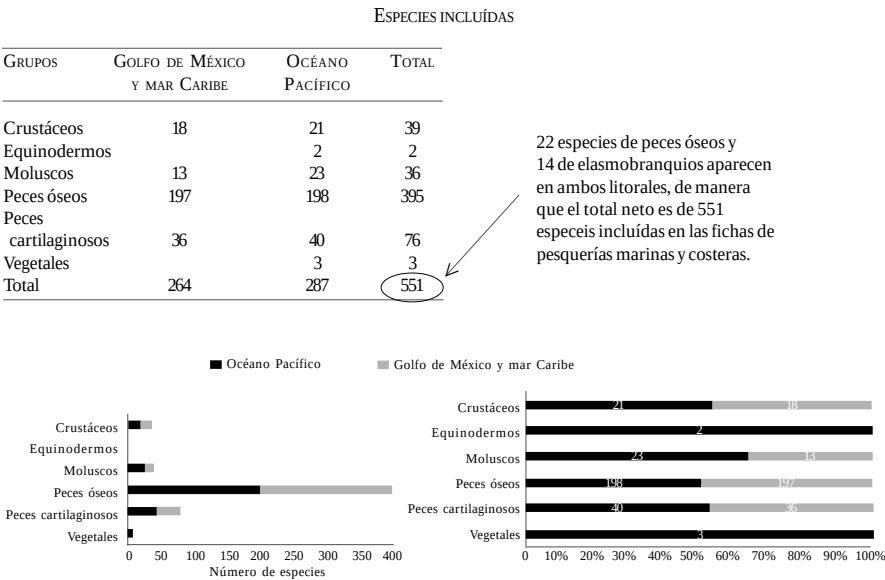
La CNP 2000 analiza, en el caso de las pesquerías marinas, el estado de alrededor de 551 especies en ambos litorales (264 en el Golfo y 287 en el Pacífico), que comparten 36 especies comunes, pertenecientes a cinco grupos taxonómicos en el Golfo de México y a seis en el Pacífico e identifica la importancia de cada uno de estos grupos (figura 3).

Asimismo, identifica 65 unidades pesqueras de manejo (UPM), cuya definición es más avanzada y está relacionada con el hecho de que los recursos deben manejarse y administrarse, y no solo usarse o explotarse, acotando de manera más precisa la anterior categoría denominada pesquería. De éstas, 28 están ubicadas en el Golfo de México y 37 en el Océano Pacífico Mexicano. Estas UPM representan el 90% de las capturas y del valor de la pesca extractiva en México.

El diagnóstico pesquero ambiental en el país muestra que casi el 82% de estas UPM se encuentran totalmente explotadas, con pocas posibilidades de crecer, y que de éstas casi el 25% (16) exige intervención inmediata para reconstruirlas y recuperarlas. También muestra que 18.5% (12) de las UPM están subexplotadas (figura 4).

Analizando el estado de salud de las 28 UPM que se explotan en el Golfo de México, notamos que 79% (22) está completamente explotadas (camarón café en Tamaulipas y Veracruz; camarón rojo y de roca en Contoy, Quintana

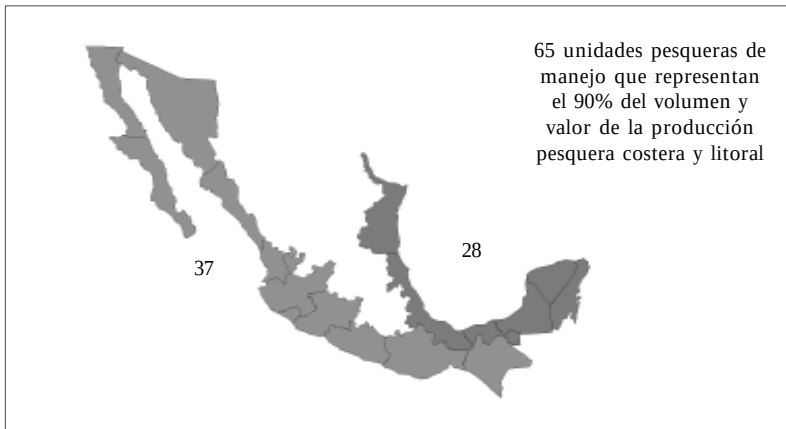
FIGURA 3. ESPECIES MARINAS INCLUIDAS EN LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000



Roo; cangrejo, jaiba en Tamaulipas y Veracruz; langosta en Yucatán; bagre en Veracruz y Campeche; corvinas, huachinangos y pargos, lisas y lebranchas, róbalo y chucumite, sardina, sierra y peto, pulpo rojo y tiburones, entre otras), y que de éstas el 25% requiere intervención urgente para restaurarlas del estado de deterioro en el que se encuentran (camarón blanco y rosado de la Sonda de Campeche, caracol, jaiba en Campeche, langosta en Quintana Roo; armado y xlavita en Campeche y el mero, la cherna y el abadejo). El 21% de las UPM restantes (atún del Golfo, camarón 7 barbas en Campeche; jaiba de Yucatán y Quintana Roo; armado y xlavita en Yucatán; bagre en Tabasco y pulpo patón), están subexplotadas (figura 5).

García y De Leiva Moreno (2001) analizan la base de datos de la FAO en la que se encuentran 441 stocks del mundo con información disponible, y concluyen que 4% parecerían estar subexplotados, 21% moderadamente explotados, 47% completamente explotados, 18% sobrepescados, 9% acabados y 1% en recuperación.

FIGURA 4. ESTADO DE SALUD DE LAS PESQUERÍAS EN MÉXICO A PARTIR DEL DIAGNÓSTICO PESQUERO AMBIENTAL DE 65 UNIDADES PESQUERAS DE MANEJO (HERNÁNDEZ Y KEMPTON 2002 Y DÍAZ-DE-LEÓN *ET AL.* EN PRENSA) DE LA CARTA NACIONAL PESQUERA 2000
FUENTE: SEMARNAP 2000



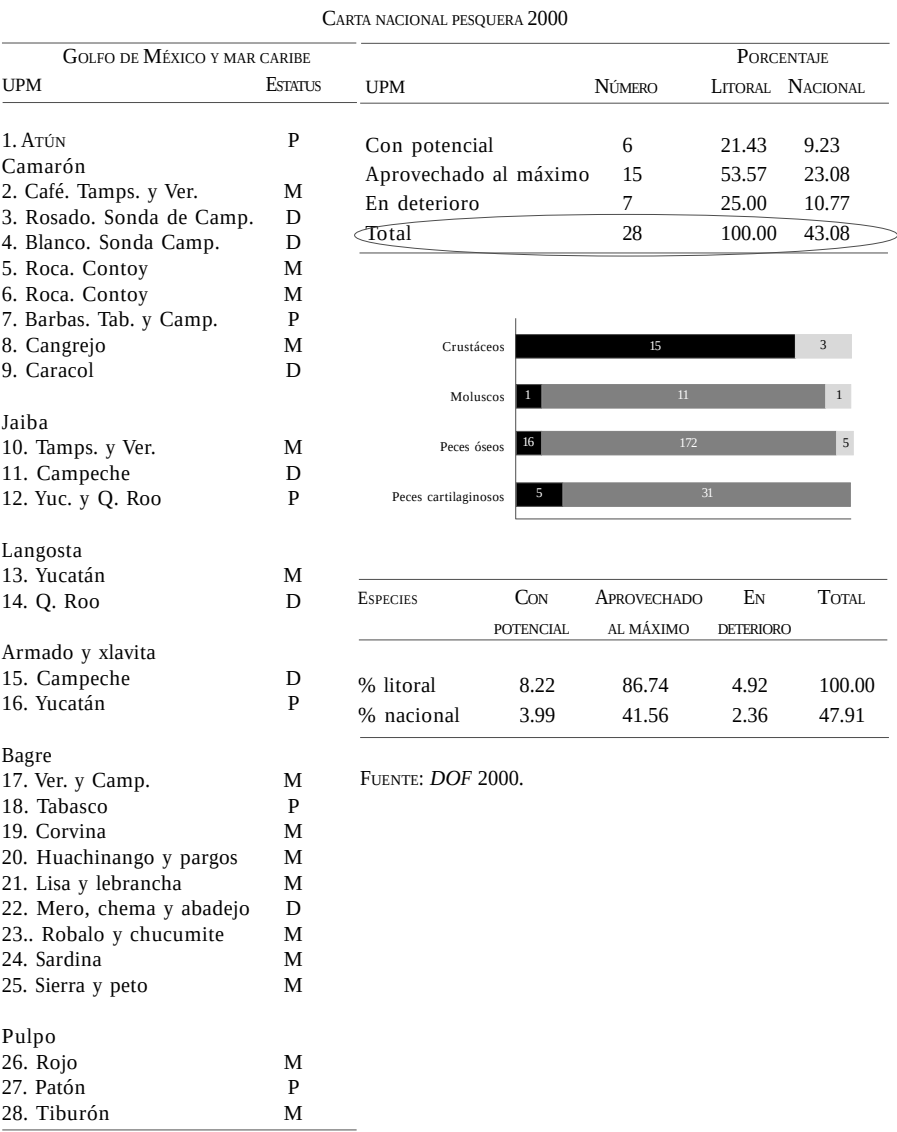
El cuadro 1 muestra el grado de explotación de los recursos pesqueros en el mundo y en México con base en datos de García y De Leiva Moreno (2001) y la Carta Nacional Pesquera 2000.

Estos indicadores de salud, ubican a México, comparado con el mundo, como un país con una mayor proporción de recursos pesqueros totalmente explotados y con menos opciones de crecimiento pesquero, aunque con un deterioro marginalmente menor. Sin embargo es de esperarse que dado que el 57% de UPM que se encuentran totalmente explotadas, pasen rápidamente a una condición de deterioro.

En el Golfo de México la tendencia se mantiene: disminuyen los espacios potenciales de crecimiento y de deterioro, pero aumenta el nivel de recursos en saturación o máxima explotación, mismo que cambiará en el tiempo hacia el deterioro. Lo anterior, de no ejecutarse acciones de remediación inmediatas, generará condiciones crecientes de conflicto político en el manejo efectivo en la zona, como ha sucedido en otras regiones (Rosenberg 2003) (figura 6).

En estos casos, mientras que las capturas han caído y los llamados de aten-

FIGURA 5. ESTATUS PESQUERO-AMBIENTAL DE 28
UNIDADES PESQUERAS DE MANEJO DEL GOLFO DE MÉXICO



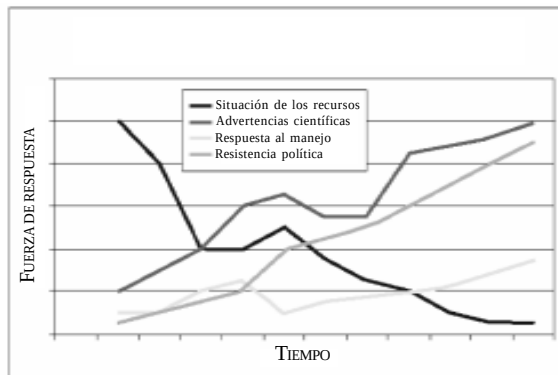
Claves: **P**: Con potencial de desarrollo
M: Aprovechada al máximo. **D**: En deterioro.

CUADRO 1. COMPARACIÓN DEL GRADO DE EXPLOTACIÓN DE LOS RECURSOS PESQUEROS EN EL MUNDO Y EN MÉXICO (NACIONAL, PACÍFICO Y GOLFO DE MÉXICO)

	MUNDO(FAO)	MÉXICO	PACÍFICO	GOLFO DE MÉXICO
Potencial	25	18	16	21
T. explotado	47	57	59	54
Deteriorado	28	25	24	25

ción de los científicos sobre el estado de los recursos se han venido incrementando, la respuesta del manejo ha sido atrasada, desfasada y anacrónica, imposibilitando la reversión de las tendencias de deterioro y manteniendo argumentos en el sentido de que la economía y el empleo se verán afectados si se toman acciones consecuentes. Este argumento siempre estará presente en los casos de mal mane-

FIGURA 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESCENARIOS TÍPICOS DE MANEJO PESQUERO



Fuente: de Rosenberg 2003.

jo y sobrepesca de los recursos, y normalmente en lugar de encontrar formas de reducir la presión de pesca vía la previsión y encontrar empleos alternativos - que normalmente los encargados del manejo buscan desesperadamente cuando el problema ya les agobia-, buscan alternativas aparentes en la pesca o apoyos económicos al empleo o a la actividad (subsidios), que más que enfrentar el problema lo alargan y agravan en el tiempo.

Rosenberg (2003) sintetiza al respecto: 1) la sobrepesca es un problema persistente y presionante que *solo se solucionará pescando menos*, 2) una causa típica es que los incrementos aparentes en las poblaciones relajan inmediatamente las restricciones o regulaciones pesqueras, mientras que las respuestas a decrementos en las poblaciones son generalmente lentas y mínimas, 3) poder incrementar medidas correctivas es bastante difícil sobre todo al enfrentar la presión política que ejerce la industria pesquera, y 4) la previsión y el manejo utilizando el enfoque precautorio puede contrarrestar esta tendencia ambiental y comercialmente destructiva.

Lo que no se puede soslayar es que la salud de los recursos está directamente ligada al manejo adecuado de los recursos, del hábitat y del ecosistema con el consenso, responsabilidad y apoyo de los pescadores.

HACIA LA CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD EN LA PESCA

Ante la situación imperante, la construcción de indicadores de sustentabilidad en la pesca exige ampliar la visión parcial que proporciona de la biología de los recursos explotados hacia una integral de todos los elementos que interactúan en la actividad, mismos que son inherentes al manejo de los recursos marinos y de los ecosistemas en los que se encuentran. En el cuadro 2 se presentan los indicadores de sustentabilidad pesquera que se analizan a continuación. Insistimos en que hay que pasar de una visión de *política* (1) de recursos infinitos que permanece escondida en el discurso, pero que existe, a una que evalúe la integralidad y efectividad de las políticas públicas para revertir el deterioro y situar a los recursos y a la sociedad en las situaciones deseadas.

Lo anterior plantea definir y evaluar indicadores y estados de la naturaleza medibles que nos indiquen si se avanza y en qué medida hacia la sustentabilidad en las pesquerías. Son necesarios los elementos *biológicos* (2) asociados a los recursos que se capturan y a sus pesquerías; *tecnológicos* (3) asociados a los medios físicos y al esfuerzo con el que se capturan; *ambientales* (4), asociados a visiones de las relaciones que se dan entre los recursos y el

ecosistema, a los impactos que la actividad tiene en los recursos, en el hábitat y en el ecosistema, del papel que las áreas naturales protegidas juegan en la protección de la biodiversidad, recursos, zonas frágiles y en la exportación de recursos pesqueros. Lo *social* (5), representado por la existencia o no de derechos de propiedad; por el empleo, el ingreso y por el grado de seguridad alimentaria que el arreglo genera y por el uso y destino de los productos de la pesca; lo *económico* (6), por el grado de integración industrial, los costos y retornos de la actividad primaria, los costos de manejo, de uso y la existencia de instrumentos económicos garantes de la sustentabilidad; lo *legal* (7), por lo relacionado a la existencia de legislación, la inspección, vigilancia y cumplimiento y a las sanciones y penalizaciones, así como a la certeza jurídica de que gozan los participantes y la sociedad. La *gobernanza* (8) está representada por el grado de conflictividad, de acuerdo político administrativo, el grado de organización social de los actores y la existencia de canales que potencien la participación de la sociedad. La *fortaleza institucional* (9) puede ser dividida en *interna* cuando se miden las capacidades institucionales para realizar la labor en términos de recursos humanos, financieros, de definición de competencias y de coordinación interna y *externa* cuando se presentan indicadores operacionales que ayudan a que la sociedad perciba si la institucionalidad existente desempeña su trabajo hacia la sustentabilidad. Finalmente, el último indicador, la *conciencia pública* (10), que está relacionada a la percepción que la sociedad tiene sobre la sustentabilidad y en consecuencia a la capacidad que la sociedad tendría en su conjunto para cambiar el estado de las cosas hacia escenarios deseados o sustentables.

De entrada, la propuesta ayuda a entender que el problema de la sustentabilidad en la pesca va más allá de sólo mantener al recurso en buen estado de salud, aunque se reconoce que esta es una condición necesaria más no suficiente para avanzar en tal sentido y que el solo hecho de sobreexplotar y deteriorar los recursos plantea una condición de insustentabilidad. Esta primera propuesta busca integrar elementos anteriores y se presenta como un elemento para discusión y mejora (cuadro 2). Los indicadores pueden ser mejorados, balanceados o reducidos, sin embargo hacen operativo el concepto de sustentabilidad e identifican sobre todo, las áreas a mejorar en las que las políticas públicas tienen que incidir con mayor vigor y cómo se puede transitar hacia ella.

El avance hacia la sustentabilidad en la pesca se lograría cuando se transitara del estado I hacia el estado IV, del 25% hacia el 100%. Lo anterior puede ser medido –salvando algunos problemas metodológicos– de forma ordinal y así

CUADRO 2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PESQUERA

INDICADOR	POCA O NULA SUSTENTABILIDAD	
	I	II
1. Visión	Recursos infinitos	Recursos finitos
2. Recursos pesqueros	Maximización de capturas por nombre de recurso a usar	Biomasa (B) Estado de salud (por unidad a manejar)
3. Esfuerzo Tecnología	Máx. de lanchas y barcos Mercado define	Mortalidad x pesca (F) Regulación mínima
4. Manajo de pesquerías Impacto ambiental ANP (liga con pesca)	Uniespecífico No reconocimiento Desligadas	Por grupos de recursos Sí I. ambiental Cierta coordinación
5. Derechos de propiedad Empleo Seguridad alimentaria Uso de los recursos	Inexistentes Maximización Inseguridad <i>Status quo</i> o mercado	Vagos % de uso
6. Integración industrial Costos y retornos Costo de manejo Costos por derechos de uso Instrumentos económicos	El mercado define Mercado Mínimos Mínimos No	% de integración Ganancias de RMS En unidades selctas
7. Legislación y armonización jurídica Inspec., vigil. y cumplimiento Sanción y penalización Certeza jurídica	Genérica Mínima Admiinistrativa Inexistente	Marco jurídico existente Penal Débil
8. Conflictividad Arreglo sociopolítico Organziación social Participación	Creciente Vertical Inexistente Limitada	Enfrentada En proceso de cambio Dispersa Comités instalados

— — — — — → HACIA LA SUSTENTABILIDAD — — — — — → MAYOR SUSTENTABILIDAD	
III	IV
% de deterioro	Efectividad de las políticas de reversión
C/B total	C/B reproductiva
Potenciales	Puntos dereferencia
Al máximo	P. manejo
Sobreexplotadas	P. recuperación
Deterioro	P. recuperación
F/Z mortalidad total	F/Z reproductiva
Regulada y controlada	Apropiada recursos, amb y ec.
	Por ecosistema y m. adaptativo
Evaluación I.A.	Restauración y mitigación de I.A.
Coordinadas	ANP con control
Semi derechos	Existentes y precisos
Suficiente para sostener	Saludable a la pesquería
	Existente
Deseado	Controlado
Deseado	
<RMS> MRE	% sostiene la actividad
	MRE o de sustentabilidad
	Adecuados a valor de recursos
En todas las unidades	Adecuados y ajustados a la sustentabilidad
Marco jurídico reforzado	Eficaz, eficiente
	Aceptada, eficaz, eficiente
	Acorde con el delito
	Eficaz y eficiente
Decreciente	Mínima
Horizontal	Mixto existente
Consolidada	Paricipativa, capacidad consensos
Funcionando	Informados aplicados

(Continúa)

CUADRO 2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD PESQUERA

POCA O NULA SUSTENTABILIDAD — — — — —		
INDICADOR	I	II
9. Fortaleza instit. interna	E	
Capacidad financiera	Baja	Media
Definición de competencias	Difusa	Media
Coordinación intrainstitucional	Baja	Media
Fortaleza inst. externa		
Acceso a la información	Limitado	Agregada
Transparencia	Mínima	Administrativa
Rendición de cuentas	Mínima	Regular
Coord. interinstitucional	Baja	Media
Esquema	Centralizado	En proceso de cambio
10. Conciencia	Nula	Limitada

encontrar una métrica de avance a la sustentabilidad tanto por indicador como general. Posteriormente se podrían obtener estimadores y desarrollar inferencias no-paramétricas sobre los resultados de una serie de encuestas sobre esta propuesta. La propuesta intenta balancear los indicadores particulares asociados a los 10 grandes meta-indicadores mencionados. Esta propuesta facilita encontrar tanto indicadores parciales como uno global, que muestre cómo se puede transitar hacia la sustentabilidad. Un ejercicio piloto que realizamos, muestra que la mediana de los indicadores es aproximadamente 1.5, lo que nos indicaría un camino por andar hacia la sustentabilidad en la región. Finalmente, se pueden utilizar en escalas múltiples de organización y llevar a cabo comparaciones, es decir, desde una pesquería, una unidad de manejo, una región, un estado nacional, un litoral, un país, hasta un Gran Ecosistema Marino que involucre a varios países.

EL CASO DE LA PESQUERÍA DEL CAMARÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Un ejemplo a considerar, en el marco de los indicadores arriba mencionados, es la

— — — — — → HACIA LA SUSTENTABILIDAD — — — — — → MAYOR SUSTENTABILIDAD	
III	IV
Incidente	Suficiente
Incidente	Precisa
Incidente	Suficiente
Desagregada	Accesible
Técnica y administrativa	Técnica, administrativa y política
Permanente	Efectiva
Incidente	Suficiente
Descentralizado	Mixto
En crecimiento	Conciencia informada

pesquería de camarón. En el litoral del Golfo de México, el camarón es la tercera pesquería en cuanto a volumen (cerca de 11,000 toneladas en el 2001). Sin embargo, el valor de la producción (cerca de 853.48 millones de pesos en 2001) hace a esta pesquería la más importante del litoral del Golfo y Caribe mexicanos.

En el Golfo de México y el Caribe se capturan principalmente camarón café (*Fafantepenaeus aztecus*), camarón rosado (*F. duorarum*), camarón rojo (*F. basiliensis*), camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) y camarón de roca (*Sicyonia brevirostris*). La explotación se lleva a cabo principalmente en tres zonas:

- Sonda de Campeche en los estados de Campeche y Tabasco (camarones blanco, rosado y café, 22% de la producción).
- Norte del Golfo de México en los estados de Tamaulipas y Veracruz (en su mayor parte camarón café, al menos 70% de la captura del litoral).
- Caribe mexicano en el estado de Quintana Roo (camarón rojo y de roca, al menos 1%, parte de la captura registrada en otras zonas).

Dado que los individuos juveniles se encuentran en zonas lagunares o aguas marinas someras (donde son vulnerables a las pesquerías artesanales, con tallas pequeñas y valor comercial relativamente bajo), y migran al mar

para su reproducción como adultos (capturados por pesquerías industriales, con tallas más grandes y valor comercial más alto), estas pesquerías son un típico ejemplo de pesquerías secuenciales en las que se generan externalidades negativas ya que la captura del sector artesanal afecta la captura del industrial y viceversa.

Aunque ésta es una de las pesquerías más investigadas y una de las primeras en ser reguladas, existen varios factores adversos para lograr la sustentabilidad de la pesquería. El más obvio al parecer está asociado a una sobrepesca por un exceso de esfuerzo de pesca.

La captura en la Sonda de Campeche ha disminuido en cerca de 20,000 toneladas en 1970, la mayor parte se trata de camarón rosado y, en menor proporción camarón blanco. El descenso ha llegado hasta alrededor de 500 toneladas en las últimas temporadas para ambas especies (figuras 7 y 8) (Fernández *et al.* 2000, SEMARNAP 2000). Aunque la captura por unidad de esfuerzo ha disminuido en Contoy, no está claro cuanto de esta tendencia puede atribuirse a las descargas de las capturas de las flotas de Campeche en otras áreas del litoral. En Tamaulipas, después de un crecimiento sostenido de las pesquerías artesanal e industrial desde fines de los setenta, y un aumento de la captura de altamar después de la implantación de la veda en 1993, la captura ha descendido notablemente a partir de 1997 (figura 9).

En este sentido, el remedio lógico sería la aplicación de medidas regulatorias. Aunque en el esquema de administración existen medidas como

FIGURA 7. TENDENCIA DE LAS CAPTURAS TOTALES DE CAMARÓN, EN TAMAULIPAS Y CAMPECHE

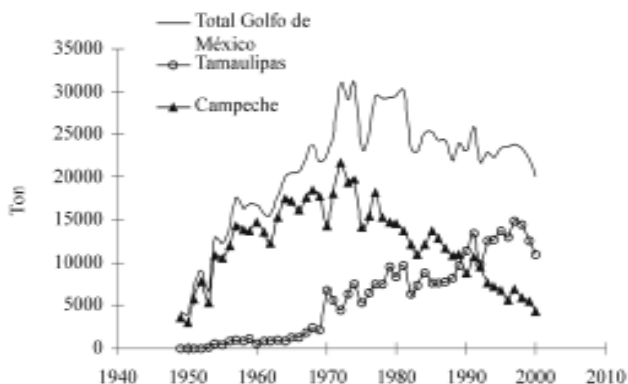
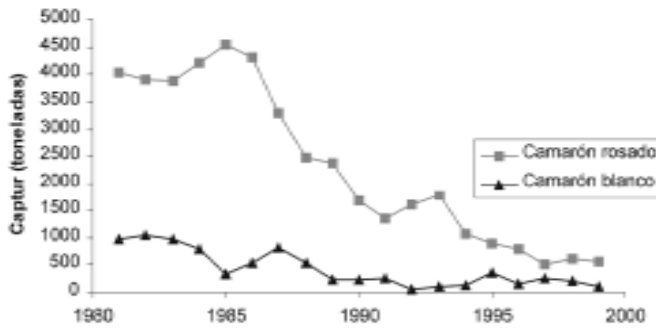
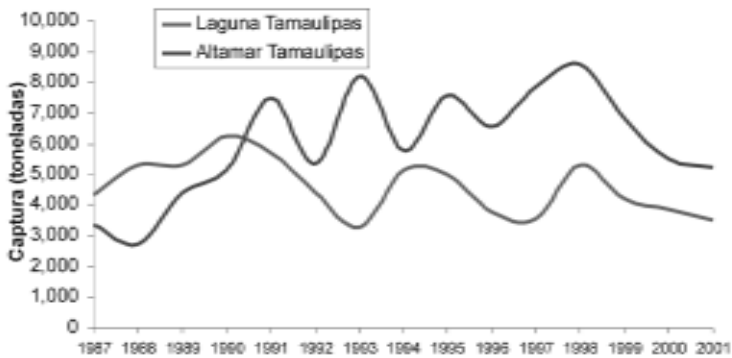


FIGURA 8. TENDENCIA DE LAS CAPTURAS DE LAS DOS ESPECIES PRINCIPALES DE CAMARÓN EXPLOTADAS EN LA SONDA DE CAMPECHE



Fuente: Carta Nacional Pesquera 2000.

FIGURA 9.- TENDENCIA DE LAS CAPTURAS EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE TAMAULIPAS.



restricciones zonales de pesca y definición de las artes de pesca permitidas, la administración del recurso se ha centrado en la reducción de la mortalidad por pesca por medio de vedas. Sin embargo, éstas han tenido problemas en su aplicación por varias causas. Una de ellas es que las vedas se implantaron

desde 1993 (mientras que en el Pacífico esta medida tiene décadas de ser aplicada).

Para cuando se implantó la veda, en la Sonda de Campeche las poblaciones de camarón blanco y rosado estaban ya muy reducidas. Aunque la veda protege los periodos importantes de reproducción y crecimiento de los camarones blanco y rosado, la pesca ilegal en lagunas y aguas someras es aún intensa y la mortalidad por pesca industrial al inicio de temporada llega a niveles comparables a los observados antes de implantarse la veda (INP 2000).

En Tamaulipas y Veracruz, existían pesquerías artesanales en lagunas costeras con altos niveles de producción cuando se estableció la veda (figura 9). En esta zona el énfasis se ha puesto hasta ahora en evitar la sobrepesca de crecimiento, que resulta de la captura de tallas pequeñas, mayormente en aguas lagunares pero también en aguas someras marinas, que resulta en disminución del volumen y valor de la captura (una pérdida de capacidad de producción de corto plazo). Este mismo énfasis se ha puesto en las vedas de camarón café de Texas (Klima *et. al.* 1982, Nichols 1982) que sirvieron de modelo para la medida tomada en Tamaulipas y Veracruz. La veda, como se ha aplicado, protege el periodo de estancia de la cohorte en las lagunas sin proteger ningún periodo de reproducción en altamar, aunque parte de la hipótesis que en la medida que se permita la existencia de un mayor número de reproductores en alta mar, aumentará la probabilidad de garantizar el éxito reproductivo y en consecuencia un mayor reclutamiento subsiguiente.

Por su parte, la veda impuesta en Tamaulipas en el mes de octubre de 2002 protege sólo el evento de reproducción de otoño que, a pesar de ser el periodo con mayor número de individuos reproductores, no es el más importante en términos de reclutamiento resultante. A pesar de las recomendaciones al respecto no se ha protegido el periodo más importante de reproducción (en términos de reclutamiento posterior) a fines del primer trimestre del año.

Además de la protección de los periodos reproductivos, se debe considerar el número de reproductores que llegan a ellos, como resultado de la mortalidad por sobrepesca durante el reclutamiento. Ésta consiste en una reducción de la capacidad de producción a largo plazo del recurso por reducción del número de reproductores. Esta posibilidad ha sido señalada desde hace tiempo para las pesquerías de camarón de los Estados Unidos (Viosca 1958), y también se ha señalado como una causa de la reducción de las poblaciones en la pesquería de Campeche (Gracia 1996, Ramírez *et al.*

2001).

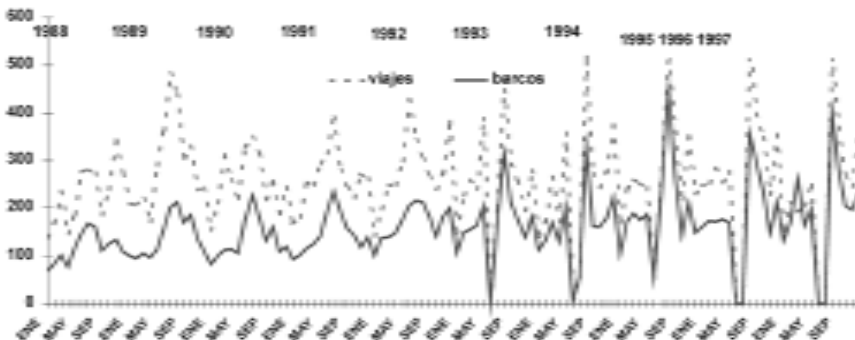
Existen indicios de que éste pudiera ser el caso también en la pesquería de Tamaulipas (INP 2000). El nivel de mortalidad por pesca en la pesquería de altamar en Tamaulipas se encuentra en niveles comparables a los encontrados desde los años setenta en la pesquería de Campeche, el periodo cuando se inició la caída de las capturas (Fernández 2001).

Esto es un resultado del esquema general de administración. El esfuerzo pesquero, no ha sido regulado en la administración de la pesquería (más allá de establecer lineamientos de no aumentarlo). La diferente duración de las vedas en los estados ocasiona un movimiento de las flotas que influye, de manera importante, en el aumento de la mortalidad por pesca en las diferentes áreas. Por ejemplo, dado que la veda de Campeche dura de mayo hasta octubre y la de Tamaulipas termina a mediados de julio, la flota del primer estado se concentra frente a la costa del segundo duplicando el número de barcos que opera en la zona (INP 2000). Este efecto se ha presentado desde 1993, año de la implantación de la veda (figura 10).

Lo mismo puede decirse de la veda en Contoy; aunque la veda se ha establecido para limitar el movimiento de flota a esta zona, ha dejado sin protección al periodo reproductivo y de reclutamiento a las zonas de pesca del camarón rojo, que es la especie más importante económicamente (INP 2000).

Adicionalmente, un factor que ha influido de manera importante en la

FIGURA 10. TENDENCIA DEL NÚMERO DE BARCOS Y VIAJES DE PESCA EN LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE TAMAULIPAS DE 1989 A 1997



administración del recurso (dado el carácter secuencial mencionado de la pesquería) es la cada vez más intensa competencia por el acceso al recurso entre el sector artesanal y el industrial.

Por ejemplo, las vedas, como se han implementado en las lagunas de Tamaulipas y Veracruz (45-60 días de mayo a julio), restringen la actividad de la pesca artesanal en los meses de mayor abundancia del recurso.

Sin embargo, dado que la veda de altamar se aplica aproximadamente al mismo tiempo (hasta 90 días durante mayo a julio), cuando la cohorte principal del año se encuentra dentro de las lagunas y la captura en el mar es baja, la veda no tiene efectos negativos en la captura de la flota industrial. El principal efecto positivo de la veda en altamar es proteger el crecimiento de los camarones que migran al mar en julio, hasta el inicio de la temporada que ha variado desde mediados de ese mes hasta principios de agosto.

Dado que los camarones no capturados durante la veda en lagunas de mayo a julio se pescarán al inicio de la temporada en altamar en julio-agosto, la veda se ha convertido en un instrumento de repartición (Fernández *et al.* 2000), más que de protección al recurso.

En las presentes circunstancias, los pescadores artesanales de la zona de Tamaulipas y Veracruz tienen pocos incentivos para cumplir con la veda y con el esquema de administración. Las frecuencias de edades en los individuos capturados al inicio de la temporada en altamar a partir de 1997 indican que se ha reducido progresivamente la salida de individuos de la cohorte principal (Ramírez y Fernández 2001), inicialmente protegida por la veda en las lagunas, lo que indica que la veda ha perdido efectividad de manera muy notable en su objetivo principal (figura 11).

La disminución de las capturas totales de los años posteriores a 1997 ha resultado en una disminución de las capturas por barco de la pesquería de altamar (figura 12), y en un aumento del ya alto nivel de competencia y conflictividad por el recurso entre el sector artesanal e industrial, dado que el único instrumento con algún resultado medible a la fecha ha sido la veda en las zonas lagunares.

En este caso, la visión de la política aplicada en un inicio (nivel I del meta-indicador 1), centrada en la repartición del recurso, no consideraba su naturaleza finita. La administración se ha basado en la reducción de la sobrepesca de crecimiento, centrándose en la maximización de las capturas (nivel I del meta indicador 2). No existe definición de los derechos de propiedad, ni reglas de ingreso-egreso (nivel I del meta-indicador 5). La rentabilidad económica tiene una tendencia descendente (nivel I del meta-indicador 6). La legislación

FIGURA 11. VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA POR EDADES EN LAS CAPTURAS DE CAMARÓN CAFÉ DE ALTAMAR EN TAMAULIPAS

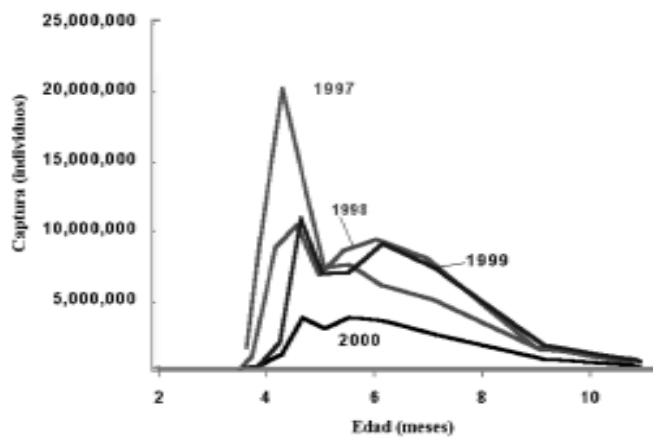
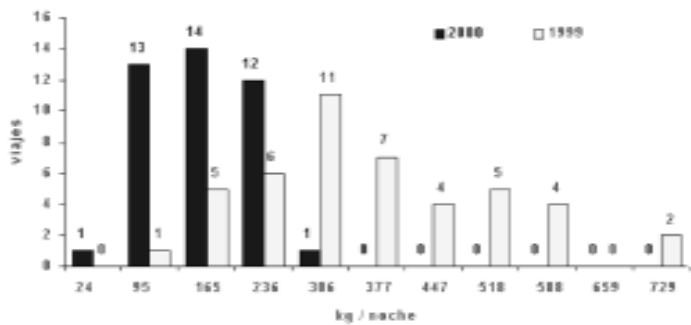


FIGURA 12. VARIACIÓN DE LA CAPTURA POR NOCHE EN 1999 Y 2000 DE CAMARÓN CAFÉ DE ALTAMAR EN TAMAULIPAS.



existe pero falta aplicar entre otros instrumentos, regulaciones de esfuerzo en el sector artesanal e industrial así como mayores restricciones en la tecnología de éste último (nivel I del meta-indicador 3), además de fallas en los sistemas de vigilancia (nivel II del meta-indicador 7).

La conflictividad en la pesquería es alta y existen pocos incentivos para cumplir con los arreglos institucionales por parte de los usuarios (nivel I del meta-indicador 8). La capacidad institucional interna se ha reducido, producto de recortes de presupuesto y personal mientras que la externa no ha cambiado (nivel I-II del meta-indicador 9). Por último, se ha prestado poca atención a los factores ambientales más allá de la adopción de dispositivos excluidores de tortugas (nivel II del meta-indicador 4), y puede afirmarse que existe una limitada pero creciente percepción social de la situación de la pesquería (nivel II-III del meta-indicador 10). Puede señalarse que las fallas en la aplicación del arreglo institucional general, a pesar de los beneficios iniciales, ha afectado la sustentabilidad biológica, ha disminuido su aceptabilidad social y ha reducido la rentabilidad económica.

DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS

De los mares mexicanos, el Golfo de México es menos productivo y seguramente más frágil que el Pacífico mexicano. Aporta aproximadamente 21% del total de las capturas que se pescan en ambos litorales. Consecuentemente, en condiciones de saturación de esfuerzo pesquero es de esperarse que estas capturas sean directamente proporcionales a las biomasas existentes y que sus cambios sean proporcionales a los de los recursos.

La captura total y las de los principales recursos pesqueros han disminuido en los últimos siete años en un 20% aproximadamente. Ante esto, sus biomasas también, ya que no es posible maximizar las capturas sin afectar el capital natural. Lo anterior es atribuible en gran parte a la sobre-pesca, ya que paralelamente la cantidad de esfuerzo artesanal ha aumentado significativamente y el industrial a pesar de haber decrecido en número, ha incrementado su eficiencia tecnológica y en consecuencia su poder de captura.

Hay un problema de sobrecapacidad de la flota e ineficiencia económica en las pesquerías del Golfo, producto de políticas miopes comunalistas de promoción de empleo y maximización de las capturas, que hace que en condiciones de productividad industrial promedio, las flotas artesanales e industriales escameras cuenten con una capacidad de pescar entre 9.5 y 19

veces sus capturas actuales y en el caso de la flota industrial camaronera entre 8 y 16 veces.

Se han construido indicadores de salud, instrumentos regulatorios y el primer diagnóstico pesquero-ambiental que comprueban que los recursos pesqueros en el Golfo de México acusan sobreexplotación; 79% de estos no pueden crecer más por estar en niveles de máxima explotación, y de los anteriores, 25% se encuentran en estado de deterioro. Lo anterior *per se* muestra que hay problemas de insustentabilidad en el Golfo de México. A pesar de lo anterior, no hay medidas urgentes que afronten el deterioro, intenten revertirlo, y fortalezcan la institucionalidad y capacidad regulatoria del Estado, debilitada como consecuencia de la liberalización económica y del ajuste estructural; tampoco hay medidas que generen conciencia pública para enfrentar y mitigar sus efectos. Por el contrario, se ha escogido una política reactiva a conflictos y de subsidios que lejos de ser aplicados a enfrentar y resolver el problema tenderá a agravarlo en el tiempo (Senado de la República 2003). Lo anterior se contrapone a principios generalmente aceptados como el precautorio, la Agenda XXI, el Código de Conducta para la Pesca Responsable, la reciente Declaración y el Programa de Implementación de la Cumbre de Johannesburgo de Desarrollo Sustentable e incluso a directivas de organismos económicos de los que México es parte como la OECD.

La tendencia actual de pérdida de recursos marinos en el Golfo de México, cuya costa está habitada por más de 12 millones de personas, sin duda representa un factor de riesgo muy significativo en cuanto a seguridad alimentaria. Los efectos más agudos de dicha situación podrían observarse en el corto plazo en la región de la Sonda de Campeche, por las actividades de extracción petrolera y el crecimiento en número de artes de pesca en dicha región.

Desgraciadamente, a pesar de la existencia de indicadores y regulaciones basados en la Carta Nacional Pesquera 2000, el manejo del sector pesquero muestra una fuerte tendencia a relajar los indicadores ya existentes y a desarrollarse bajo políticas más laxas, lo cual tendrá efectos negativos sobre los recursos marinos y pesqueros.

Considerando la ausencia de acciones para frenar y revertir el deterioro causado por la pesca, es deseable que se fortalezcan y sumen nuevos indicadores de sustentabilidad, se introduzcan políticas anticipatorias precautorias y se busque que este sector no se aleje más de este paradigma. En estas condiciones, vale la pena reflexionar también sobre el papel que las

instituciones ambientales nacionales deben jugar para lograr confrontar dicha situación y frenar la pérdida de tan valioso capital natural en el Golfo de México.

En este trabajo se presenta una propuesta de indicadores, del proceso para transitar hacia la sustentabilidad en la pesca, y cómo cuantificar el grado de avance hacia ese estadio deseado en el Golfo de México. Dicha propuesta cuyos méritos tendrán que ser probados en la práctica reconoce la sustentabilidad como un objetivo complejo, multifactorial, multiescalar, multisectorial, multiinstitucional, y se presenta como un elemento de apoyo para el diseño e implementación de políticas públicas, tanto para revertir el deterioro como para identificar las áreas a mejorar situando así la actividad en el camino hacia la sustentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Torres, P. A. Díaz-de-León-Corral, O. Ramírez-Flores y E. Bermúdez-Rodríguez. 2002. National Fisheries Chart: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 317-326.
- Arenas, P. y A. J. Díaz-de-León 1998. Searching for fisheries sustainability in a developing country: The case of México. *Proceedings of the Second World Fisheries Congress*. Australia.
- Arreguín, F., Sanchez, J., Flores, H.D., Ramos, M.J., Sanchez, G.P. y Arancibia, A.Y. 1999. Stock-Recruitment Relationships: A scientific Challenge to Support Fisheries Management in the Campeche Bank, Mexico. En Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. 225-235.
- Cabadas-Nápoles, C. 2002. El caos de la industria pesquera. *Economía Nacional* 258: 28- 35.
- Christiansen, V., S. Guenette, J. J. Heymans, C. J. Walters, R. Watson, D. Zeller y D. Pauly 2003. Hundred-year decline of North Atlantic predatory fishes. *Fish and fisheries* 4, 1-24.
- Chuengpagdee, R. y J. Alder 2002. Sustainability ranking of North Atlantic Fisheries. *Sea Around Us. North Atlantic*. 49-54.
- Dayton, PK, SF Thrush, MT Agardy y RJ Norman 1995. Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 5: 205- 232.
- Díaz-de-León, A., M. A. Cisneros, P. Alvarez- Torres, A. Sanchez-Palafox y O. Ramírez-Flores. En prensa. *La Carta Nacional Pesquera 2000. Nuevo Instrumento Regulatorio en México*.
- Díaz y Díaz, Martín 2001. El aprovechamiento de los recursos naturales. Hacia un

- nuevo discurso patrimonial. *Revista de Investigaciones Jurídicas* Vol. 24. Escuela Libre de Derecho. México. Reeditado en diciembre del 2001 por el Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. (CeIBA).
- Duda, A. M. y K. Sherman 2002. A new imperative for improving management of Large Marine Ecosystems. *Coastal and Ocean Management* (45): 797-833.
- FAO 2000. Indicadores para el desarrollo sostenible de la pesca de captura marina. *FAO Orientaciones técnicas para la pesca responsable* No.8, Roma, FAO 2000. 68p.
- Fernández, J. I. 20001 Administración de la pesquería de camarón en el Golfo de México. ¿un esquema completo? Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. Ciudad del Carmen, Marzo 2001.
- Fernández, J.I, L. Schultz, A.T. Wakida, M. Medellín, M.E. Sandoval, G. Nuñez, J.A. Uribe, R.G. Castro, A. González, M. E. González, J. Santos, G. Marcet, F. Aguilar, B. Delgado, G. Chale 2000. Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. En: *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México.
- García, S. y I. De Leiva Moreno 2001. Global Overview of marine fisheries. Paper presented at the *FAO-Iceland Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. Reykjavik, islandia. 1-14 de octubre de 2001. 22 pp.
- Gell, F. y C. M. Roberts. En prensa. Benefits beyond boundaries: The fishery effects of marine reserves. *Trends in Ecology and Evolution*.
- Goñi, R, 1998. Ecosystem effects of marine fisheries: An overview. *Ocean and Coastal Management* 40: 37- 64.
- Gracia, A. 1996. White shrimp (*Penaeus setiferus*) recruitment overfishing. *Mar. Freshwater Res.* 47:59-65.
- Hernández, A y W. Kempton 2003. Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public participation. *Ocean and Coastal Management* 46: 507- 526.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC.
- Hilborn, R y C Walters 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment*. Chapman and Hall, London.
- INEGI 2000. *Tabulados Básicos Nacionales*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INE-INEGI 2000. *Sustainable development Indicators*. SEMARNAP. 173 pp.
- INP 1998. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1997-1998*. Instituto Nacional de la Pesca. México. SEMARNAP. México.
- INP 2000. Fundamento Técnico para el establecimiento de vedas en el Golfo de México en 2000. Instituto Nacional de la Pesca. Programa Camarón del Golfo de México y Caribe. Dictamen técnico (inédito).
- 2001. *Sustentabilidad y pesca responsable en México: evaluación y manejo, 1999-*

2000. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. México.
- Jackson, Jeremy B. C, Michael X. Kirby, Wolfgang H. Berger, Karen A. Bjorndal, Louis W. Botsford, Bruce J. Bourque, Roger H. Bradbury, Richard Cooke, Jon Erlandson, James A. Estes, O. Terence P. Hughes, Susan Kidwell, Carina B. Lange, Hunter S. Lenihan, John M. Pandolfi, Charles H. Peterson, Robert S. Steneck, Mia J. Tegner, Robert R. Warner 2001. Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science* 293: 629-638.
- Klima E.F., K.N. Baxter y F.J. Patella Jr. 1982. A review of the offshore shrimp fishery and the 1981 Texas closure. *Mar. Fish. Rev.* 44 (9-10):16-30.
- Le Gallic, B. 2002. Fishery Sustainability indicators: the OECD experience. Joint workshop EEA-EC Fisheries DG Environment on "Tools for measuring (integrated) fisheries policy aiming at sustainable ecosystem". October 28-29, 2002. Brussels, Belgium.
- León, C y J. V. Gómez-Palafox. En prensa. Osteoporosis del sector pesquero. Los mares mexicanos en conflicto. *Revista de Comercio Exterior*. México.
- Ludwig, D, R Hilborn y C. Walters 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. *Science* 260: 17- 18.
- Myers, R. A. y B. Worm 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423: 280-283.
- Nadal-Egea, A. 1996. *Esfuerzo y Captura: Tecnología y Sobreexplotación de Recursos Marinos Vivos*. El Colegio de México, México-DF.
- Nichols, S. 1982. Impacts on Shrimp yields of th 1981 Fishery Conservation Zone Closure off Texas. *Mar. Fish. Rev.* 44 (9-10):31-37.
- Pauly, D, V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese, y F.Torres Jr. 1998. Fishing Down Marine ood Webs. *Science* 279: 860-863.
- Pauly, D, V Christensen, S Guénette, TJ Pitcher, U Rashid-Sumaila, CJ Walters, R Watson y D. Zeller 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689- 695.
- Ramírez, G. y J.I. Fernández 2001. Análisis de la veda aplicada a la pesquería de camarón café, *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891), en Tamaulipas. *Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe*. Ciudad del Carmen, Marzo 2001.
- Ramírez, M. F. Arreguín-Sánchez, D. Lluch-Belda y E. Chávez-Ortíz 2001 Tendencias del reclutamiento de camarón rosado en la sonda de Campeche y el colapso de su pesquería. Segundo Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Rosenberg, A. A. 2003. Managing to the margins: the overexploitation of fisheries. *Front.Ecol.Environ* 1(2): 102-106. The Ecological Society of America.
- Rosenberg, A. A. (2003a). Multiple use of marine ecosystems. En: Sinclair, M. y G. Valdimarrson (eds). *Responsible fisheries in the marine ecosystem*. Roma, CAB Intn.
- Sala, E, O Aburto-Oropeza, M Reza, G Paredes y LG López-Lemus 2003. Fishing Down

- the Coastal Food Webs of the Gulf of California. *Fisheries* 28.
- SAGARPA 2002. *Anuario Estadístico de Pesca 2001*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. CONAPESCA, México.
- Sainsbury, K. y U. R. Sumaila (2003). Incorporating Ecosystem Objectives into Management of Sustainable Marine Fisheries, Including "Best Practice" reference Points and Use of Marine Protected Areas. En: Sinclair, M. y G. Valdimarsson (eds) *Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. FAO, Rome: *CAB International*.
- SEMARNAP 2000. Carta Nacional Pesquera 2000. *Diario Oficial de la Federación*, 17 y 28 de agosto, 2000.
- Schiermeier, Q, 2002. How many more fish in the sea? *Nature* 419: 662- 665.
- Senado de la República 2003. Comparecencia del Secretario de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sr. Javier Usabiaga. Glosa del 3r Informe Presidencial. Transcripción estenográfica de la sesión de trabajo de la Comisión de Pesca de la Cámara de Diputados, 25 de septiembre 2003.
- Shipp, R.L. 1999. Status of Exploited Fish Species in the Gulf of Mexico. En Kumpf, H., Steidinger, K. y Sherman K. (eds). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. 196-204.
- Viosca J. P. 1958. Shrimp studies. En *Seventh Biennial Report of the Louisiana Wildlife and Fisheries Comission*. 1956-1957. 135-42. New Orleans. Louisiana Wildlife and Fisheries Comission.

LA PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO. HACIA MAYORES BIOMASAS EN EXPLOTACIÓN

Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo

INTRODUCCIÓN

La forma, magnitud y descontrol de la actividad pesquera a nivel mundial plantea para la ecología planetaria un tema de atención inaplazable. El valor ecológico y los servicios ambientales en riesgo deben revisarse. La sobreinversión, el esfuerzo de pesca excesivo, la sobrepesca biológica, la regulación inoperante, etc., se suman a la destrucción de los ecosistemas costeros, a la contaminación multifocal y a la pesca hormiga ribereña. Según datos recientes (Myers y Worm 2003), los stocks de las especies de peces de altos niveles tróficos se encuentran disminuidas en más de 90%; la explotación representa más de 30% de la producción total marina. La zona costera carece de mecanismos efectivos de protección.

El Golfo de México no escapa a esta situación. La pesca se realiza en todos los ámbitos y ecosistemas, prácticamente sin una regulación adecuada. El valor de la estructura de las poblaciones que habitan las lagunas costeras es evidente, así como su conectividad con otros ecosistemas. El enfoque de manejo integral de la zona costera, incluyendo a la zona nerítica como frontera hacia el mar y la cuenca hidrológica hacia la costa, constituye una alternativa para abordar la problemática. El objetivo debe orientarse a romper el círculo vicioso donde la demanda global, en aumento constante, reduce las biomاسas y por lo tanto aumenta los precios, que en consecuencia

aumentan el esfuerzo. En este sentido, el objetivo debe recobrar las biomásas perdidas por la sobrepesca y la destrucción del hábitat, en beneficio de restaurar las funciones de los ecosistemas alterados y de obtener mejores rendimientos económicos. Existe en la actualidad suficiente desarrollo tecnológico para prever que esto sea factible sin una alta inversión para lo cual se requiere subordinar formalmente el ordenamiento y el manejo pesquero al manejo integral de la zona costera. Es importante en el Golfo de México hacer de la pesca una actividad de calidad y no de cantidad.

PANORAMA MUNDIAL DE LA PESCA

La literatura científica de mayor trascendencia en materia de pesca, se ha ocupado en los últimos años en señalar la difícil situación que enfrentan los ecosistemas marinos debido a la actividad pesquera. El proceso de detección, captura, transformación e industrialización pesquera, ha alcanzado un desarrollo tecnológico de frontera, que se emplea en todas las regiones del mundo donde existe una pesca industrial importante, generando un impacto relevante sobre los ecosistemas marinos. La pesca artesanal o de sobrevivencia que ocupa las facilidades tecnológicas que ofrece el ingenio humano, es descontrolada e impacta a una gran variedad de especies. La maricultura avanza sin reconocer cabalmente el riesgo existente del descuido ecológico. Myers y Worm (2003) señalan que la pesca industrial redujo la biomasa de las poblaciones de peces en un 80% en 15 años de explotación y estiman que actualmente la biomasa de peces predadores es sólo 10% de los niveles pre-industriales. Esto refuerza los estimados de Jackson (2001) sobre el colapso de los ecosistemas costeros por sobrepesca y el señalamiento de Weiss (2003) acerca de que 90% de las poblaciones de especies oceánicas del mundo incluyendo: bacalao, halibut, atún, pez espada y marlín han desaparecido en décadas recientes.

Lo anterior no es aún problema económico para las grandes industrias que han venido adaptándose, capturando también hasta el agotamiento a aquellas especies que ven aumentadas sus poblaciones en ausencia de los grandes depredadores; ocupando bancos más profundos y distantes que se agotaron el siglo pasado; donde los países, compensan mediante políticas de subsidio que tienen a la inversión en pesca en sobrecapitalización por más de 50,000 millones de dólares. La economía mundial tiene un excedente de esfuerzo pesquero de más del 50% que desde el punto de vista del recurso se traduce en una exacerbación de la búsqueda, la ampliación de especies

objetivo y la competencia con la pesca de subsistencia. No se prevén colapsos económicos mundiales, se prevén una serie de colapsos ecológicos.

Los ecosistemas marinos contribuyen con más del 50% de la productividad planetaria (Field *et al.* 1998) en los que los principales stocks están en franca sobreexplotación o han sido ya colapsadas sus poblaciones. La biomasa capturada por la pesca mundial promedia anualmente más del 30% de la biomasa capturable en todos los océanos y mares del mundo.

Las poblaciones residuales oscilan entre el 5 y el 24% de las poblaciones vírgenes. Los datos históricos revelan que para los ambientes costeros, tanto la pérdida de los grandes peces depredadores, como de mamíferos, fue muy pronunciada (16% por año), precipitando cambios en la estructura y función de los ecosistemas (Jackson 2001). Los datos mundiales de la FAO indican distorsión en la información y una tendencia a la disminución global de las capturas en ausencia del control del esfuerzo. Watson y Pauly (2001) analizando los datos de captura de la FAO concluyen que la pesca ha ido disminuyendo gradualmente el nivel trófico de la captura.

Desde el punto de vista de la explotación, independientemente del efecto ecológico, la situación debe revertirse para alcanzar mejores rendimientos económicos alcanzando con ello mayores biomásas en explotación.

Lo anterior tiene una importancia superlativa para las decisiones de manejo y control de explotación de los recursos. Existen claras evidencias de que los ecosistemas costeros operan con controles “top-down” en los cuales las consecuencias ecológicas se aumentan exponencialmente (Worm y Mayers, 2003). La repercusión de la pesca sobre los ecosistemas es preocupante por su extensión a nivel mundial, por el nivel de reducción de las poblaciones y la consecuente dificultad para revertir ésta situación. Otro problema es la extinción de poblaciones, particularmente aquéllas que maduran a edades avanzadas. Las extinciones locales han pasado desapercibidas incluso en ecosistemas sobre los que se ha ejercido un cuidadoso seguimiento (Casey y Myers 1998).

La pesca es ya un problema ecológico mundial insoslayable. La reunión de Medio Ambiente de las Naciones Unidas celebrada en 2002, en sus resolutivos estableció la necesidad de recuperar los stocks pesqueros a un nivel más conveniente.

LA PESCA EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU CONTEXTO NACIONAL

La situación de la pesca en México no es distinta de lo que acontece a nivel mundial. La sobreexplotación, sobreinversión, esfuerzo de pesca excesivo,

la regulación carente o inoperante y la contaminación, son los factores comunes que contribuyen a la degradación de los ecosistemas costeros.

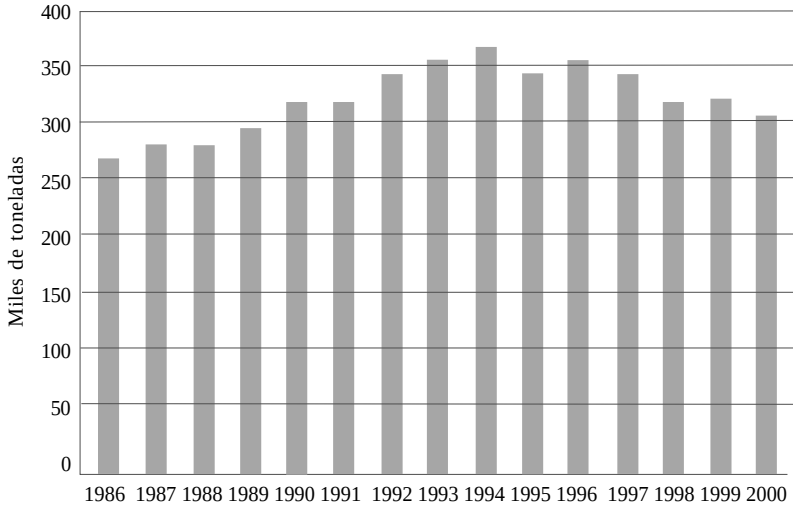
Los desembarques pesqueros anuales se han estabilizado en alrededor de 1.3 millones de toneladas en peso vivo en los últimos 20 años, pese a la creciente producción acuícola y la inclusión de especies antes descartadas. La producción total en 2001 fue de 1,325,785 toneladas, lo cual representó un ingreso de \$ 12,885 millones de pesos a precios de playa (Anuario Estadístico de Pesca 2001). La aportación de la actividad pesquera al Producto Interno Bruto es apenas del 1.7, ubicándose muy por debajo de la industria petroquímica y sus derivados, y del turismo que son las actividades que aportan mayores divisas al país. De hecho desde el punto de vista estrictamente económico la suspensión de la actividad pesquera en el Golfo de México no afectaría los procesos económicos nacionales.

Las condiciones biogeográficas y régimen climático que predominan en el Golfo de México, determinan que la gran mayoría de los recursos pesqueros ahí existentes tengan el carácter de multiespecíficos, a diferencia de las principales pesquerías que se desarrollan en el océano Pacífico que tienden a ser monoespecíficas.

En la Carta Nacional Pesquera (2000), se estima la existencia de 551 especies capturadas en aguas marinas, de las cuáles 287 corresponden al Pacífico y 264 al Golfo de México y Mar Caribe. Pese a que las cifras son similares, éste último contribuye sólo con el 23% del volumen de pesca a nivel nacional, esto es, 298,818 ton mientras que el Pacífico aporta el 74% y los cuerpos de aguas continentales el 3%.

Las principales pesquerías que se desarrollan en el Golfo de México y Mar Caribe en territorio nacional son: camarón, tiburón, atún, mero, pulpo, langosta, caracol rosado y escama. Los datos oficiales de la captura en el Golfo de México de 1986 a 2001, presentan un promedio de 300,000 toneladas y muestran un claro incremento a mediados del decenio anterior y un descenso posterior que no alcanza los valores más bajos registrados en 1987 (figura 1). Es improbable que estos registros reflejen la abundancia del recurso y la eficiencia de las capturas; es más probable que las estadísticas reflejen la intención del gobierno de invitar a la iniciativa privada a invertir en la pesca. En México, al igual que en el resto del océano mundial el incremento de la eficiencia pesquera mediante mejores artes de captura y detección no se reflejó en un aumento real de las capturas, lo cual implica que afectó a más especies, en más áreas y con mayor intensidad.

FIGURA 1. PRODUCCIÓN PESQUERA TOTAL POR AÑO PARA EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE



El estado de Veracruz es el principal productor pesquero en la región aportando el 40% del volumen de captura. A nivel nacional, el estado de Veracruz ocupa el 5° lugar en producción ubicándose por debajo de Sonora, Sinaloa, Baja California y Baja California Sur con un volumen de 119,304 ton, de las cuales el 98% proviene de la pesca artesanal, que es de bajo valor económico.

ESTATUS ACTUAL DE LA PESCA EN LA PARTE MEXICANA

La pesquería de camarón, que es de las más importantes en la región del Golfo y Mar Caribe, se efectúa principalmente en Tamaulipas y el norte de Veracruz donde se obtiene camarón café; en la Sonda de Campeche se captura camarón rosado, blanco y siete barbas; y en el Mar Caribe se obtiene camarón rojo y de roca. Las capturas se han mantenido alrededor de las 20,000 toneladas en los últimos años. Las tres zonas están aprovechadas al máximo permisible y ya no soportan más esfuerzo pesquero ribereño ni industrial. Los 770 barcos camaroneros que operan en altamar y el esfuerzo

que se ejerce en lagunas costeras no pueden ser incrementados. La población de camarón café se encuentra en buen estado y es la que ha sostenido la pesquería en los últimos años. Sin embargo, las poblaciones de camarón blanco y especialmente de camarón rosado, se encuentran sumamente deterioradas, en niveles de biomasa muy por debajo de su máxima productividad (Arenas y Díaz de León 1999).

En 1997 la producción de tiburón y cazón en el Golfo de México fue de 5,780 toneladas; de esta región ha provenido el 35% de la producción nacional. La pesca artesanal de tiburones representa valiosas fuentes de alimento y empleo para las comunidades ribereñas del Golfo de México. Los principales estados productores de tiburón son Veracruz y Campeche. El número de permisos para la pesca comercial de tiburones en la región es de 400, con los que operan 3,600 embarcaciones. Esta pesquería captura 33 especies de tiburones, de las cuales 10 proporcionan el 90% de las capturas artesanales. La pesquería del cazón ley *Rhizoprionodon terraenovae* se encuentra aprovechada al máximo permisible y en riesgo de disminuir drásticamente si se continúa el mismo esquema de explotación, en el que predomina, en 90% la captura de organismos inmaduros (Arenas y Díaz de León 1999).

La única pesquería oceánica en el Golfo de México que se realiza en la zona económica exclusiva, es la de atún aleta amarilla, que se captura con 20 barcos palangreros, generando alrededor de 1,096 toneladas. Esta pesquería tiene potencial de desarrollo y puede crecer hasta 45 barcos para aprovechar el recurso de manera sustentable, de acuerdo con la NOM-023-PESC-1996 (Arenas y Díaz de León 1999).

La población de mero que se encuentra en la Sonda de Campeche es la más grande del mundo y es explotada principalmente por tres flotas: una menor que consta de 3,440 pangas, y dos mayores, la mexicana con 539 barcos y la cubana con 16 embarcaciones de mediana altura que sirven de nodrizas para lanchas pequeñas. Las capturas en los últimos 10 años han fluctuado entre 8 y 14 mil toneladas. Esta pesquería se encuentra en deterioro por lo que se requiere disminuir la tasa de aprovechamiento en 40% (Arenas y Díaz de León 1999).

Las especies de pulpo *Octopus maya* y *Octopus vulgaris* que son capturadas en Yucatán por alrededor de 1,900 pangas y 500 embarcaciones medianas que sirven de nodriza a 10 canoas de madera, han registrado capturas de 17,776 toneladas en 1997. Esta pesquería está aprovechada al máximo permisible y se requiere mantener niveles de captura sostenible de 10 a 12 mil toneladas (Arenas y Díaz de León 1999).

La pesquería de langosta espinosa del caribe se lleva a cabo en las costas de Yucatán y Quintana Roo por medio de buceo autónomo, y aunque es de tipo artesanal resulta muy redituable porque su producción tiene un alto precio en playa (26 dólares/kg en 1997). En este año las capturas alcanzaron las 844 toneladas. Alrededor de 400 pangas y 14 barcos se dedican a esta pesca en ambos estados, y se considera que ésta pesquería está aprovechada al máximo permisible en ambos estados aunque existe una fracción del stock que tiene posibilidades de desarrollo en el Banco de Campeche (Arenas y Díaz de León 1999).

El caracol rosado es un recurso de gran tradición en la región del Caribe mexicano, principalmente en Quintana Roo, pero su deterioro ha sido tal, que ahora sólo se pesca en el Banco Chinchorro y en isla Cozumel. Setenta embarcaciones y 140 pescadores constituyen el esfuerzo para esta pesquería cuyas capturas han tenido una tendencia descendente desde hace 10 años. Desde principios de la década de los 90 se han capturado alrededor de 57 toneladas anuales pero el nivel de biomasa de por lo menos 470 toneladas establecido como punto de referencia para la recuperación del stock, requiere el establecimiento de una veda total de dos años (Arenas y Díaz de León 1999).

Una evaluación realizada por Arenas y Díaz de León (1999) sobre 18 pesquerías que comprenden 109 especies que habitan el Pacífico y el Golfo de México, representando el 65% del volumen de producción nacional y el 67% del valor de las capturas nacionales, indica que las pesquerías en nuestro país no han llegado en general a un estado crítico; sin embargo, el exceso de capacidad ha conducido a algunas de ellas a un estado de deterioro que requiere estrategias de recuperación. Tal es el caso de la anchoveta de la costa occidental de la península de Baja California, el abulón, el erizo de mar, el pepino de mar, también de Baja California, el caracol rosado de Quintana Roo y el mero de la Sonda de Campeche.

Otras pesquerías han llegado a obtener capturas estables pero con un nivel de esfuerzo pesquero que de aumentar, pondría en riesgo a las poblaciones y a la actividad misma, como es el caso del camarón y tiburón tanto del Pacífico como del Golfo, el pulpo de Yucatán y la langosta del Caribe, que son catalogadas como pesquerías aprovechadas al máximo permisible.

Por otra parte, las pesquerías que tienen potencial de desarrollo son el atún del Pacífico y del Golfo, la sardina monterrey del Golfo de California y costa occidental de la península de Baja California, el calamar gigante del Golfo de California y la langosta de Baja California.

Con la información existente se puede estimar que en el Golfo de México y Mar Caribe, 86% de las pesquerías no pueden crecer más ya que se encuentran deterioradas o aprovechadas al máximo y la capacidad de renovación del recurso no lo permite (INP 1999).

Desde los años 50 la pesca artesanal e industrial han coexistido, evolucionando en una aparente libre competencia, bajo supuestos de políticas de desarrollo. En el pasado, cuando se dio un vigoroso impulso a nivel mundial a la pesca industrial, se pretendía que esta actividad impulsaría por igual el crecimiento de todas las pesquerías, e incluso se llegó a considerar a la pesca ribereña como una fase transitoria hacia la pesca de gran escala (Breton 2002). Evidentemente la inversión que requiere la pesca industrial es muy elevada comparada con la que requiere la pesca artesanal, quizá por ello el panorama que hoy se presenta dista mucho de esa utopía. Desgraciadamente en México la pesca industrial no prosperó acorde a los apoyos recibidos, quizá por decisiones poco planeadas y malos manejos y que actualmente la pesca ribereña de baja ganancia económica sigue predominando en el país. Además existen fuertes conflictos entre las flotas artesanal e industrial que explotan un mismo recurso y que no permiten un mayor desarrollo, tal es el caso de la pesquería de camarón que se realiza en alta mar y en la zona costera.

La pesca artesanal está caracterizada por la captura de recursos poco densos y muy diversos, realizada por pescadores cuyo nivel de ingresos, mecanización, cantidad de producto, radio de pesca, influencia política, posibilidad de mercado, empleo, movilidad social y dependencia financiera, los mantiene subordinados a las decisiones económicas y operaciones impuestas por parte de aquéllos que compran su producción.

Aunada a la gran diversidad de especies de peces que se capturan en el litoral del Golfo de México y Mar Caribe, se presenta la complejidad del uso de diferentes tipos de embarcaciones y artes de pesca para la captura de éstos. Para la pesca de escama en el Golfo de México y Mar Caribe se emplean 890 embarcaciones mayores y 15,902 embarcaciones menores. Entendiendo por embarcaciones mayores aquéllas superiores a 10 toneladas de registro bruto, con redes de enmalle o líneas de mano o palangre y hasta 10 pescadores, y embarcación menor a aquellas con motor fuera de borda y hasta cuatro pescadores, utilizando red de enmalle, atarraya, chinchorro playero, líneas de mano o palangre (Carta Nacional Pesquera 2000). En el estado de Veracruz se registran 15,681 embarcaciones tanto para la pesca de altura como para la pesca ribereña, correspondiendo a ésta última el 99%

de las embarcaciones. En la pesca artesanal se utiliza una gran diversidad de artes de pesca como son: las redes de enmalle, líneas de mano, palangres, trampas, calas, entre otras; éstas varían en sus materiales de construcción, dimensiones y sistemas de operación según sea el recurso objeto de la pesca. Las artes y equipos de pesca registrados para Veracruz, ascienden a 23,073 redes, 10,915 líneas, 215,423 trampas y 5,761 equipos de buceo (INEGI 1999).

ESTATUS ACTUAL DE LA PESCA EN LA PARTE NORTEAMERICANA

Estudios específicos sobre algunos de los recursos compartidos por México y Estados Unidos de América permiten vislumbrar que el factor común continua. Según Shipp (1999), con base en un índice de potencial de desove que permite evaluar la capacidad que tiene la población para recuperar la parte de la población que se pierde por efecto de la pesca, señala que peces asociados a los arrecifes como el mero, el negrilla, el huachinango y el medregal tienen un potencial de desove que se encuentra en el límite del umbral para ser considerados sobrepescados. El negrilla madura a los 70 cm, sin embargo la talla mínima legal de captura es de 50 cm, lo cual significa que no se le permite reproducirse antes de ser capturado, con lo que no se garantiza que haya una población que recupere a los organismos que son pescados. Por si esto fuera poco, existe una tendencia al predominio de machos sobre hembras, al parecer por la dominancia agresiva de los machos, lo cuál además limita las posibilidades de reproducción.

El cazón también constituye algunas veces el descarte de los arrastres de camarón, en este caso según Shipp (1999), la población parece estar estable y no necesitar regulación alguna (NMFS 1997). El medregal es una de las especies que presentan confusión en cuanto a su identidad con al menos dos de sus congéneres, por lo que existe incertidumbre en cuanto a la historia de su vida.

La trucha marina manchada ha sufrido fuerte impacto al ser pescada tanto en aguas abiertas como internas en sus diferentes estadios de vida, utilizando diferentes artes de pescar como anzuelo, redes agalleras y redes de arrastre, lo cual dificulta su recuperación. No obstante, el gobierno ha planteado la meta de permitir un 30% de escape de los reclutas que se encuentran en las áreas de crianza estuarinas, para que logren llegar a las áreas de desove en mar abierto.

De acuerdo con Shipp (1999), la pesquería de sierra en 1997 parecía estar en un estado saludable; sin embargo a la fecha no se tiene información sobre

su estatus. Por el contrario la pesquería de atún aleta azul, cuya importancia para el Golfo de México es significativa, se encuentra en un estado severamente sobrepescado. La captura del atún aleta amarilla se incrementó en 1984, y hasta 1996 había permanecido en niveles altos (NOAA 1996).

En 1999, Shipp reportaba a *Mycteroperca microlepis* como la especie más sobrepescada del Golfo de México y lo atribuía a la alta mortalidad de organismos menores de un año de edad, provocada por los arrastres en los que se tiene como objetivo capturar camarón. Esta situación es difícil de controlar puesto que estos organismos pequeños habitan en el fondo junto con los camarones y no es sino hasta que alcanzan tallas de 15 a 20 cm, cuando se mueven hacia habitats arrecifales.

Casi todos los *stocks* de meros y chernas en el Golfo de México están en riesgo de colapso. En 1997 dos especies de mero (*Epinephelus negritus* y *Epinephelus drummondhayi*) fueron adicionados a la lista de especies en peligro por la National Marine Fisheries Service Office of Protected Resources. En el año 2000, 11 de las 15 especies de mero y chernas manejadas en el Golfo, fueron identificadas como vulnerables o en riesgo de extinción por la American Fisheries Society. Así mismo, el National Marine Fisheries Service en Miami, Florida, ha identificado a *Epinephelus morio* y *Epinephelus striatus* como sobrepescadas.

CAUSANTES DE LA PROBLEMÁTICA PESQUERA

El continuo incremento de la población humana y la necesidad de cubrir las demandas de tipo alimentario, de vivienda, económicas, recreativas y de educación, genera una serie de impactos que se traducen en la alteración del ambiente, cuyo efecto negativo para los recursos pesqueros es más notable en la zona costera, que constituye las áreas de crianza, reproducción y refugio de éstos recursos.

La zona costera recibe las descargas de aguas negras de los municipios ribereños y la parte alta de las cuencas a través de los ríos, conteniendo exceso de materia orgánica, coliformes, detergentes, cloro, desechos agroquímicos, industriales, etc., lo cual altera los ciclos biogeoquímicos indispensables para el desarrollo de la vida acuática.

En esta zona también se dejan sentir los efectos provocados por la deforestación que se produce tanto en áreas aledañas como cuenca arriba. La erosión de suelos que ésto provoca, incrementa la turbidez del agua y modifica los procesos de transporte y sedimentación, llegando en ocasiones

a bloquear las bocas de esteros que son el paso hacia el mar de diversos organismos que requieren condiciones marinas para completar su ciclo de vida, tales como el camarón. La disminución en la precipitación pluvial, que es otra consecuencia de la deforestación, altera los flujos de agua dulce hacia el mar, modificando las condiciones de salinidad requeridas para el desarrollo de diversas especies.

En la zona costera, la tala de manglar también produce una disminución de las áreas propicias para el desarrollo de los primeros estadios de vida de los peces.

La instalación de plataformas petroleras y termoeléctricas, así como las actividades inherentes al desarrollo del turismo, constituyen también fuentes de alteración o pérdida del hábitat marino.

La actividad marítima en los puertos, el dragado, los derrames de combustibles y aceites, y la introducción de flora y fauna exóticas a través de las aguas de sentinas, se agregan a la larga lista de impactos antropogénicos.

Con todos estos impactos, además de los eventos naturales entre los que destacan: mareas rojas, huracanes, tormentas tropicales, nortes, suradas, niños, surgencias, etc., los recursos pesqueros requieren continuamente adecuar sus poblaciones, lo que se traduce en un descenso notable en las capturas.

Conforme se incrementa el desarrollo tecnológico en lo que a equipos y artes de pesca se refiere, la accesibilidad a los recursos pesqueros incrementa, pero no así la disponibilidad de los mismos por las razones arriba señaladas, ésto conlleva a un notable incremento en el esfuerzo invertido, para obtener a cambio una mínima ganancia económica, dirigiendo en ocasiones más esfuerzo hacia unos cuantos recursos.

Aún más, la extracción de los recursos pesqueros está sometida a las relaciones oferta-demanda que determina el consumidor, y en múltiples ocasiones éstas se dirigen hacia los estadios de vida huevo, cría o juvenil de los recursos, (huevo de lisa o naca, cría de charal, juvenil de camarón, etc).

Evidentemente, es urgente asumir las responsabilidades de la actividad pesquera y su impacto en consecuencia hacia otros componentes del ecosistema.

En el Golfo de México la actividad pesquera refleja el problema de pobreza y demografía. Las familias depauperadas migran hacia las áreas costeras en busca de satisfactores. De inmediato la pesca local sufre el “Efecto de los Comunes” o efecto del “bien común” donde más demandantes obtienen cada vez menos hasta llegan al agotamiento. En la última década el crecimiento poblacional de la costa ha sido de más del doble del crecimiento

demográfico nacional. En esto, el país parece repetir un proceso de migración hacia la costa como producto de búsqueda de actividades recreacionales y turismo que exacerban el problema de demanda de productos del mar. Sin embargo, esta última situación debe verse como una alternativa de desarrollo a través del fomento de la maricultura.

MARCO CONCEPTUAL PARA EL MANEJO DE LAS PESQUERÍAS

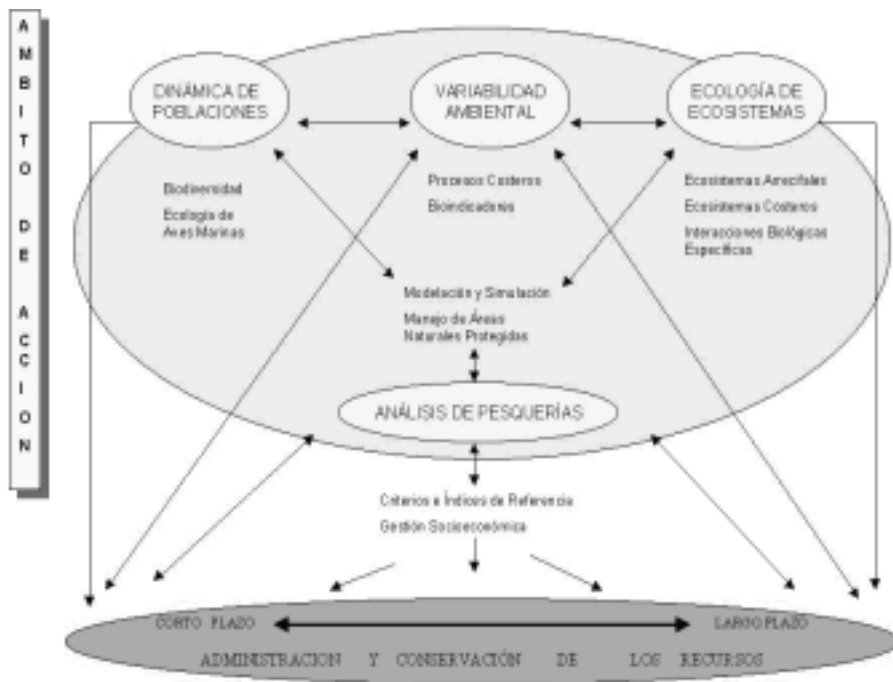
La alta diversidad de las especies explotables en el Golfo de México y la diversidad de hábitat en los que éstas se desarrollan a través de sus diferentes estadios de vida, obliga a abandonar la visión de recursos pesqueros aislados y adentrarse en el conocimiento profundo de los procesos que se suceden dentro del ecosistema del que forman parte, además de considerar los ciclos ambientales, económicos y políticos a que esta sujeta la pesca; todo lo cual tiene que ver con el análisis de variables de tipo ambiental, ecológico, tecnológico, socioeconómicos y políticas (figura 2).

Este tipo de información, indispensable para soportar el manejo de las pesquerías, puede ser generada en el seno de un grupo de investigación multidisciplinario, con capacidad de análisis y evaluación de riesgos ante la toma de cualquier decisión. Evidentemente esto requiere de una planeación en la investigación, de voluntad, compromiso y cooperación. Así como de la generación de criterios e índices de referencia comprensibles tanto para el tomador de decisiones como para el usuario y público en general.

El manejo de los recursos acuáticos requiere además de la participación de los usuarios y las autoridades en materia de pesquerías, ordenamiento ecológico, conservación, legislación ambiental, economía, etc. contribuyendo cada disciplina para la emisión de una respuesta conjunta. De la misma manera, la decisión sobre aplicar cualquier medida de manejo de los recursos pesqueros, debe estar sustentada en la investigación científica y ser consensada tanto por los usuarios del recurso como por las autoridades locales, regionales, estatales, federales e incluso internacionales cuando el recurso lo amerite. Además de ello, es importante que una medida no implique la restricción de alguna actividad sin tener alguna otra actividad alternativa, solo ello y la garantía de obtener a cambio un beneficio que conduzca a elevar la calidad de vida de la comunidad humana usuaria, garantizará que cualquier norma que se aplique tenga éxito.

La administración pesquera no puede normar los recursos en forma aislada sin provocar alteraciones en otros recursos asociados del mismo u otro

FIGURA 2. SE PRESENTA EN FORMA ESQUEMÁTICA LA NECESIDAD DE VINCULAR LA TOMA DE DECISIONES EN EL LARGO Y CORTO PLAZO TANTO CON LA INFORMACIÓN BIOLÓGICA COMO CON LA SOCIAL Y ECONÓMICA. LA TOMA DE DECISIONES DEBE INCLUIR TANTO EL CONCEPTO DE APROVECHAMIENTO COMO EL DE CONSERVACIÓN DEL RECURSO. EL ESQUEMA PROPONE ENTENDER QUE SI BIEN LAS DECISIONES DE CORTO PLAZO ESTÁN DETERMINADAS POR LA NECESIDAD DEL APROVECHAMIENTO Y DE LA RESPUESTA POBLACIONAL A LA PESCA, ESTAS ÚLTIMAS OBEDECEN A PROCESOS EVOLUTIVOS Y COEVOLUTIVOS DE LA VARIABILIDAD AMBIENTAL Y LOS ECOSISTEMAS EN QUE SE INTEGRAN



ecosistema. Ejemplos de ello son la fauna de acompañamiento que en ocasiones llega a registrar proporciones de diez partes por una de las especies objetivo; la captura incidental, que en ocasiones se convierte en especie objetivo; el impacto de los arrastreros sobre las comunidades bentónicas; o las alteraciones sobre especies nativas, derivadas de la introducción y traslocación de especies para la acuicultura (DOF 2000). Todo ello dificulta

que se tenga la suficiente reglamentación para explotar adecuadamente los recursos, por lo que se adoptan medidas de recursos similares que en ocasiones no es lo más conveniente. Así, la necesidad de una normalización consensada por los gobiernos de los diferentes países es preponderante.

No es posible seguir reproduciendo esquemas concebidos en el pasado en una realidad diferente. Actualmente, debe predominar la visión de manejo integral y se debe trabajar para lograr un desarrollo socialmente justo, económicamente sostenible y ambientalmente viable.

Dado el agotamiento de los recursos que tradicionalmente se han venido explotando, es momento de mirar hacia aquéllos recursos que como las algas marinas tienen un potencial en la biotecnología. Asimismo, es importante seguir explorando e investigando para lograr el cultivo y la explotación de especies económicamente más rentables que la tilapia, trucha y ostión. La fauna de acompañamiento que tiene un bajo o nulo valor en el mercado, tiene un valor nutricional comparable al valor de las especies objetivo, por lo que es recomendable investigar acerca de procesos de industrialización de éstos y otros productos marinos que proporcionen un valor agregado. En términos de conservación y presentación de los productos pesqueros que también proporcionan un valor agregado y son elemento clave en la competitividad en el mercado, aún falta mucho por desarrollar. Si se desea que la posición de la pesca mejore, es momento de dar un giro de la consideración de pesca de subsistencia a la de microempresas pesqueras; ésto sólo se podrá lograr a través de la generación de proyectos productivos, sustentados en investigación científica, que deberán estar asociados a un cambio en la visión de las comunidades pesqueras, quienes deberán asumirse como pequeños empresarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Anuario Estadístico de Pesca* 2001. Comisión Nacional de Pesca. SAGARPA, México.
- Arenas, F.P. y Díaz de León, C.A. (eds.). 1999. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. 1997-1998*. SEMARNAP. Instituto Nacional de la Pesca. 670 pp.
- Breton, Y. 2002. Pesquerías artesanales: Resiliencia y transformaciones en la transición manejo pesquero-manejo costero. En: López, F.G. (ed.). *Aquamar Internacional*. Cancún, Quintana Roo. México.
- Carta Nacional Pesquera. 2000. *Diario Oficial de la Federación*. Tomo DLXIII. No. 20.

- Casey J. M. y Myers R. A. 1998. Near extinction of a large, widely distributed fish. *Science* 281: 690-692
- Field C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T. y Falkowski P. 1998. Primary Production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281: 237-240.
- INEGI. 1999. Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. Tomo II. INEGI. Gobierno del Estado de Veracruz. 906 pp.
- Jackson, J. B. C. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-638.
- Mendoza, N. A. y S. Sánchez. 1997. Organización del Sector Pesquero. En: Flores, H. D., Sánchez, P., Seijo, J. y F. Arreguín. (eds.). *Análisis y diagnóstico de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie Científica 7. 496 pp.
- Myers R. A. y B. Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 423:280-283.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). 1997. 1997 Shark Evaluation Annual Report. Southeast Fisheries Science Center. Summary.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 1996. Our Living Oceans. Technical Report, NMFS-F/SPO-19.
- Shipp, R. 1999. Status of exploited fish species in the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem. Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. 196-204 pp.
- Watson, R. y Pauly D. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414: 534-536.
- Weiss, R. 2003. Key Ocean Fish Species ravaged, study finds. *Paper of the Washington Post*. Thursday, May 15, 2003. Página A01.
- Worn B. y Myers R. A. 2003. Meta-analysis of cod-shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. *Ecology* 84: 162-173.

HIPOXIA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Nancy N. Rabalais

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente preocupación alrededor del mundo en lo que respecta a la sobreproducción de nutrientes provenientes de diversas fuentes y los efectos ecológicos dominantes que éste tiene en las áreas costeras y estuarinas. Aunque hay una gran cantidad de cambios que pueden ocasionar el aumento en la acumulación de materia orgánica en un sistema marino (eutrofización, según la define Nixon [1995]), el factor independiente más común en esta situación es el aumento en la cantidad de nitrógeno y fósforo que reciben las aguas marinas. Con el aumento de la población mundial, su localización en regiones costeras y la expansión agrícola en las cuencas de los ríos, la eutrofización se está convirtiendo en un problema ecológico mayor en todas las aguas costeras del mundo. El ser humano ha alterado los ciclos globales del nitrógeno y el fósforo en vastas regiones y ha aumentado la movilidad y disponibilidad de estos nutrientes dentro de los ecosistemas marinos (Peierls *et al.* 1991, Howarth *et al.* 1996, Vitousek *et al.* 1997, Caraco y Cole 1999). Este ingreso de sustancias controladas por los humanos es el resultado de sus actividades, en particular de la aplicación de fertilizantes con nitrógeno y fósforo, la fijación de nitrógeno de los cultivos de leguminosas y la deposición atmosférica de nitrógeno oxidado proveniente de la quema de combustibles fósiles. Los cambios en las proporciones relativas de

estos nutrientes, así como de los silicatos, pueden exacerbar la eutrofización, favorecer el florecimiento nocivo de algas y agravar las condiciones de falta de oxígeno (Officer y Ryther 1980, Smayda 1990, Conley *et al.* 1993, Turner *et al.* 1998).

El exceso de nutrientes conduce a una degradación de la calidad del agua producida por el aumento del fitoplancton y por el crecimiento de algas filamentosas. Las cargas de nutrientes cada vez más abundantes son la causa de algunos de los brotes de algas nocivas o dañinas (HAB, por sus siglas en inglés), incluyendo las formas tóxicas. Los efectos secundarios incluyen una mayor turbidez o aguas escasas en oxígeno (= hipoxia), lo cual eventualmente genera una pérdida de hábitat con sus respectivas consecuencias en la biodiversidad marina. A lo largo de las últimas dos décadas, se ha vuelto cada vez más evidente que los efectos de la eutrofización, incluyendo la falta de oxígeno, no son situaciones menores y localizadas, sino que tienen implicaciones de gran escala y que se están extendiendo rápidamente (Díaz y Rosenberg 1995, Nixon 1995).

El agua con menos de 2 mg l^{-1} de oxígeno disuelto es considerada hipóxica. La hipoxia se da de manera natural en muchos entornos marinos del mundo, como los fiordos, cuencas profundas, zonas de mar abierto de oxígeno mínimo y zonas de oxígeno mínimo asociadas con sistemas de surgencia, como sucede alrededor de la plataforma de Yucatán (Kamykowski y Zentara 1990). Las aguas hipóxicas y anóxicas (sin oxígeno) han existido a través de las eras geológicas, pero su aparición en áreas costeras poco profundas y en estuarios parece ir en aumento (Díaz y Rosenberg 1995). Este capítulo se enfoca en éstas áreas del Golfo de México.

DISTRIBUCIÓN DE LA HIPOXIA EN LOS ESTUARIOS DEL NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO

No todos los sistemas costeros con cargas elevadas de nutrientes conducen al proceso de eutrofización o al desarrollo de hipoxia. Muchos ríos vierten grandes cantidades de agua dulce cargada con nutrientes y carbón orgánico, pero no aparecen zonas de productividad aumentada por los nutrientes y/o hipoxia/anoxia de las aguas del fondo. Resulta más probable que los procesos de un aumento en la biomasa de fitoplancton, acumulación de carbono y falta de oxígeno se presenten en sistemas estuarinos o costeros, caracterizados por un mayor tiempo de residencia del agua, y columnas estratificadas, ya sea controladas por la salinidad, la temperatura o ambas.

La cantidad de sedimentos suspendidos que se depositan en un sistema costero, también influye en la mayor producción ocasionada por un ingreso elevado de nutrientes.

El volumen de descarga de agua dulce, excluyendo la carga de nutrientes, puede influir en el tiempo de residencia, la estratificación, la turbidez y la dilución de nutrientes. Los años en que el río Misisipi tiene un mayor flujo, ocasionan una estratificación intensificada en la plataforma continental adyacente, mayor biomasa de clorofila y una hipoxia de aguas del fondo más diseminada (Rabalais *et al.* 1998). En otros estuarios, como el del río Hudson, los años con fuertes descargas ocasionan un menor tiempo de residencia, aumento en la turbidez, menor estratificación, menor producción primaria y menor eutroficación (Howarth *et al.* 2000). Sin embargo, la descarga de este río en la plataforma continental de la caleta de Nueva York, tendría resultados similares al flujo del Misisipi con una mayor estratificación, biomasa de clorofila e hipoxia de aguas de fondo (Swanson y Sindermann 1979, Whitedge 1985).

Entre los estuarios de Estados Unidos de América, los que se encuentran en el Golfo de México presentan características que los vuelven más propensos a desarrollar hipoxia que los que se encuentran en las costas este y oeste (figura 1) (Turner 2001). El rango de población dentro de la cuenca, que es un buen factor de predicción de la carga de nutrientes, es similar en los estuarios del Golfo y los demás. La profundidad promedio de los estuarios del Golfo de México es menor que la de otros estuarios en EE.UU., característica que permitiría la mezcla generada por el viento y reduciría la probabilidad de estratificación e hipoxia. Sin embargo, los rangos menores de mareas y los mayores rangos de acumulación de sedimentos, aumentan el tiempo de residencia del agua y la acumulación de materia orgánica. Asimismo, el clima subtropical de los estuarios del Golfo de México, comparado con los del resto de los EE.UU., aumenta el ritmo de los procesos biológicos, incluyendo la fotosíntesis y la respiración.

HIPOXIA ADYACENTE A LOS RÍOS MISISIPI Y ATCHAFALAYA

La zona más grande de aguas costeras con poco oxígeno en los Estados Unidos de América, y en todo el extremo occidental del océano Atlántico está en la parte norte del Golfo de México, en la plataforma continental de Louisiana/Texas; un área que se encuentra bajo la influencia de la descarga de agua dulce y la carga de nutrientes del sistema del Misisipi (figura 2)

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LOS ESTUARIOS EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE MÉXICO CON HIPOXIA (AMARILLO) O ANOXIA (ROJO) EN ALGÚN MOMENTO DURANTE EL AÑO (DE BRICKER ET AL. 1997).

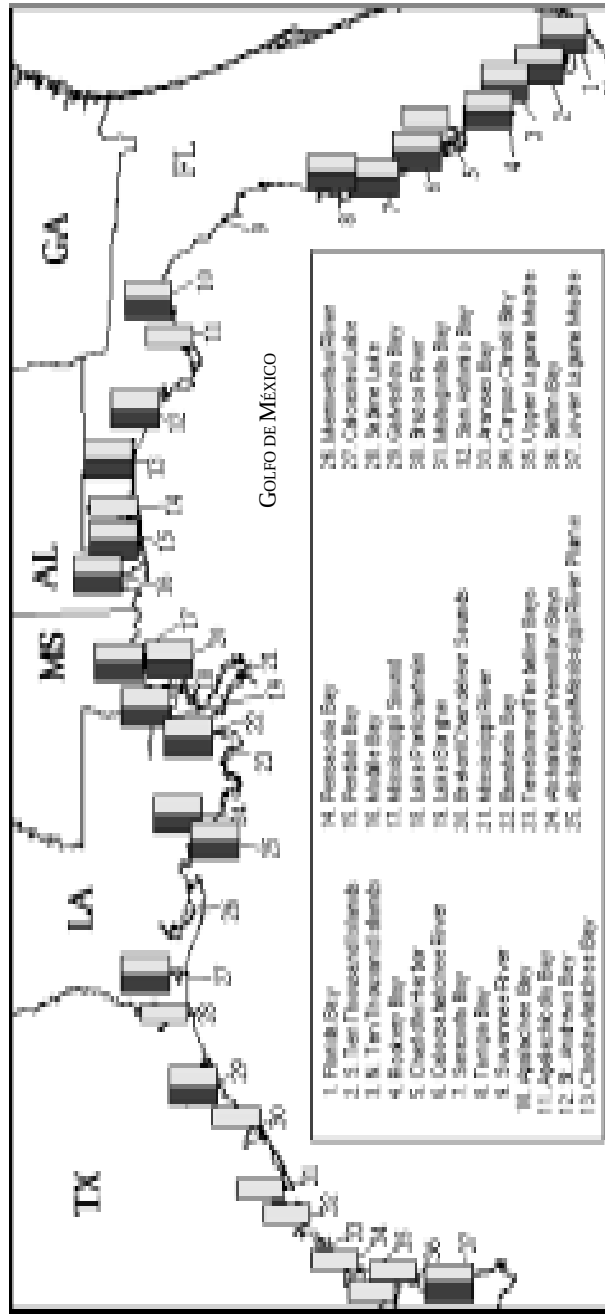


FIGURA 2. DRENAJE Y USO DE LA TIERRA EN LA ZONA DEL MISISIPÍ (MODIFICADO A PARTIR DE GOOLSBY ET AL. 1999) CON EL ÁREA DE HIPOXIA DEL 2001 SOBREPUESTA



Fuente de datos: N. Rabalais.

(Rabalais y Turner 2001). La extensión de la aireación de fondo de las aguas hipóxicas a mediados del verano ($=2 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$) en el periodo 1985-1992 tuvo un promedio de 8,000 a 9,000 km^2 , pero aumentó hasta un rango de entre 16,000 y 20,000 km^2 de 1993-2002 (figuras 3 y 4). Las aguas hipóxicas son las que prevalecen desde finales de la primavera hasta finales del verano, y la hipoxia está más extendida y es más persistente en unos años que en otros. Estas aguas se distribuyen desde profundidades bajas cerca de la costa (de 4 a 5 m) hasta 60 m, pero aparecen típicamente entre los 5 y los 30 m. Aunque la hipoxia se da principalmente en la columna de agua inferior, puede abarcar desde la mitad hasta los dos tercios inferiores. La hipoxia se empieza a

desarrollar por debajo de la picnoclina entre mediados y finales de la primavera, y después se expande e intensifica a lo largo del verano hasta que la actividad de tormentas tropicales o una serie de frentes fríos altera la estratificación, lo cual permite que la columna se vuelva a mezclar. El desarrollo de la eutrofización y la hipoxia está relacionado con la carga de nutrientes de los ríos, principalmente en forma de nitratos, los cuales aumentaron en la segunda mitad del siglo veinte. Las aguas enriquecidas con nutrientes estimulan la producción *in situ* de material orgánico que, cuando se hunde a la capa inferior, consume oxígeno más rápido de lo que lo puede reemplazar por mezcla vertical a través de la columna estratificada. Los cambios en el ecosistema costero están directamente relacionados con los cambios dentro de la zona que recibe el agua y con la carga de nutrientes. Los aumentos de producción de algas y el agravamiento de la hipoxia son paralelos a los aumentos de los flujos de nutrientes.

El sistema del río Misisipi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México a través de dos distribuidores principales, el delta ramificado principal al sureste de la ciudad de Nueva Orleans, Luisiana y el delta del río Atchafalaya, 200 km al oeste que lleva aproximadamente una tercera parte del flujo (figura 1) (Meade 1995). El agua dulce, los sedimentos y los materiales disueltos y particulados son transportados principalmente en dirección oeste a lo largo de la plataforma continental interna y media de Luisiana/Texas, especialmente durante la descarga pico de la primavera. La reversión de la corriente hacia el este en el verano, durante la descarga baja, ayuda a mantener el agua dulce y sus componentes en la plataforma continental. Aunque el área de influencia de la descarga es una plataforma continental abierta, la magnitud del flujo, el régimen anual de corrientes y el promedio de 75 días de residencia para el agua dulce producen un estuario sin límites, estratificado durante la mayor parte del año. Esto se debe principalmente a las diferencias de salinidad con una intensificación de la estratificación durante el verano causada por el calentamiento de la superficie. El flujo del Misisipi y del Atchafalaya es tan grande que hace ver pequeños a todos los demás sistemas que aportan agua dulce. Estos dos ríos son las fuentes fluviales primarias de agua dulce de la plataforma continental de Luisiana (Dinnel y Wiseman 1986) y del Golfo de México (80% del flujo de agua dulce de los ríos estadounidenses drenan al Golfo) [Dunn 1996].

Dunn (1996) estimó el aporte de nutrientes de 37 arroyos que drenan al Golfo de México para los años de 1972 a 1993. Con respecto a estos 37

FIGURA 3. CONTORNOS DEL OXÍGENO DEL AGUA DE FONDO PARA LOS CRUCEROS DE MEDIADOS DE VERANO EN 1986, 1993 Y 1998. EL ÁREA DONDE EL OXÍGENO DISUELTO ES MENOR A 2 mg L^{-1} ESTÁ SOMBREADA (FUENTE DE DATOS: N. RABALAIS).

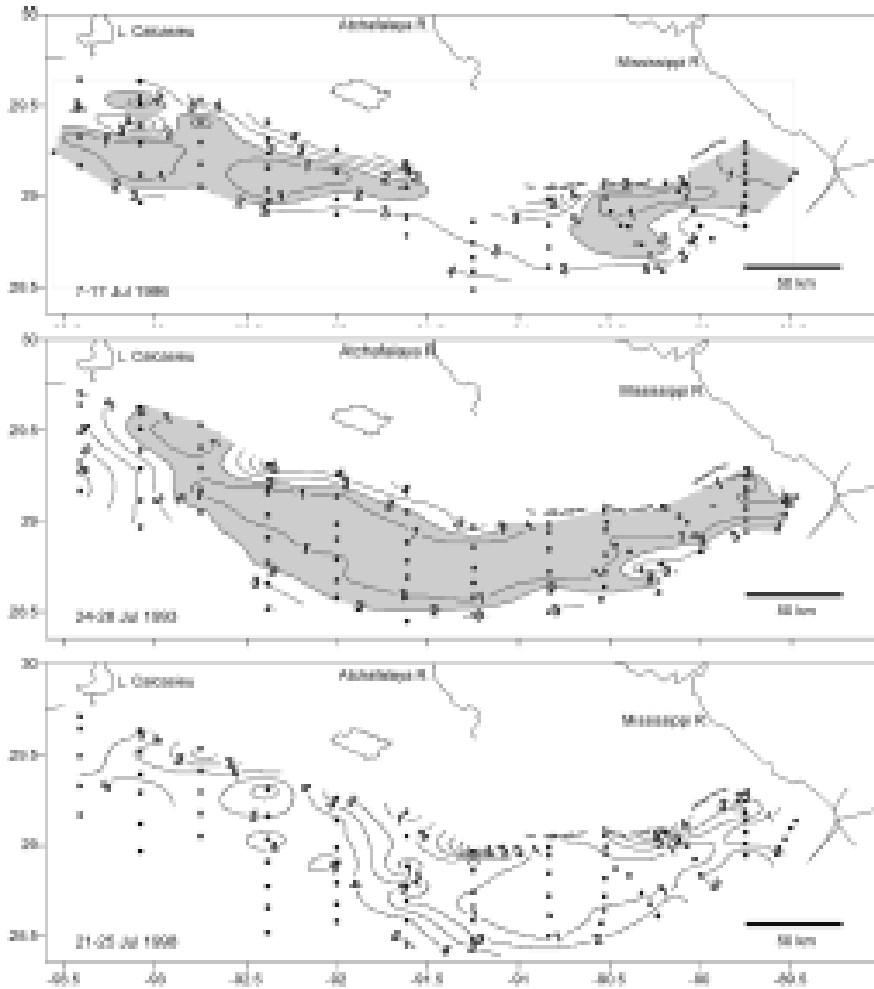
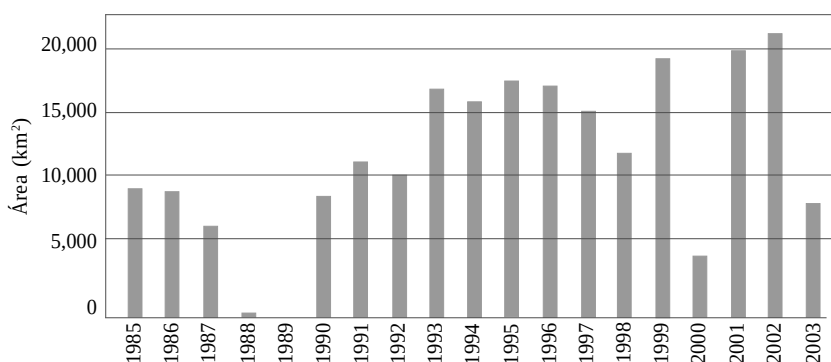


FIGURA 4. EXTENSIÓN ESTIMADA DEL ÁREA DE HIPOXIA EN AGUAS DE FONDO ($=2 \text{ mg L}^{-1}$) PARA CRUCEROS DE MEDIADOS DE VERANO ENTRE 1985 Y 2003 (ACTUALIZACIÓN DE RABALAIS *ET AL.* 1999, RABALAIS Y TURNER 2001). LOS AÑOS DE 1988 Y 2000 FUERON AÑOS DE SEQUÍA (EN VERANO Y PRIMAVERA, RESPECTIVAMENTE) EN LA ZONA DEL RÍO MISISIPÍ. UNA SERIE DE TORMENTAS TROPICALES ALTERARON LA ESTRATIFICACIÓN Y LA HIPOXIA EN 2003. (FUENTE DE DATOS: N. RABALAIS).



arroyos pertenecientes a los estados de Texas y Florida, los flujos combinados de los ríos Misisipi y Atchafalaya representan el 91% de la carga total estimada de nitrógeno. Si se consideran solamente los arroyos entre la Bahía de Galveston (Texas) y el delta del Misisipi, es decir los que probablemente tienen influencia en la zona de hipoxia, los flujos combinados del Misisipi y el Atchafalaya representan el 96% de la descarga anual de agua dulce y el 98.5% de la carga total de nitrógeno. Algunos cálculos similares para la carga anual total de fósforo indican que representan el 88% del total de los 37 arroyos, y el 98% de los ríos entre la Bahía de Galveston y el delta del Misisipi en cuanto a la contribución relativa de los ríos Misisipi y Atchafalaya.

El agua que recibe el río Misisipi representa el 41% del total correspondiente a 48 estados de la zona sur de los EE.UU., y drena un área de 3.2 millones de km². El uso de la tierra en esta área, que mantiene al 27% de la población estadounidense (alrededor de 70 millones de personas), es predominantemente agrícola (figura 2) (Goolsby *et al.* 1999). Esto empezó a

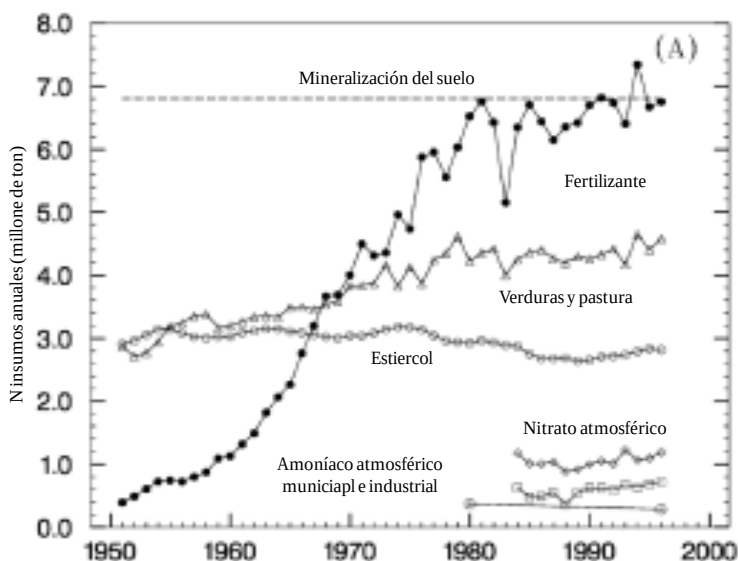
suceder a principios del siglo diecinueve, cuando los colonos emigraron hacia el oeste y atravesaron el continente norteamericano (Turner y Rabalais 2003). Para mediados del siglo diecinueve, conforme la producción aumentó en la tierra cultivada el centro de población se encontraba en los estados centro occidentales y se convirtió en lo que ahora se conoce como la “canasta de pan” de la nación. Dentro de la cuenca del Misisipi, el 56% de las marismas se han convertido en tierras para agricultura, espacios para navegación, presas y diques. El drenaje artificial bajo la superficie en muchas de las tierras de cultivo expedita el transporte de nitratos desde el suelo a las aguas superficiales. Esta práctica, junto con el aumento del uso de fertilizantes, incrementa el flujo de nitratos de los campos agrícolas a las aguas subsidiarias que recibe la cuenca del Misisipi. Este río también ha sido modificado para la navegación y control de inundaciones con diques que se extienden a lo largo del río desde Cairo, Illinois hasta el Golfo de México.

Además de los cambios al paisaje, el aporte antropogénico de nitrógeno y fósforo ha aumentado a raíz de la agricultura, de las fuentes puntuales y de la deposición atmosférica. La descarga anual del sistema del Misisipi contribuye con un total de sedimentos de 210×10^6 ton, 1.6×10^6 ton de nitrógeno, de los cuales 0.95×10^6 ton es nitrato, y 0.58×10^6 t es nitrógeno orgánico; 0.1×10^6 ton corresponde a fósforo y 2.1×10^6 ton a sílice (Goolsby *et al.* 1999). El cálculo de exportación de nitrógeno por las aguas del río sobre las aguas “puras” de otros ríos (en condiciones preagricultura y preindustria), representa un aumento de 2.5 a 7.4 veces esta cantidad (Howarth *et al.* 1996). Las actividades agrícolas son las que contribuyen de forma más importante al ingreso de nitratos a los arroyos y, de todas las entradas de nitrógeno a las tierras de cultivo, desde la década de los 50 sólo han aumentado los fertilizantes y las leguminosas (figura 5). La concentración promedio y el flujo de nitrógeno (por unidad de volumen de descarga) aumentó de 1950 a 1980, principalmente en la primavera. Este resultado es consistente con el uso de fertilizantes en la cuenca (Turner y Rabalais 1991).

Debido a que la cantidad de agua dulce recibida (que afecta la estratificación) y la carga de nitrógeno (que afecta la producción primaria) influyen en la distribución y dinámica de la hipoxia, es importante entender la variabilidad interanual de la descarga, ya que afecta los procesos biológicos estacionales. A través de dos diferentes enfoques, Donner *et al.* (2002) y Justiae *et al.* (2003) concordaron que entre un 20 y 25% del aumento en el flujo de nitratos entre la mitad de la década de los 60 y mediados de los 90 es atribuible a una mayor erosión de las tierras adyacentes y a la descarga del

río, mientras que el resto se debe a un aumento en la carga de nitrógeno en el entorno. Con las concentraciones de nitratos en el bajo Misisipi estabilizadas alrededor de 100 μM desde principios de los años 90, los cambios causados por el clima en la descarga, tienen una clara influencia en la aparición

FIGURA 5. INGRESO ANUAL DE NITRÓGENO A PARTIR DE LAS FUENTES PRINCIPALES EN LA CUENCA DEL MISISIPÍ, 1951-1996 (DE GOOLSBY *ET AL.* 1999)



estacional de la hipoxia.

La evidencia de conjuntos de datos a largo plazo y del registro sedimentario demuestra que los indicadores de un aumento en la productividad de los ecosistemas marinos, es decir, la eutrofización de las aguas de la plataforma continental y el subsecuente empeoramiento del estrés de oxígeno en las aguas de fondo, están altamente correlacionados con los incrementos históricos de la concentración y la carga de nitrógeno inorgánico disuelto en los ríos a lo largo de los últimos 50 años (Rabalais *et al.* 2002). Las pruebas se pueden observar en los cambios a largo plazo en la profundidad del disco de Secchi y en la productividad de diatomeas; aumento en la

acumulación de restos de diatomeas y el carbono de origen marino en los sedimentos; y aumento de la presencia de sustitutos que empeoran las condiciones del oxígeno en los sedimentos: abundancia de glauconita, foraminíferos bénticos y ostrácodos. Los datos de los sedimentos indican que la hipoxia no era una característica de la plataforma continental antes de 1900 y que ésta *podría* haber existido en cierto grado antes del periodo entre 1940 y 1950; sin embargo, ha empeorado a partir de entonces. Algunos modelos recientes de las dimensiones e intensidad de la hipoxia relacionada con el flujo de nitratos del Misisipi (Justiæ *et al.* 2002, Scavia *et al.* 2003, Turner *et al.* 2003) indican que la hipoxia como fenómeno difundido probablemente no existía en la plataforma de Luisiana antes de 1970.

La zona hipóxica del norte del Golfo de México cae dentro de una importante área comercial y de pesca recreativa. Según progresa la privación de oxígeno, la capacidad de los organismos para residir, o incluso sobrevivir, ya sea en el fondo o dentro de la columna de agua se ve afectada (Rabalais y Turner 2001). Cuando los niveles de oxígeno caen por debajo de los valores críticos, los organismos capaces de nadar (como los peces demersales, cangrejos portunidos y los camarones) evacuan el área. El estrés en la fauna menos móvil varía, pero también experimenta estrés en diferentes niveles, y puede incluso llegar a morir conforme las concentraciones de oxígeno descienden a cero. Importantes recursos pesqueros se ven afectados de forma variable por la mortalidad directa, la migración forzada, la reducción del hábitat adecuado, el aumento en la susceptibilidad a la depredación, los cambios en los recursos alimenticios y la disrupción de los ciclos de vida. Los efectos de la eutrofización, incluyendo la hipoxia, son bien conocidos en algunos sistemas, e incluyen la pérdida de pesquerías comercialmente importantes (por ejemplo, los casos del Mar Báltico y el Mar Negro). Los impactos a muchos niveles del aumento de nutrientes y la creciente hipoxia no se conocen para muchos componentes de la productividad en el Golfo de México, incluyendo los componentes pelágicos y bénticos; los componentes primarios y secundarios de la red trófica; y finalmente, el rendimiento pesquero. No obstante, se debe considerar una cama marina de 20,000 km² usualmente productiva, donde la pesca de peces y camarones con redes de arrastre no existe por periodos prolongados en el verano. Aunque no han habido pérdidas catastróficas en los recursos pesqueros en el norte del Golfo de México y, de hecho, ha habido un aumento en la abundancia de ciertos componentes pelágicos, es importante prestar atención a los impactos potenciales del empeoramiento de la hipoxia en las especies importantes ecoló-

gica y comercialmente, así como a los procesos ecológicos alterados.

PROBABILIDADES DE HIPOXIA EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

El único sitio mencionado por Díaz y Rosenberg (1995 y actualizaciones subsecuentes) en México es la laguna de Nichupté, en Cancún, que experimenta hipoxia las 24 horas del día a lo largo del año, debido a una carga orgánica excesiva y sobrepoblación de algas (E. Escobar, comunicación personal). Otras lagunas, especialmente aquellas con camas extensas de pastos marinos, como la Laguna Madre de Tamaulipas, la Laguna de Tamiahua y la Laguna de Términos, probablemente también sean hipóxicas las 24 horas del día, de manera similar a otros hábitats de pastos marinos que durante la noche tienen ritmos de respiración que exceden su capacidad de surtir de oxígeno atmosférico. Sin embargo, este proceso es algo natural en estos hábitats. El daño potencial de los pastos marinos, debido a los procesos de eutrofización se debe al exceso de nutrientes que provoca el crecimiento de algas filamentosas o al efecto oscurecedor provocado por la excesiva biomasa de fitoplancton en la columna de agua. Ambos tipos de crecimiento excesivo conducen a un decremento de los pastos marinos y del hábitat esencial que representan para otros organismos, incluyendo su papel como área de crianza para importantes especies comerciales en sus primeras etapas de desarrollo.

Cualquier puerto cerrado o estuario con un flujo restringido que reciba drenaje tratado o sin tratar, aguas provenientes de tierras de siembra o depósitos de nitrógeno provenientes de la quema de combustibles fósiles (plantas eléctricas, vehículos), es susceptible de presentar hipoxia. El flujo de nutrientes y materiales que requieren de oxígeno es proporcional a la población en el área que surte agua al estuario. Aunque no se tienen datos que lo sustenten, es probable que algunos candidatos sean Veracruz y La Habana, así como otros sitios que reciben un flujo de agua dulce, como los puertos de Tuxpan con el río Tuxpan; Tampico, con el Pánuco y Coatzacoalcos con el río del mismo nombre.

En el caso de los ríos Coatzacoalcos, al suroeste de la bahía de Campeche, y el sistema Grijalva-Usumacinta y Champotón al sureste de la misma bahía, ambos ríos grandes que desembocan en el sur del Golfo de México, se podría desarrollar hipoxia costera si hubiera estratificación y acumulación de biomasa de fitoplancton. Hay una transición continua de sedimentos terrígenos a sedimentos carbonatados en la plataforma de Campeche a lo

largo de estas desembocaduras en dirección poniente-oriente. Los sedimentos terrígenos que dominan la plataforma adyacente al Coatzacoalcos apuntan hacia cierto nivel de acumulación de sedimentos que resultaría de un giro ciclónico casi permanente que también puede conducir a la hipoxia en caso de que exista suficiente carga de nutrientes y una incrementada productividad primaria. A la fecha, no se ha documentado la hipoxia en el área. No obstante, la falta de metazoarios y fauna béntica en los alrededores del delta del Coatzacoalcos en verano y un mayor contenido orgánico en los sedimentos indican que es probable que sí haya hipoxia (E. Escobar, comunicación personal). En la plataforma de Campeche adyacente a los ríos Grijalva-Usumacinta, hay más sedimentos terrígenos hacia el interior de la costa donde se puede desarrollar hipoxia en contraste con los sedimentos carbonatados hacia el exterior donde la corriente paralela a la costa promueve la mezcla.

CONCLUSIÓN

La mayoría de los sistemas marinos responden a un incremento en el ingreso de nutrientes con un aumento en la producción primaria. Si la productividad superficial se ve aumentada en especies que son preferidas por la comunidad de especies de zooplankton, entonces es probable que haya un aumento en la productividad de las poblaciones pelágicas y demersales que dependen, ya sea de las células vivas, o del material de desecho que se va al fondo. Sin embargo, existe un umbral en el que la carga de nutrientes y el carbono producido en un sistema marino pueden exceder la capacidad de asimilación, lo cual se manifiesta en la degradación de la calidad del agua con sus consecuentes efectos negativos en los componentes del ecosistema y su funcionamiento. La falta prolongada de oxígeno puede causar mortalidad masiva en la vida acuática, alterar las comunidades que habitan ahí, reducir la diversidad biológica, impactar la capacidad del sistema para sostener poblaciones biológicas, y alterar los ciclos naturales de los elementos.

Las comparaciones entre ecosistemas a lo largo de un gradiente de creciente enriquecimiento de nutrientes y la eutrofización o cambios de un ecosistema específico a lo largo del tiempo en un gradiente que tiende hacia el aumento en la eutrofización, proporcionan información sobre cómo el enriquecimiento en nutrientes afecta a las comunidades costeras. Caddy (1993), en un resumen sobre los mares semicerrados, demostró que hay una relación directa entre la productividad pesquera como respuesta al aumen-

to en la eutrofización. Donde hay pocos nutrientes, la productividad pesquera es baja. Conforme la cantidad de nutrientes aumenta, aumenta también la productividad. Cuando sigue aumentando la eutrofización, se da una reducción en la productividad, pero ésta es variable. Los organismos bénticos son los primeros recursos que se reducen por el aumento en la frecuencia de la hipoxia estacional y eventualmente la anoxia, seguida por los peces que se alimentan en el fondo. La pérdida de pesca planctívora continúa conforme aumenta la eutrofización, lo cual eventualmente generará un cambio en la composición de la comunidad de zooplancton. No se sabe en qué punto de este ciclo se encuentra la actividad pesquera en el Golfo de México donde existe una creciente eutrofización.

Conforme las aguas costeras de los EE.UU. y el mundo se vuelven hipóxicas, o con el aumento de la severidad de la hipoxia en los lugares donde ya existe —una trayectoria propuesta por muchos investigadores y administradores de recursos— ¿qué sucederá con los hábitat, los recursos básicos, las redes alimenticias y, finalmente, con los recursos importantes para el consumo humano? El Golfo de México no es el único en el mundo con estas características, ni es inmune a los impactos negativos del incremento en la hipoxia. A pesar de que no ha habido pérdidas catastróficas en los recursos pesqueros en el norte del Golfo y, de hecho, hay aumentos en la abundancia de ciertos componentes, los impactos potenciales del empeoramiento de las condiciones hipóxicas probablemente aparezcan, dada la experiencia en otros sistemas (por ejemplo, los mares Báltico y Negro), donde hubo una reducción drástica de especies importantes tanto desde el punto de vista ecológico como comercial.

Reducir el ingreso de nutrientes excesivos a aguas estuarinas y marinas para el mejoramiento de la calidad del agua costera, incluyendo la disminución en la hipoxia, requiere de voluntad individual, social y política. Las soluciones propuestas con frecuencia son controversiales y tienen un costo social y económico si se ven desde un punto de vista cerrado y a corto plazo. No obstante, se pueden integrar métodos poco costosos para reducir el uso e ingreso de nutrientes en un plan de administración que ocasione mejores hábitats y calidad del agua, tanto dentro de las cuencas como en los afluentes subsidiarios (National Research Council 2000). Los planes exitosos con una implantación favorable y resultados positivos traspasan fronteras geopolíticas. Ejemplos de estos resultados son: el Acuerdo de la Bahía de Chesapeake; los Planes de Administración y Conservación Comprensiva desarrollados en el programa de Estuarios Nacionales de EE.UU. para mu-

chos de los estuarios del país; el acuerdo de Long Island; los esfuerzos de Dinamarca, Holanda y Suecia; y la cooperación internacional entre las naciones alrededor del Báltico como parte de la Comisión de Helsinki (Boesch y Brinsfield 2000). Estos esfuerzos son generalmente más exitosos en la reducción de fuentes puntuales de nitrógeno y fósforo que con las fuentes múltiples de alta solubilidad e ingreso incrementado de nitrógeno atmosférico. Se han observado éxitos en la reducción de nutrientes, como el caso de la recuperación coralina en la Bahía de Kaneohe y en la mejoría de la claridad del agua y la recuperación de los pastos marinos en las bahías de Tampa y Sarasota (Smith 1981, Johansson y Lewis 1992, Sarasota Bay National Estuary Program 1995). El creciente deterioro de la calidad de las aguas costeras y los éxitos demostrados para la reducción de nutrientes, son razones suficientes para continuar y extender los esfuerzos para reducir el sobre-enriquecimiento de nutrientes y los efectos nocivos de la hipoxia.

BIBLIOGRAFÍA

- Boesch, D.F. y R. B. Brinsfield 2000. Coastal eutrophication and agriculture: contributions and solutions. Páginas 93-115. En: E. Balázs, E. Galante, J. M. Lynch, J. S. Schepers, J.-P. Toutant, E. Werner, y P. A. Th. J. Werry (eds.). *Biological Resource Management: Connecting Science and Policy*. Springer.
- S. Bricker, C. Clement, S. Frew, M. Harmon, M. Harrisa y D. Pirhalla 1997. NOAA's Estuarine Eutrophication Survey, Volumen 4: Gulf of Mexico Region. Silver Spring, MD: Office of Ocean Resources Conservation and Assessment.
- Caddy, J. F. 1993. Toward a comparative evaluation of human impacts on fishery ecosystems of enclosed and semi-enclosed seas. *Reviews in Fisheries Science* 1: 57-95.
- N. F. Caraco y J. J. Cole. 1999. Human impact on nitrate export: An analysis using major world rivers. *Ambio* 28: 167-170.
- Conley, D. J., C. L. Schelske y E. F. Stoermer 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 101: 179-192.
- R. J. Diaz y R. Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 33: 245-303.
- Dinnel, S. P. y W. J. Wiseman, Jr. 1986. Fresh-water on the Louisiana and Texas Shelf. *Continental Shelf Research* 6: 765-784.
- Donner, S. D., M. T. Coe, J. D. Lenters, T. E. Twine y J. A. Foley 2002. Modeling the impact of hydrological changes on nitrate transport in the Mississippi River Basin from 1955 to 1994. *Global Biogeochemical Cycles* 16(3):10.1029/2001GB001396.

- Dunn, D. D. 1996. *Trends in Nutrient Inflows to the Gulf of Mexico from Streams Draining the Conterminous United States 1972 – 1993*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 96—4113, Prepared in cooperation with the U.S. Environmental Protection Agency, Gulf of Mexico Program, Nutrient Enrichment Issue Committee. Austin, Texas: U.S. Geological Survey.
- Goolsby, D. A., W. A. Battaglin, G. B. Lawrence, R. S. Artz, B. T. Aulenbach, R. P. Hooper, D. R. Keeney, y G. J. Stensland 1999. *Flux and Sources of Nutrients in the Mississippi-Atchafalaya River Basin, Topic 3 Report for the Integrated Assessment of Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 17. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Program.
- Howarth, R. W., G. Billen, D. Swaney, A. Townsend, N. Jaworski, K. Lajtha, J. A. Downing, R. Elmgren, N. Caraco, T. Jordan, F. Berendse, J. Freney, V. Kudryakov, P. Murdoch y Z. Zhao-Liang 1996. Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-79.
- Howarth, R. W., D. P. Swaney, T. J. Butler y R. Marino 2000. Climate control on eutrophication of the Hudson River estuary. *Ecosystems* 3: 210-215.
- J. O. R. Johansson y R. R. Lewis, III. 1992. Recent improvements of water quality and biological indicators in Hillsborough Bay, a highly impacted subdivision of Tampa Bay, Florida, USA. Páginas 1199-1215 in R. A. Vollenweider, R. Marchetti, y R. Viviani (eds.), *Marine Coastal Eutrophication, Science of the Total Environment* suppl. no. 0048-9697.
- Justià, D. N. N. Rabalais y R. E. Turner 2002. Modeling the impacts of decadal changes in riverine nutrient fluxes on coastal eutrophication near the Mississippi River Delta. *Ecological Modeling* 152: 33-46.
- Justià, D. R. E. Turner y N. N. Rabalais 2003. Climatic influences on riverine nitrate flux: Implications for coastal marine eutrophication and hypoxia. *Estuaries* 26: 1-11.
- Kamykowski, D. y S. J. Zentara 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research* 37: 1861-1874.
- Meade, R. H. (ed.) 1995. *Contaminants in the Mississippi River, 1987-92*. U.S. Geological Survey Circular 1133. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey.
- National Research Council. 2000. *Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution*. Committee on Causes and Management of Coastal Eutrophication, Ocean Studies Board and Water Science and Technology Board, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
- Nixon, S. W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.

- Officer, C. B. y J. H. Ryther 1980. The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology Progress Series* 3: 83-91.
- Peierls, B. L., N. Caraco, M. Pace, y J. Cole 1991. Human influence on river nitrogen. *Nature* 350: 386-387.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, W. J. Wiseman, Jr. y Q. Dortch 1998. Consequences of the 1993 Mississippi River flood in the Gulf of Mexico. *Regulated Rivers: Research & Management* 14: 161-177.
- Rabalais, N. N., y R. E. Turner (eds.) 2001. *Coastal Hypoxia: Consequences for Living Resources and Ecosystems*. Coastal and Estuarine Studies 58. Washington, DC.: American Geophysical Union.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justia, Q. Dortch, y W. J. Wiseman, Jr. 1999. *Characterization of hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment of Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Program.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *BioScience* 52: 129-142.
- Sarasota Bay National Estuary Program. 1995. *Sarasota Bay: The Voyage to Paradise Reclaimed*. Brooksville, Florida: Southwest Florida Water Management District.
- Scavia, D., N. N. Rabalais, R. E. Turner, D. Justia, y W. J. Wiseman, Jr. 2003. Predicting the response of Gulf of Mexico hypoxia to variations in Mississippi River nitrogen load. *Limnology and Oceanography* 48: 951-956.
- Smayda, T. J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for global epidemic. Pages 29-40 in E. Graneli, B. Sundstrom, R. Edler y D. M. Anderson (eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier.
- Smith, S. V. 1981. Responses of Kaneohe Bay, Hawaii, to relaxation of sewage stress. Pages 391-410 in B. J. Neilson y L. E. Cronin (eds.), *Estuaries and Nutrients*. Humana Press, Inc., Clifton, New Jersey.
- Swanson, R. L. y C. J. Sindermann (eds.) 1979. *Oxygen Depletion and Associated Benthic Mortalities in New York Bight, 1976*. NOAA Professional Paper 11, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, DC.
- Turner, R. E. 2001. Of manatees, mangroves, and the Mississippi River: Is there an estuarine signature for the Gulf of Mexico? *Estuaries* 24: 139-150.
- Turner, R. E. y N. N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality this century. Implications for coastal food webs. *BioScience* 41: 140-148.
- Turner, R. E. y N. N. Rabalais 2003. Linking landscape and water quality in the Mississippi River basin for 200 years. *BioScience* 53: 563-572.
- Turner, R. E., N. Qureshi, N. N. Rabalais, Q. Dortch, D. Justia, R. F. Shaw y J. Cope

1998. Fluctuating silicate:nitrate ratios and coastal plankton food webs. *Proceedings of the National Academy of Science* 95: 13048-13051.
- Turner, R. E., N. N. Rabalais, E. M. Swenson, M. Kasprzak y T. Romaine 2003 (en prensa). Summer hypoxia in the northern Gulf of Mexico and its prediction from 1978 to 1995. *Marine Environmental Research*.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger, y D. G. Tilman. 1997. Human alterations of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737-750.
- Whitledge, T. E. 1985. *Nationwide Review of Oxygen Depletion and Eutrophication in Estuarine and Coastal Waters. Executive Summary*. Report to National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. Upton, New York: Brookhaven National Laboratory.

LA CONDICIÓN REPRODUCTIVA DEL CAMARÓN BLANCO
LITOPENAEUS SETIFERUS (CRUSTACEA; PENAEIDAE):
EVIDENCIAS DE DETERIORO AMBIENTAL EN EL SUR DEL
GOLFO DE MÉXICO

*Carlos Rosas, Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito,
Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y
Ariadna Sánchez*

INTRODUCCIÓN

Los efectos de los constantes cambios ambientales en los océanos y en los sistemas costeros debido a las actividades humanas requieren de diferentes herramientas y estrategias que permitan una evaluación del estado de salud de los ecosistemas. Los camarones peneidos son organismos acuáticos abundantes en las zonas costeras tropicales del mundo y en este contexto el Golfo de México no es la excepción. El camarón blanco *Litopenaeus setiferus* es una de las especies de camarones peneidos que habitan el Golfo de México y la zona costera del océano Atlántico de Norte América. Esta especie se distribuye desde el sur de Nueva York en su límite norte, hasta la plataforma continental adyacente a la laguna de Términos, Campeche en su límite sur (Williams 1984).

El ciclo de vida del camarón blanco del Golfo de México se inicia cuando los adultos se reproducen en la plataforma continental entre la isóbata de los 4 y los 40 m (Williams 1984). Ahí los huevos fecundados quedan a merced de las corrientes marinas donde, 12 a 14 horas después eclosiona una larva nauplio que no se alimenta. Posteriormente y por un período de entre 12 a 15 días las larvas planctónicas se desarrollan, moviéndose hacia la costa en búsqueda de zonas de refugio en las lagunas costeras y los estuarios, donde arriban como poslarvas. Ahí los camarones son reclutados en las

áreas salobres con vegetación sumergida, las cuales son utilizadas como áreas de crecimiento. En estas zonas los camarones pasan entre siete a nueve meses, antes de migrar nuevamente al mar donde se reclutan como adultos (Chow *et al.* 1993, King 1948, Misamore y Browdy 1996, Renaud 1986, Rosas *et al.* 1999, Zein-Eldin 1986).

Tomando en cuenta que *L. setiferus* habita tanto en la zona estuarina como en la marina, y que por su abundancia juega un papel ecológico importante, esta especie puede ser adecuada para monitorear la salud de ambos ecosistemas. En el sur del Golfo de México la especie *L. setiferus* está expuesta a muy diversas presiones ambientales entre las cuales se incluyen la pesca excesiva, la contaminación de bahías, estuarios y lagunas costeras con pesticidas asociados con la agricultura, la generada por las descargas de aguas negras de las ciudades costeras y la provocada por la industria petrolera que opera en la Sonda de Campeche. Ante tal situación se ha observado que la estructura de las comunidades bentónicas se ha modificado como consecuencia de las sinergias producidas por la acción conjunta de estas presiones ambientales, afectando, entre otras a las poblaciones de camarones que habitan en esta zona (Balcom 1994, Benítez y Bárcenas 1996, Botello *et al.* 1996, Gold-Bouchot y Herrera-Rodríguez 1996).

La determinación del estado de salud de los organismos vivos en general suele ser un concepto controvertido debido a la falta de criterios específicos que permitan definir con precisión cuales son los límites de tolerancia ante las variaciones ambientales en un contexto multifactorial. En organismos acuáticos se han llevado a cabo numerosos ensayos intentando determinar cuales son los límites tolerables de los factores ambientales y de los contaminantes que determinan el desempeño y la supervivencia de muchas especies de peces, crustáceos y moluscos (Hanke 1993, Rosas *et al.* 1992, Schmidt-Nielsen 1990, Vernberg 1983). No obstante, se ha demostrado que la aplicación de los resultados obtenidos en el laboratorio, está limitada a la especulación referente a la forma en que los organismos acuáticos son capaces de compensar cuando las variables ambientales actúan en conjunto en el medio acuático.

La interacción entre variables y la capacidad fisiológica de los organismos para mantener la homeostasis son elementos que deben de ser considerados en la evaluación del estado de salud. Al mismo tiempo se ha reconocido que la mayoría de los factores ambientales que determinan la distribución de los organismos, incluidos los contaminantes, actúan en una escala de tiempo que difícilmente puede ser repetida en condiciones de laboratorio,

lo que limita aún más su extrapolación a las poblacionales silvestres (Krebs 1998).

En años recientes diversos estudios se han llevado a cabo intentando aplicar métodos ya existentes de evaluación del estado de salud a los organismos acuáticos. Utilizando camarones peneidos como modelo (Rosas *et al.* 2002, Sánchez *et al.* 2001, Pascual *et al.* 1998, Pascual *et al.* 2003b) se ha podido establecer que existe una estrecha relación entre la condición nutricional, el sistema inmune y la capacidad reproductiva de los camarones tanto mantenidos en condiciones controladas, como en los provenientes de poblaciones silvestres. Con estos estudios se han podido establecer intervalos de variación de los metabolitos sanguíneos y de diversas respuestas inmunológicas considerando la interacción múltiple de los factores ambientales para varias especies de crustáceos, incluyendo al camarón blanco del Golfo de México *Litopenaeus setiferus* (Pascual *et al.* 2002a, Pascual *et al.* 2002b).

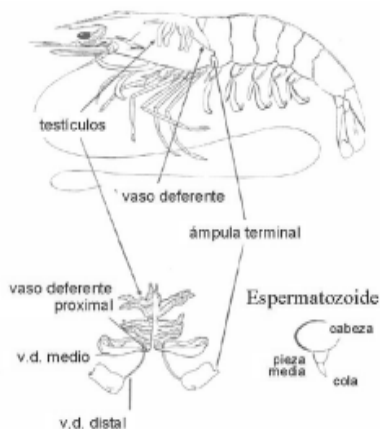
En este trabajo se presentan los resultados de más de 10 años de investigaciones realizadas en las poblaciones de camarón blanco del Golfo de México *L. setiferus*, en las cuales se demuestra cómo las condiciones ambientales han modulado y pudieran estar afectando el estado de salud y la capacidad reproductiva de estos organismos. Utilizando camarones como modelo y a partir de los resultados obtenidos, es posible establecer que, siendo los camarones peneidos una especie ecológicamente importante y de amplia distribución, el deterioro en sus poblaciones pudiera estar reflejando el deterioro de la comunidad bentónica de las zonas de plataforma costera donde se distribuyen estos organismos.

ANTECEDENTES

El camarón blanco del Golfo de México *Litopenaeus setiferus* (antes *Penaeus setiferus*) es una de las especies de camarones más importantes del Atlántico de América. Esta especie se distribuye desde el sur de Nueva York hasta la Península de Yucatán (Muncy 1984). Aunque desde hace más de 50 años se cuenta con la descripción de la biología reproductiva de *L. setiferus* (King 1948), los mecanismos relacionados con su maduración y los procesos reproductivos han sido investigados muy recientemente. La anatomía del sistema reproductivo de los machos, se compone de dos estructuras pareadas: testículo y vaso deferente, este último está dividido en cuatro regiones: sección proximal, porción media, porción distal y una región muscular

altamente dilatada llamada ámpula terminal en la cual se termina de formar el espermatóforo (figura 1).

FIGURA 1. APARATO REPRODUCTOR DE LOS MACHOS ADULTOS DE *Litopenaeus setiferus*



El télico de la hembra en el caso de *L. setiferus* es abierto, por lo cual la fertilización de los huevos se encuentra estrechamente relacionada con la adecuada transferencia y adherencia del espermatóforo, ya que los espermatozoides son transportados y protegidos por esta estructura. El espermatóforo es expulsado del ámpula terminal a través del gonoporo. Durante el proceso de expulsión ambas mitades se ensamblan fuera del cuerpo formando un espermatóforo completo, con estructuras que le facilitan el anclaje sobre la superficie del télico de la hembra (King 1948, Ro *et al.* 1990, Chow *et al.* 1991, Krol *et al.* 1992). Así, el éxito reproductivo de la especie está directamente relacionado con las características del espermatóforo las cuales están determinadas por la integridad de las estructuras, la adherencia y la calidad de las células espermáticas.

Todo esto permite de manera conjunta la adecuada fecundación de los ovocitos al momento del desove. La transferencia del espermatóforo es el paso final de una serie de eventos que comprenden el comportamiento de

la cópula en los decápodos, la cual es afectada por factores ambientales, como la temperatura, la salinidad, la profundidad de la columna de agua, la intensidad de luz, el fotoperiodo y los contaminantes, y el estrés entre otros factores (Adiyodi 1985, Yano *et al.* 1988, Pérez y Ramos 1992). Desde el primer reporte sobre la maduración y desove exitoso de *L. setiferus* bajo condiciones de laboratorio, se registró la dificultad de los machos para transferir el espermatóforo, la cual fue relacionada con infecciones bacterianas (Brown *et al.* 1979). Muchos estudios se han realizado con el fin de dilucidar las posibles causas del deterioro de la calidad reproductiva de los camarones machos. Este fenómeno fue definido como “síndrome degenerativo del aparato reproductivo de los machos” (SDARM), y se caracteriza por una progresiva disminución del número de células espermáticas y un aumento en el porcentaje de células anormales y muertas (Chamberlain *et al.* 1983). Este síndrome y el de melanización (u oscurecimiento de las estructuras reproductivas) del sistema reproductivo de los machos (SMAR) fueron asociados a una misma enfermedad (Bray *et al.* 1985, Talbot *et al.* 1989). Ahora se considera que la melanización y la degeneración del espermatóforo son dos procesos diferentes (Alfaro y Lozano 1993). El oscurecimiento del aparato genital se debe a la producción de melanina generada por uno de los mecanismos de defensa más importante de los camarones, el sistema profenoloxidasa, el cual es activado por la presencia de agentes patógenos (Ashida y Söderhäll 1984, Talbot *et al.* 1989, Alfaro y Lozano 1993). El síndrome de degeneración ha sido correlacionado con problemas de naturaleza endocrina los cuales están a su vez asociados con el estrés ambiental (Alfaro y Lozano 1993, Rosas *et al.* 1993). Los estudios de laboratorio han sido la base para poder interpretar con precisión cómo el estrés ambiental modula la capacidad reproductiva de las poblaciones. Estudios recientes han demostrado que en la Sonda de Campeche la capacidad reproductiva de *L. setiferus* es significativamente menor a la observada en otras poblaciones de la misma especie ubicadas en otras regiones del Golfo de México. La melanización y baja cantidad de células espermáticas viables han sido características frecuentes en la población campechana de *L. setiferus* (Pascual *et al.* 2002b). Los cambios en la estructura de la comunidad bentónica de la cual se alimenta la población como consecuencia de las perturbaciones ambientales producidas por la contaminación marina, y/o los efectos deletéreos de las altas temperaturas del verano, las cuales afectan la calidad reproductiva y/o los daños genotóxicos como consecuencia de la acumu-

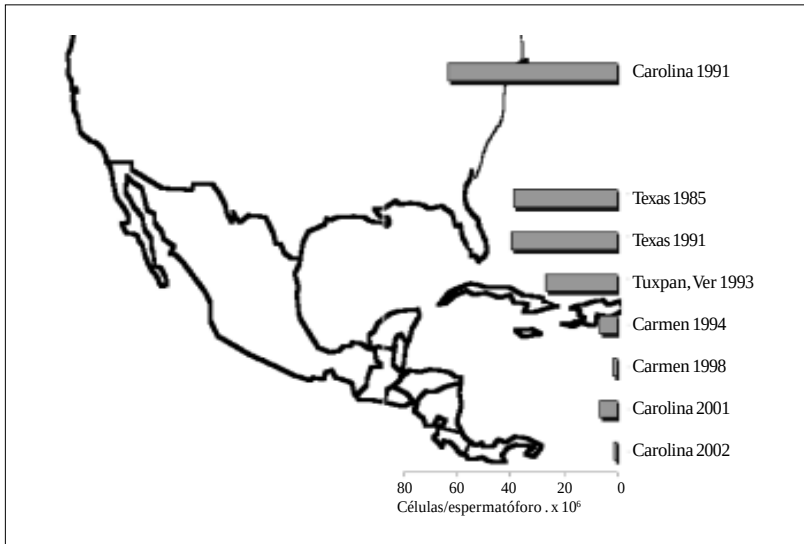
lación de contaminantes desde las fases estuarinas y/o el aumento del entrecruzamiento entre parientes como consecuencia de la reducción de la población debido a la pesca excesiva, son algunas de las hipótesis más importantes. Tomando en cuenta lo anterior en este capítulo se presentan los resultados de los últimos diez años de investigaciones sobre las variaciones de la calidad espermática de los machos adultos del camarón blanco del Golfo de México *L. setiferus*, utilizando la calidad espermática como un modelo que permita explicar el estado de salud reproductiva de la población. Al mismo tiempo, la línea base del estado nutricional y la respuesta inmune de juveniles y adultos de esta especie es propuesta como una herramienta para identificar posibles alteraciones ambientales futuras en el sur del Golfo de México, partiendo de que esta línea base representa la variabilidad biológica de cada una de las respuesta evaluadas.

SALUD REPRODUCTIVA

El estudio de la calidad reproductiva de la población de machos adultos de *L. setiferus* se remonta a los estudios realizados en las poblaciones de Carolina del Sur, Texas, Tuxpan, Veracruz y Ciudad del Carmen, Campeche por diversos autores (Bray *et al.* 1982, Browdy *et al.* 1991, Leung-Trujillo y Lawrence 1987, Leung-Trujillo y Lawrence 1991, Pascual *et al.* 1998, Pascual *et al.* 2003b, Rosas *et al.* 1993). A partir de esos estudios se pudo establecer que hay una reducción de la cantidad de células por espermatóforo a lo largo del gradiente latitudinal de distribución de la especie (figura 2).

Estos resultados pusieron en evidencia dos cosas principalmente. La primera de ellas fue el hecho de que la capacidad reproductiva de *L. setiferus* responde directamente al gradiente que imponen las condiciones ambientales a lo largo de su intervalo de distribución, y la otra es que la condición reproductiva varía no sólo a través del gradiente latitudinal sino también presenta variaciones a lo largo de los años. Aunque ambas observaciones pueden ser de una gran utilidad práctica, ha sido necesario realizar primero diversas investigaciones para establecer cómo las condiciones ambientales gobiernan la capacidad reproductiva, de tal forma que éstas puedan ser utilizadas para explicar posibles perturbaciones ambientales o humanas en la zona de distribución de la especie

FIGURA 2. VARIACIONES DE LA CANTIDAD DE CÉLULAS POR ESPERMATÓFORO EN MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS*



Fuente: Datos tomados de (Bray *et al.*, 1982; Browdy *et al.*, 1991; Leung-Trujillo y Lawrence, 1987; Leung-Trujillo y Lawrence, 1991; Pascual *et al.*, 1998; Pascual *et al.*, 2003b; Rosas *et al.*, 1993).

EFFECTO DE LA TEMPERATURA

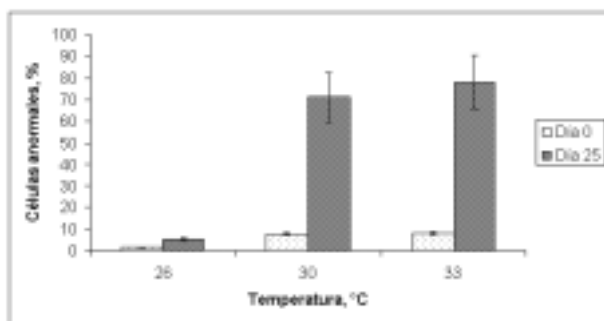
De acuerdo con (Muncy 1984) las poblaciones que se distribuyen al sur de la ciudad de Nueva York únicamente se reproducen durante el verano, justo cuando las temperaturas de la zona alcanzan los 25 °C, mientras que las poblaciones en el sur del Golfo de México se reproducen todo el año, gracias a que las temperaturas mayores de los 28 °C favorecen el desarrollo de los ovarios en las hembras, estimulando a los machos a la actividad reproductiva entre los meses de marzo y noviembre. El efecto del gradiente de temperatura es dramático. De acuerdo con los datos presentados en la figura 2, las diferencias en calidad espermática entre las poblaciones que se encuentran en los extremos del intervalo de distribución son de 20 veces menos células espermáticas para las poblaciones del sur del Golfo de México que la obser-

vada en las poblaciones del norte del Atlántico americano. Es decir, existe una relación inversa entre temperatura y actividad reproductiva y calidad espermática (Pascual *et al.* 2003b).

¿Cual podría ser la razón para que la temperatura determine la cantidad de células espermáticas en los machos adultos de esta especie? ¿Cómo son las variaciones anuales de la temperatura en la zona en donde se encuentran los adultos de *L. setiferus*? Con el objeto de contestar estas pregunta se desarrollaron una serie de experimentos en los cuales se evaluaron las variaciones de la calidad espermática en machos de camarón expuestos a 26, 30 y 33 °C (Pascual *et al.* 1998, Sánchez *et al.*, 2002). Al mismo tiempo se colocaron termómetros digitales de registro automático, los cuales han permitido conocer las variaciones diarias de la temperatura a 8 m de profundidad donde habitan los reproductores de esta especie.

Los resultados de laboratorio mostraron que existe un efecto marcado de la temperatura sobre la calidad espermática de los machos adultos de *L. setiferus*. Por arriba de 26 °C se observó un aumento en la proporción de células anormales las cuales indican una reducción del potencial reproductivo de los organismos. Aunque los camarones presentaron una amplia capacidad metabólica para tolerar las diferentes temperaturas experimentales (Sánchez *et al.* 2002), el efecto sobre la calidad espermática mostró que el sistema reproductor es mucho más sensible a los cambios de temperatura que el metabolismo energético.

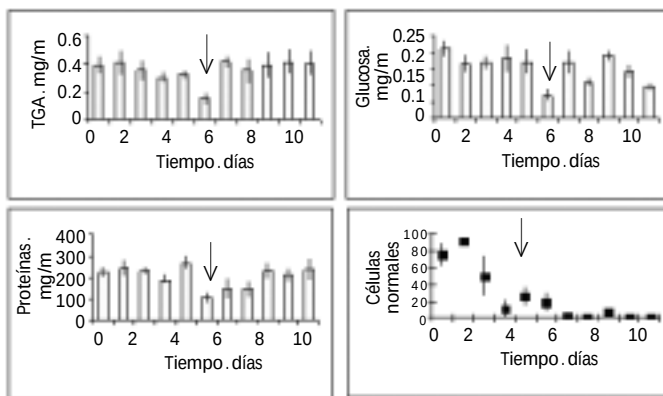
FIGURA 3. CALIDAD ESPERMÁTICA, EXPRESADA COMO PORCENTAJE DE CÉLULAS ANORMALES PARA MACHOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A DIFERENTES TEMPERATURAS



Fuente: Pascual *et al.* 1998.

¿Por qué la temperatura afecta la calidad espermática? En otro estudio Pascual *et al.* (2003b) utilizando una temperatura de 33 °C como botón disparador del deterioro reproductivo demostraron que el efecto de la temperatura es extraordinariamente rápido ya que es capaz de afectar el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas además de la calidad espermática 5 días después de iniciado el experimento (figura 4). Estos resultados son particularmente importantes si se toma en cuenta que la regeneración de los espermatóforos de los machos adultos de *L. setiferus* en condiciones naturales se lleva entre 5 y 7 días, tiempo durante el cual, si las condiciones de temperatura son adversas, puede conducir a una pérdida importante de la capacidad reproductiva de la población (Rosas *et al.* 1993). Con el objeto de explicar de qué manera la temperatura podría estar afectando la calidad espermática se estudió también el efecto de los 33 °C sobre la respuesta inmune. Esto se hizo tomando en cuenta evidencias que habían estado demostrando que posible-

FIGURA 4. VARIACIONES DIARIAS DE LOS LÍPIDOS (TGA = TRIACILGLICEROL), CARBOHIDRATOS (GLUCOSA), PROTEÍNAS SANGUÍNEAS Y CALIDAD REPRODUCTIVA (CÉLULAS NORMALES %) DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A 33° POR 12 DÍAS. VALORES PRESENTADOS COMO PROMEDIO $\pm$ E.S.

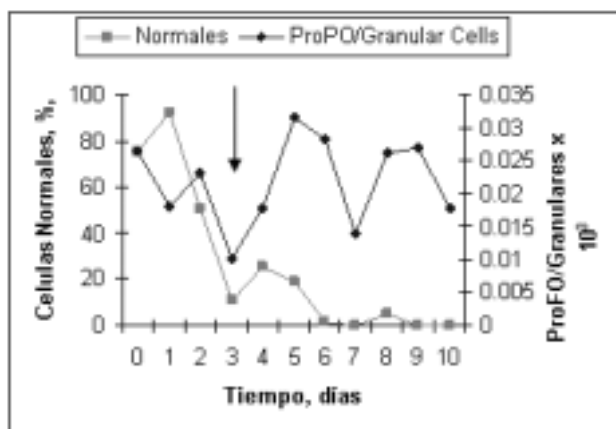


Fuente: Pascual *et al.* 2003b.

mente el propio sistema inmune de los camarones podría estar afectando a las células espermáticas a través de la pérdida de los mecanismos que regulan la producción de melanina (Dougherty y Dougherty 1989, Dougherty 1998). Los resultados de ese estudio demostraron que la temperatura, al intervenir en los procesos metabólicos altera los mecanismos de regulación de la respuesta inmune provocando que los mecanismos de defensa se reviertan en contra de las propias células espermáticas atacándolas como si fueran cuerpos extraños (figura 5).

Aunque estas hipótesis explican en parte las razones por las cuales las altas temperaturas limitan la calidad y la producción de células espermáticas en el sur del Golfo de México, aún faltaba por saber si las variaciones de la temperatura en el medio natural realmente limitan la calidad espermática de la población y si estas variaciones podrían explicar las oscilaciones en la calidad espermática observada a lo largo de los años en que se había estado muestreando la población, (figura 2). Para responder estas incógnitas se colocaron cinco termómetros digitales en la zona en la que normalmente se capturan los reproductores de *L. setiferus* y a una profundidad de entre 8 y

FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD ESPERMÁTICA Y EL SISTEMA INMUNE (REPRESENTADO COMO LA RELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD DE LA PROFENOL OXIDAS Y LA CONCENTRACIÓN DE CÉLULAS GRANULARES SANGUÍNEAS) DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* EXPUESTOS A UNA TEMPERATURA DE 33 °C POR 12 DÍAS

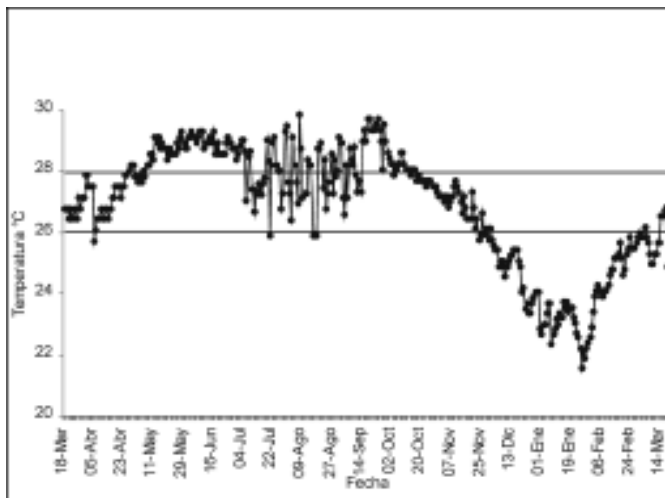


10 m, y se registraron las temperaturas de la zona cada 15 minutos durante 18 meses, entre abril del año 2000 y octubre del año 2001. Posteriormente y con el objeto de corroborar la información, se realizó un monitoreo mensual de la temperatura a la misma profundidad y en la misma zona hasta el mes de abril del año 2003. Tomando en cuenta la cantidad de datos colectados, se construyó una curva con los valores promedio por día para un ciclo anual en un intento por establecer la relación entre las variaciones de este parámetro y la calidad espermática obtenida de los machos capturados en esta misma zona (figura 6).

Como se puede apreciar, la temperatura en la plataforma continental varía entre 21.5 °C en enero y 30 °C en septiembre con oscilaciones de hasta 4 °C en un día en los meses de julio y septiembre demostrando que los camarones no únicamente están expuestos a variaciones anuales importantes de la temperatura, sino además a oscilaciones significativas en base diaria y semanal.

De acuerdo con Primavera (1985), lo que afecta más a la reproducción de los camarones son las oscilaciones en la temperatura, ya que éstas pueden

FIGURA 6. VARIACIONES DIARIAS DE LA TEMPERATURA EN LA PLATAFORMA COSTERA ADYACENTE A LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE. VALORES OBTENIDOS ENTRE 8 Y 10 M DE PROFUNDIDAD CON TERMÓMETROS DIGITALES



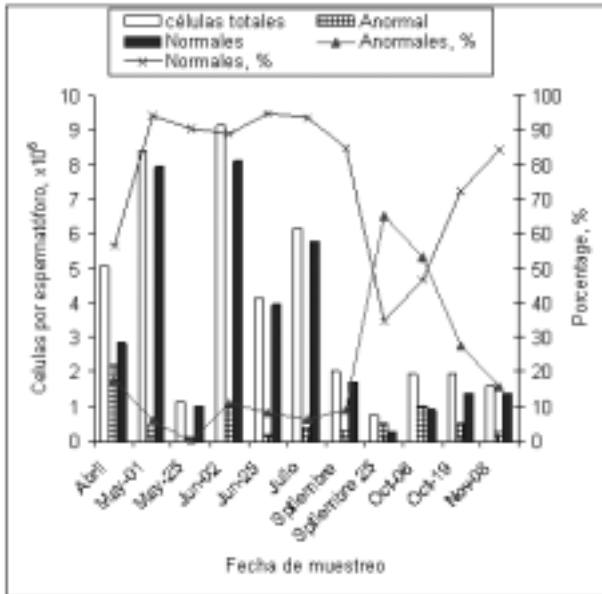
provocar retroceso en el desarrollo ovárico de las hembras y la pérdida de la calidad espermática de los machos. Al graficar las variaciones de la calidad reproductiva de la población de machos de *L. setiferus* a lo largo del año es interesante observar que existe una pérdida significativa de la calidad espermática asociada al mes de septiembre, justo cuando la temperatura es más alta y oscilante (figura 7). Este comportamiento de la calidad reproductiva, entonces, queda ampliamente justificado si se toma en cuenta que existen evidencias experimentales que demuestran que los machos adultos de la especie son altamente sensibles a temperaturas mayores de 28 °C, las que, de acuerdo a los datos presentados en la figura 6, normalmente se presentan en su hábitat natural en los meses de entre julio y septiembre.

Para explicar por que la calidad espermática varía a lo largo de los años (figura 2), es necesario hacer un análisis más global tomando en consideración los reportes de las variaciones históricas de la temperatura en el Golfo de México. De acuerdo con datos de la NOA (2003), en los años de 1998 y 2002 se observaron temperaturas 3 °C por arriba de la temperatura promedio anual del mar ligadas con la presencia del fenómeno de El Niño. Si tomamos estos datos como referencia y los analizamos en el contexto de las variaciones de la calidad espermática mostrada en la figura 2 se podrá ver que justo en esos años se que registraron los niveles más bajos de calidad espermática en la población de machos de *L. setiferus*. En contraste en los años de 1994 y 2001, cuando la temperatura media del mar fue menor a la media normal (NOA 2003), se registraron los valores de calidad espermática mayor, indicando que la calidad espermática de los camarones está ligada a variaciones globales de la temperatura del océano como las provocadas por el fenómeno de El Niño. Aunque hacen falta series de tiempo más largas para establecer una relación causa efecto con respecto a estas variaciones globales de la temperatura del océano, los resultados presentados ahora ponen en evidencia que el camarón blanco *Litopenaeus setiferus* es una especie lo suficientemente sensible a las alteraciones de la temperatura como para ser considerada una especie indicadora de alteraciones provocadas por el calentamiento global o el fenómeno de El Niño en esta región del Golfo de México.

EFFECTO DEL OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto (OD), a diferencia de la temperatura es un factor ambiental regulador del metabolismo de los camarones (Martinez *et al.* 1998,

FIGURA 7. VARIACIONES MENSUALES PROMEDIO DE LA CALIDAD ESPERMÁTICA DE MACHOS ADULTOS DE *L. SETIFERUS* A LO LARGO DE UN CICLO ANUAL. VALORES DADOS COMO PROMEDIO DE DIVERSOS MUESTREOS REALIZADOS ENTRE LOS AÑOS DE 1994 Y 2003



Rosas *et al.* 1998, Rosas *et al.* 1999). El papel regulador del OD está dado por su intervención directamente en la capacidad de los organismos de obtener energía a partir de la respiración, vía la fosforilación oxidativa.

En este proceso el oxígeno es el último aceptor de electrones de la cadena respiratoria, permitiéndoles a los camarones, y en general a los organismos aerobios, aprovechar al máximo la energía contenida en los enlaces de las moléculas de carbono que son procesadas en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos. La diferencia entre usar oxígeno o no, como último aceptor de electrones marca una gran diferencia en la cantidad de energía disponible para realizar trabajo. En este contexto y dependiendo de la especie, los procesos metabólicos pueden ser más o menos eficientes, dependiendo de la sensibilidad de las especies para tolerar bajos niveles de oxígeno disuelto. De

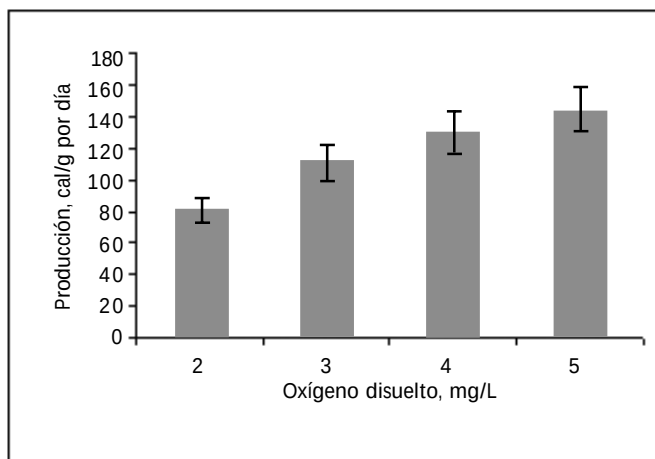
los resultados obtenidos por Martinez *et al.* (1998), Rosas *et al.* (1998,1999) es evidente que una reducción relativamente pequeña de OD de entre 5 a 4 mg/L provocó una reducción de hasta un 25% en la energía canalizada hacia la producción de biomasa (figura 8). Esta limitación es importante si se considera que, en las lagunas costeras y estuarios tropicales las aguas con bajos niveles de oxígeno son comunes, sobre todo cuando éstas se cargan de materia orgánica producto de las lluvias de verano. Ante tal situación, una reducción en el 25% de la energía canalizada a la producción podría ser considerada no sólo en la biomasa *per se* sino también en la cantidad de energía canalizada hacia la producción de gametos, lo cual afectaría directamente al éxito reproductivo, con serias consecuencias para la población. Estudios de laboratorio han demostrado que los camarones son capaces de detectar eficientemente los bajos niveles de oxígeno ambiental los cuales tienden a evitar a través de un comportamiento de escape (Alcaraz *et al.* 1999, Martínez *et al.* 1998, McMahon 1988, Munoz *et al.* 2000, Renaud 1986). Tomando en cuenta este comportamiento, es posible inferir que la abundancia de los juveniles de *L. setiferus* en los ambientes costeros tropicales junto con los niveles de oxígeno disuelto pudieran ser de gran ayuda para establecer el estado de salud de los ecosistemas.

EFFECTO DE LOS CONTAMINANTES

A la fecha existen pocos estudios en los cuales se haya evaluado la tolerancia de juveniles o adultos de *L. setiferus* a contaminantes específicos. Alcaraz *et al.* (1999) midieron el efecto combinado de los niveles de amonio, nitrito y oxígeno disuelto sobre el consumo de oxígeno de poslarvas de *L. setiferus* y reportaron que esta especie es más sensible que *Penaeus monodon* a los mismos contaminantes. Por su parte Núñez-García (2002) también reportó que los fluidos de perforación utilizados en la industria petrolera afectan la tasa de ingestión de juveniles de *L. setiferus* aun cuando éstos se encuentran en concentraciones tan bajas como 10,000 ppm en la fase de partículas suspendidas.

El efecto genotóxico de los contaminantes derivados de los hidrocarburos ha sido estudiado en invertebrados (Cooper 1997). En este modelo se ha observado que los receptores Ah (AhR) intervienen en muchas respuestas tóxicas inducidas por los hidrocarburos poli halogenados y los hidrocarburos policíclicos (PAH). Los receptores aril hidrocarburo translocadores del núcleo (por sus siglas en ingles Arnt) son un miembro de la superfamilia de las proteínas del shock térmico (bHLH/PAS). El Arnt dimeriza con algu-

FIG. 8. EFECTO DEL OXÍGENO DISUELTO SOBRE LA ENERGÍA CANALIZADA HACIA LA PRODUCCIÓN EN JUVENILES DE CAMARÓN BLANCO *LITOPENAEUS SETIFERUS*. PROMEDIO $\pm$ ES



Fuente: Rosas *et al.* 1999.

nos miembros de la familia de los PAH, incluyendo al ligando activado AhR, formando un complejo que altera la transcripción por asociación específica con promotores asociados a genes blanco involucrados en el sistema inmune. Tomando en cuenta que una de las poblaciones de *L. setiferus* se distribuye en la Sonda de Campeche, donde se encuentra la zona de explotación petrolera más importante del país, es posible que la reducción de la calidad reproductiva de los machos adultos de esta especie pudiera estar asociada con los efectos que los hidrocarburos pudieran estar teniendo en los mecanismos de regulación del sistema inmune vía los efectos en la transcripción de genes. Aunque este modelo debe de establecerse en los camarones, existen evidencias de descontrol inmune en esta especie como para pensar que un mecanismo de esta naturaleza pudiera estar afectando a la población de *L. setiferus* que habita en el sur del Golfo de México, alterando la capacidad reproductiva de los machos. Así, tanto por las variaciones de la temperatura ambiental asociada a fenómenos globales como el fenómeno de El Niño, como por las alteraciones provocadas por el incremento de la materia orgá-

nica en los ríos que descargan a la zona costera y reducen el oxígeno disuelto, como por la presencia de contaminantes, las presiones de la pesca etc., la población de *L. setiferus* se encuentra sujeta a una gran presión ambiental, la cual evidentemente ha afectado de manera importante su abundancia. Por esa razón, nuestro grupo de trabajo ha pensado que esta especie podría ser utilizada como una herramienta de diagnóstico para identificar mayores alteraciones ambientales en la zona, las cuales podrían ser identificadas a partir del análisis de la calidad reproductiva y del estado fisiológico, nutricional e inmunológico de la especie.

HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO

En los años recientes diversas investigaciones han demostrado la utilidad de los parámetros sanguíneos como herramientas para monitorear la condición fisiológica de camarones silvestres y cultivados expuestos a muy diversas condiciones ambientales. Palacios (2000) utilizó triacilglicerol, glucosa, colesterol, y proteínas para monitorear la condición fisiológica de poblaciones silvestres y cultivadas de los reproductores de *L. vannamei* después de varios desoves. En ese estudio se observó que los camarones silvestres tuvieron una mayor fecundidad la cual estuvo relacionada con mayores niveles de triacilglicerol, colesterol, proteínas y glucosa en la hemolinfa que los observados en los camarones cultivados. Por su parte, Sánchez *et al.* (2001) observaron que un cambio en la temperatura del agua entre 27 y 30 °C produce variaciones en los niveles de proteínas, lactato, glucosa, triacilglicerol, colesterol y de la respuesta inmune en adultos silvestres de *L. setiferus*. Ese estudio reveló que en condiciones de cautiverio los niveles de proteínas, triacilglicerol y colesterol son menores que los observados en los animales recién capturados.

Los metabolitos sanguíneos han sido utilizados también para monitorear los efectos de la temperatura en las poblaciones de camarones adultos de *L. setiferus*. Estudios recientes demostraron que existe una relación entre las variables metabólicas de la hemolinfa, la respuesta inmune y la calidad espermática de camarones mantenidos en condiciones experimentales. Usando una temperatura extrema como estresor (33 °C) se observó una pérdida de la capacidad osmótica, una reducción en los metabolitos sanguíneos, la concentración de hemocitos, la actividad de la profenol oxidasa (ProFO) y la calidad espermática justo después de cinco días de iniciado el experimento, poniendo en evidencia que ante el estrés térmico existen una serie de

mecanismos fisiológicos e inmunológicos que afectan la capacidad reproductiva de esta especie (Pascual *et al.* 2003b). En otro estudio Rosas *et al.* (2002) demostraron para otra especie de camarón (*L. vannamei*) que la salinidad también afecta los metabolitos sanguíneos, debido a los ajustes fisiológicos asociados con el mantenimiento del equilibrio hidromineral.

Los niveles de hemocianina (OxyHc) proteínas sanguíneas, glucosa, triacilglicerolos, colesterol y lactato de los juveniles de *L. vannamei* han sido investigados con el fin de construir una línea base que permita establecer el estado nutricional de los camarones mantenidos en condiciones experimentales o cultivados en estanques que simulan condiciones de producción (Pascual *et al.* 2003a). De éste y otros estudios se ha podido establecer que la calidad del alimento es el factor controlador de los niveles de los metabolitos sanguíneos, lo cual sugiere que estos parámetros pueden ser usados para establecer si una población silvestre se encuentra bien nutrida o está bajo alguna presión nutricional asociada con alguna perturbación ambiental severa (Rosas *et al.* 2001b, Rosas *et al.* 2001a, Rosas *et al.* 2002).

Cuando los componentes sanguíneos son comparados con los obtenidos de otras especies de camarones y de crustáceos en general, se ha observado que los cangrejos y langostas (especies con baja actividad) presentan valores menores a los que se han registrado en especies más activas como jaibas y camarones (Pascual *et al.* 2003a). Por esta razón también se ha podido establecer que los componentes sanguíneos reflejan las adaptaciones fisiológicas y morfológicas las cuales dependen del entorno ecológico en el cual han evolucionado los organismos. En este contexto en el presente estudio se presentan los intervalos biológicos de diferentes parámetros sanguíneos que deberían ser considerados como línea base o de referencia, y que podrían ser utilizados como herramienta de diagnóstico de la población de *L. setiferus* que habitan tanto en la laguna de Términos como en la plataforma costera adyacente. Específicamente el estudio ha sido dedicado a obtener información que defina la línea base de la presión osmótica, oxi hemocianina (OxiHc), glucosa, proteínas, colesterol, lactato, y triacilglicerolos, como indicadores del estado nutricional y fisiológico, así como de la cuantificación de la concentración de los hemocitos, algunos de sus componentes (ProFO) y de la actividad fagocítica, como indicadores del estado inmunológico de esta especie (Rosas *et al.* 2004).

En los cuadros 1 y 2 se presentan los valores que describen el comportamiento estadístico de una muestra de más de 1,400 camarones procedentes de la laguna de Términos y de la plataforma continental adyacente. Estos

valores representan, a nuestro juicio, el intervalo biológico dentro del cual los parámetros sanguíneos deberán moverse para esta población. Considerando un valor promedio (o mediano en el caso de que la distribución no sea normal) $\pm$ el intervalo de confianza al 95% o el rango de cuarteles, según sea el caso, es posible tener un parámetro de referencia para establecer si existen perturbaciones ambientales que modifiquen el estado nutricional o de salud de los organismos, ya sea en la zona de distribución de juveniles o en donde habitan los adultos.

Para realizar ese estudio la población de *L. setiferus* fue muestreada tanto en un ambiente estuarino como en el ambiente oceánico con amplias diferencias de salinidad entre ambos: 11‰ de salinidad en el ambiente donde fueron capturados los juveniles y 32‰ en el ambiente donde fueron capturados los adultos. Rosas *et al.* (2002) demostraron que los camarones cultivados están bien adaptados para utilizar a las proteínas como fuente de energía, moléculas para el crecimiento, a efecto de mantener la presión osmótica y para producir glucógeno y glucosa por vía gluconeogénica. Más aún el sistema inmune, con una fuerte base proteica, depende de manera importante del metabolismo de proteínas (Vargas-Albores y Yepiz-Plascencia 2000, Hall *et al.* 1999, Montaña-Pérez *et al.* 1999, Sritunyalucksana y Söderhall 2000). En este esquema también se ha visto que la hemocianina es una proteína multifuncional como transportador de oxígeno, almacenamiento de proteínas, osmolitos, transportador de ecdisona, precursor de péptidos antifungales, tiene actividad similar a la de la FO y es un importante componente de las proteínas de la sangre. Tomando en cuenta lo anterior diversos autores han coincidido que las proteínas sanguíneas y en general el metabolismo de proteínas es el eje central del metabolismo de los camarones (Adachi *et al.* 2003, Chen y Cheng 1993b, Chen y Cheng 1993a, Destoumieux *et al.* 2001, Fielder *et al.* 1971, Gellisen *et al.* 1991, Pascual *et al.* 2003a). Por esta razón, la evaluación de las proteínas sanguíneas y el contar con valores de referencia puede ser de gran utilidad para identificar perturbaciones ambientales provocadas a los organismos.

El colesterol y los triacilgliceroles están directamente relacionados con el tipo de alimento y la condición reproductiva, y por eso han sido reconocidos como indicadores del estado nutricional (Palacios 2000, Palacios *et al.* 1999, Pascual *et al.* 2003a). Debido a su rápida absorción en la glándula digestiva, el colesterol disuelto en la sangre es consistentemente bajo, tal y como ha sido observado en otras especies de camarones (Pascual *et al.* 2003a). Los estudios de laboratorio han demostrado que la absorción de los lípidos

CUADRO 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PESO VIVO Y DE LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA Y DE LA GLÁNDULA DIGESTIVA DE JUVENILES, Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS*

	CONFIANZA		CONFIANZA		INFERIOR SUPERIOR			QUARTIL		RANGO	DESV. EST.	E. S.
	N	PROMEDIO	- 95,000%	+95,000%	MEDIANA	MIN	MAX	QUARTIL	QUARTIL			
Peso vivo, g												
Juveniles	112.00	10.54	9.48	11.61	9.25	0.80	27.81	6.67	13.68	7.02	5.67	0.54
Machos	100.00	35.05	33.40	36.70	34.19	15.31	64.79	29.97	39.21	9.24	8.32	0.83
Hembras	60.00	40.33	38.17	42.50	40.04	25.33	64.79	33.64	44.68	39.46	8.38	1.08
Presión Osmótica, mOsm/Kg												
Juveniles	102.00	718.02	705.10	730.94	719.00	573.00	914.00	668.00	761.00	341.00	93.00	65.80
Adultos	159.00	918.55	909.28	927.81	925.00	715.00	1063.00	895.00	949.00	54.00	59.14	4.69
Capacidad Osmótica, mOsm/kg												
Juveniles	100.00	224.19	206.18	242.20	242.00	26.00	417.00	147.50	295.00	391.00	147.50	90.75
Adultos	159.00	-151.89	-162.52	-141.25	-175.00	-252.00	68.00	-200.00	-118.00	82.00	67.90	5.39
Oxi Hc, mmol/l												
Juveniles	102.00	1.28	1.21	1.36	1.30	0.31	1.96	1.07	1.53	1.65	0.46	0.39
Machos	100.00	1.69	1.61	1.77	1.76	0.70	2.92	1.43	1.92	0.49	0.38	0.04
Hembras	60.00	1.53	1.44	1.61	1.52	0.65	2.16	1.30	1.82	1.51	0.33	0.04
Glucosa, mg/ml												
Juveniles Adultos	248.00	0.20	0.19	0.22	0.19	0.04	0.70	0.14	0.26	0.13	0.10	0.01

(Continúa)

CUADRO 1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DEL PESO VIVO Y DE LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA Y DE LA GLÁNDULA DIGESTIVA DE JUVENILES, Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS*

	N	CONFIANZA		+95.000%	MEDIANA	INFERIOR SUPERIOR		QUARTIL		RANGO	DESV. EST.	E. S.
		PROMEDIO	-95.000%			MIN	MAX	QUARTIL	QUARTIL			
Colesterol, mg/ml												
Juveniles Adultos	248.00	0.37	0.34	0.40	0.32	0.06	1.20	0.14	0.58	0.44	0.24	0.02
Triacil gliceroles, mg/ml												
Juveniles Adultos	247.00	0.44	0.40	0.48	0.39	0.06	2.20	0.21	0.60	0.40	0.32	0.02
Proteinas, mg/ml												
Juveniles- Machos	186.00	282.19	266.01	298.36	273.31	30.52	606.00	202.56	359.70	157.14	111.80	8.20
Hembras	58.00	320.92	295.52	346.33	332.52	122.32	538.79	244.83	386.72	141.89	96.62	12.69
Glucogeno, mg/ml												
Juveniles	82.00	3.10	2.56	3.64	2.64	0.00	20.42	1.69	3.76	20.42	2.07	6.13
Adultos	136.00	2.05	1.77	2.32	1.58	0.08	6.49	0.79	3.13	2.33	1.61	0.14
Lactato, mg/ml												
Juveniles	44.00	0.11	0.10	0.12	0.12	0.06	0.23	0.08	0.13	0.16	0.04	0.00
Machos	57.00	0.19	0.12	0.25	0.09	0.02	1.62	0.05	0.23	1.60	0.17	0.07
Hembras	59.00	0.04	0.03	0.04	0.04	0.00	0.10	0.02	0.05	0.10	0.02	0.00

CUADRO 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA RESPUESTA IMMUNE DE JUVENILES, MACHOS ADULTOS MALES HEMBRAS DE *L. SETIFERUS*.

N	PROMEDIO	CONFID. CONFID.		INFERIOR SUPERIOR			QUARTIL		DES. EST.	E. S.			
		-95.000%	+95.000%	MEDIANA	MIN.	MAX.	QUARTIL	QUARTIL					
ProFO, DO 490nm													
Juveniles-Machos		143.00	0.20	0.16	0.09	0.01	1.62	0.04	0.24	0.20	0.28	0.02	
Hembras		45.00	0.39	0.23	0.11	0.00	1.89	0.06	0.40	1.89	0.53	0.08	
FO, 490nm													
Juveniles		86.00	0.06	0.05	0.06	0.00	0.46	0.03	0.07	0.46	0.04	0.00	
Adultos		102.00	0.12	0.10	0.14	0.03	1.01	0.08	0.12	0.04	0.11	0.01	
Células Granulares, cell/ml x 10 ³													
Juveniles		74.00	6.80	6.17	7.44	6.80	1.20	13.80	4.80	8.60	12.60	3.80	0.44
Machos		55.00	13.31	11.68	14.93	12.00	5.80	26.60	7.80	18.20	10.40	6.00	1.48
Hembras		30.00	9.85	7.87	11.84	8.90	2.60	24.20	6.20	12.20	21.60	5.31	0.97
Células Hialinas , cell/ml x 10 ³													
Juveniles-hembras		104.00	13.87	12.50	15.25	13.20	0.80	35.40	9.00	17.90	8.90	7.08	0.69
Machos		40.00	18.50	15.55	21.45	16.20	8.00	48.80	12.20	21.60	9.40	9.21	1.46
Células Totales, cell/ml x 10 ³													
Juveniles		74.00	20.07	17.86	22.27	18.60	2.00	46.40	14.00	25.40	44.40	11.40	1.32
Machos		55.00	31.63	27.89	35.36	27.40	14.60	75.40	21.80	37.60	15.80	13.80	1.86
Hembras		30.00	25.42	21.82	29.02	25.10	5.40	44.00	18.60	29.60	38.60	9.65	1.76

(Continúa)

(Continúa)

CUADRO 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA RESPUESTA IMMUNE DE JUVENILES, MACHOS ADULTOS MALES HEMBRAS DE *L. SETIFERUS*.

N	PROMEDIO	CONFID. CONFID.		MEDIANA	INFERIOR SUPERIOR		QUARTIL		Desv Est..	E.S.	
		-95.000%	+95.000%		MIN.	MAX.	QUARTIL	QUARTIL			
Estallido Respiratorio basal											
Juvenile-Machos	37.00	0.15	0.13	0.17	0.14	0.08	0.28	0.11	0.17	0.06	0.01
Hembras	15.00	0.21	0.18	0.25	0.20	0.13	0.37	0.17	0.23	0.23	0.02
Estallido Respiratorio Activado											
Juvenile-Machos	37.00	0.22	0.19	0.25	0.20	0.10	0.43	0.16	0.28	0.12	0.02
Hembras	15.00	0.32	0.27	0.38	0.35	0.15	0.50	0.26	0.38	0.35	0.02

es mayor del 90% indicando que los procesos de absorción y transporte son muy rápidos en los camarones. Este comportamiento podría estar asociado con la limitada capacidad que tienen los animales de sintetizar los ácidos grasos poliinsaturados, obligándolos a transportarlos rápidamente a los sitios donde serán almacenados o utilizados (D'Abramo 1997, González-Félix *et al.* 2003a, González-Félix *et al.* 2003b). Esta característica puede ser aprovechada para monitorear el estado nutricional, ya que variaciones pequeñas en la abundancia de alimento para las poblaciones silvestres se verá inmediatamente reflejado en los niveles de triglicéridos y colesterol en la sangre de los camarones, permitiendo así hacer diagnósticos oportunos sobre los impactos ambientales provocados por actividades antropogénicas.

Igual ocurre con la respuesta inmune. La concentración de ProFO puede incrementarse o disminuir dramáticamente durante una infección o durante la aplicación de estrés (López *et al.* 2003, Pascual *et al.* 2003b, Sánchez *et al.* 2001). De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 2 es evidente que la población de *L. setiferus* muestra baja actividad inmunológica la cual pudiera ser consecuencia de la ausencia de presiones ambientales sanitarias importantes. Aunque esta característica pudiera ser considerada como un indicador de buen estado de salud, es evidente que a la fecha el sistema inmune por sí sólo no puede dar referencia de la interacción entre los posibles efectos de los contaminantes y la calidad reproductiva, tal y como se mencionó anteriormente. La presencia de contaminantes, la presencia de organismos patógenos y las variaciones de la respuesta inmune tendrán que ser correlacionados antes de poder utilizar a una de ellas solamente como herramienta de diagnóstico del estado de salud poblacional.

Es interesante el hecho de que los parámetros sanguíneos cambian con el peso de los organismos y dan cuenta de cómo el uso y procesamiento de los nutrientes cambia con la edad. Este cambio lleva implícito el cambio de hábitat entre las lagunas costeras (juveniles) y el mar abierto en los adultos (cuadro 3), por lo que estos cambios también pueden ser interpretados en el sentido de las adaptaciones fisiológicas que cada etapa del ciclo de vida ha desarrollado de acuerdo con el ambiente en el que habita. La OxiHc y las proteínas totales en la sangre de *L. setiferus* aumentaron con el peso indicando que las proteínas pudieran ser utilizadas de manera distinta dependiendo de las exigencias ambientales que tiene cada grupo de edad. Está bien documentado que los juveniles de *L. setiferus* están sujetos a cambios bruscos de la salinidad en las lagunas costeras en las que habitan, en donde además están expuestos a variaciones diarias de temperatura o del oxígeno disuelto (Rosas *et al.* 1997,

Rosas *et al.* 1998). En tales circunstancias los juveniles tienen la necesidad de ajustar la presión osmótica como consecuencia de encontrarse en un ambiente más diluido (Claybrook 1983, Gerard y Gilles 1972). En el proceso de ajuste fisiológico en baja salinidad, los camarones utilizarán el pool de amino ácidos libres como una forma de reducir el aumento en volumen celular provocado por la entrada de agua, reduciendo la concentración general de proteínas disueltas en la hemolinfa (Rosas *et al.* 2001a). En contraste, los camarones adultos al no requerir de las proteínas para los ajustes osmóticos tenderán a acumularlas en la sangre, mostrando concentraciones más elevadas que las que son registradas en los juveniles.

El sistema estuarino ofrece protección y alimento a las poblaciones de juveniles. Por esta razón el sistema estuarino ha sido clasificado como zona de crianza para muchas especies de crustáceos. se observó una relación negativa entre colesterol, lactato y glucógeno de la glándula digestiva con el peso corporal (cuadro 3), indicando que los juveniles que habitan en los estuarios acumulan reservas en la sangre, tal vez como consecuencia de una

CUADRO 3. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL PESO CORPORAL Y LOS PARÁMETROS DE LA HEMOLINFA DE JUVENILES Y ADULTOS DE *L. SETIFERUS* COLECTADOS TANTO EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS COMO EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL ADYACENTE

	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADOS MEDIOS	F	P
OxiHc: peso vivo	14664.38	1.00	14664.38	87.90	0.00
Glucosa: peso vivo	114.56	1.00	114.56	0.50	0.48
Colesterol: peso vivo	1852.46	1.00	1852.46	8.36	0.00
TGA: peso vivo	422.16	1.00	422.16	1.84	0.18
Proteínas: peso vivo	1968.92	1.00	1968.92	8.80	0.00
Glucogeno: peso vivo	4548.74	1.00	4548.74	23.39	0.00
Lactato: peso vivo	6049.32	1.00	6049.32	39.07	0.00
ProFO: peso vivo	34.17	1.00	34.17	0.13	0.72
FO: peso vivo	3173.25	1.00	3173.25	12.74	0.00
Células Granulares: peso vivo	6231.16	1.00	6231.16	27.46	0.00
Células Hialinas: peso vivo	2335.41	1.00	2335.41	8.63	0.00
Células Totales: peso vivo	4363.43	1.00	4363.43	18.26	0.00
ERB: peso vivo	1157.30	1.00	1157.30	6.24	0.02
ERA: peso vivo	1207.76	1.00	1207.76	6.55	0.01

mayor tasa de ingestión. El colesterol es la base de la construcción de las membranas y participa en la síntesis de colágena y es el precursor de la hormona de la ecdisona (hormona de la muda). Al mismo tiempo, el lactato participa en el metabolismo de los carbohidratos promoviendo la formación de glucógeno, el cual es el elemento básico para la formación de la N-acetil-glucosamina, principal sillar para la síntesis de la quitina. Si estas dos moléculas son más abundantes en la sangre de los juveniles, es precisamente debido a que en esta etapa los organismos requieran de una mayor movilización de éstas para el crecimiento (Ceccaldi 1998, Teshima 1998).

El Golfo de México tiene una tremenda importancia ecológica debido a la diversidad biológica que contiene. Al mismo tiempo, la industria petrolera, la industria pesquera y la industria de la transportación marítima se encuentran todas en crecimiento, incrementando las presiones en el ecosistema marino y costero (Ridgway y Shimmieldb 2002). Los resultados presentados ahora como producto de los últimos diez años de investigaciones, sirven como base para entender cómo las fuerzas ambientales están ejerciendo una presión importante sobre una de las poblaciones valiosas del sur del Golfo de México, como el camarón blanco *L. setiferus*. Tomando en cuenta esa información y los intervalos biológicos de los parámetros sanguíneos ahora mostrados, es posible también proponer a *L. setiferus* como una especie centinela, no controversial, así como un modelo de bajo costo para evaluar los cambios potenciales que las actividades humanas pudieran ejercer en este importante ecosistema. Estos resultados ponen a la disposición de la comunidad científica interesada y de los planificadores ambientales los indicadores de estado nutricional y de la respuesta inmune de juveniles y adultos, los cuales pueden ser auxiliares en el estudio de los cambios de la calidad nutricional del ambiente marino o de la presencia de problemas de salud poblacional, e incluso de la integridad del ecosistema bentónico de esta región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el acuerdo bilateral UC-MEXUS-CONACYT dado a C.R. y E.L.C. Así mismo este estudio fue parcialmente apoyado por el CONACYT (proyecto -2002-C01-40987) y la DGAPA-UNAM (201102). Se agradece a Tomas Jesús García por el apoyo en las capturas de los organismos utilizados en el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adachi,K., Hirata,T., Nishioka,T., Sakaguchi, M. 2003. Hemocyte components in crustaceans convert hemocyanin into a phenoloxidase-like enzyme. *Comp. Biochem. Physiol.* 134B, 135-141.
- Adiyodi,G.R. 1985. Reproduction and its control. En: *The biology of crustacea: Integumentes, pigments and hormonal processes*. Academic Press, NY. Pp. 39-63.
- Alcaraz,G., Espinoza,V., Vanegas,C., Carrara,X.C. 1999. Acute Effect of Ammonia and Nitrite on Respiration of *Penaeus setiferus* Postlarvae under Different Oxygen Levels. *Journal of the World Aquaculture Society* 30: 98-106.
- Alfaro,J., Lozano,X. 1993. Development and deterioration of spermatophores in pond-reared *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society* 24: 522-529.
- Ashida, M., Söderhäll,K. 1984. The prophenoloxidase activating system in crayfish. *Comp. Biochem. Physiol.* 77B, 21-26.
- Balcom, B. 1994. Dispersed Oil Toxicity Tests with Species Indigenous to the Gulf of Mexico. Rep MMS: 14-35-0001-30617, 1-8, Minerals Management Service.
- Benítez, J.A., Bárcenas,C. 1996. Sistemas fluvio-lagunares de la Laguna de Términos: Hábitats críticos susceptibles a los efectos adversos de los Plaguicidas. In: Botello,A.V., Rojas-Galavis,J.L., Zarate-Lomelí,D. (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. Pp. 187-201.
- Botello, A.V., Ponce,V.G., Macko, S.A. 1996. Niveles de concentración de hidrocarburos en el Golfo de México. In: Botello,A.V., Rojas-Galavis,J.L., Benítez,J.A., Zarate-Lomelí,D. (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp. Pp. 225-253.
- Bray, W.A., Chamberlain,G., Lawrence,A. 1982. Increased larval production of *Penaeus setiferus* by artificial insemination during sourcing cruises. *Journal of the World Aquaculture Society* 13: 123-183.
- Bray, W.A., Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L., Robertson,S.M. 1985. Preliminary investigation of the effects of the temperature, bacterial inoculation and EDTA on the sperm quality in captive *Penaeus setiferus*. *J. World Maric.* 160: 250-257.
- Browdy, C.L., Stokes,A.D., Hopkins, J.S., Sandifer, P.A. 1991. Evaluation of intensive pond mono-and polyculture of *Penaeus setiferus* and *P. vannamei* in South Carolina. *Journal of the World Aquaculture Society* 22: 16-26.
- Brown, A.Jr., Macvey, J., Middleditch, B.S., Lawrencw, A.L. 1979. Maturation of white shrimp (*Penaeus setiferus*) in captivity. *World Maricul. Soc.* 10: 435-444.
- Ceccaldi, H.J. 1998. A synopsis of morphology and physiology of digestive system of

- some crustacean species studied in France. *Reviews in Fisheries Science* 6: 13-19.
- Chamberlain, G., Jonhson, S., Lewis, D. 1983. Swelling and melanization of the male reproductive system of captive adult peneid shrimp. *J. World Maricul.* 14: 135-136.
- Chen, J.C., Cheng, S.-Y. 1993a. Hemolymph PCO_2 , hemocyanin, protein level and urea excretions of *Penaeus monodon* exposed to ambient ammonia. *Aquatic Toxicology* 27: 281-292.
- Chen, J.C., Cheng, S.-Y. 1993b. Studies on hemocyanin and hemolymph protein levels of *Penaeus japonicus* based on sex, size and moultin cycle. *Comp. Biochem. Physiol.* 106B: 293-296.
- Chow, S., Browdy, C.L., Sandifer, P.A. 1993. Timing of ovulation in the Atlantic white shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767) (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana* 64: 242-248.
- Chow, S., Dougherty, M.M., Dougherty, W.Y., Sandifer, P.A. 1991. Spermatophore formation in the white shrimp *Penaeus setiferus* and *P. vannamei*. *J. Crust. Biol.* 11: 201-216.
- Claybrook, D.L. 1983. Nitrogen metabolism. En: Mantel, L. H. y D. E. Bliss (ed.). *The Biology of Crustacea, Internal anatomy and physiological regulation*. Vol. 5, Academic Press, New York. Pp. 163-213.
- Cooper, E.L. 1997. Ecotoxicology: Compromising immunodefense of aquatic and terrestrial species. En: *Proceedings. Symposium on Ecotoxicology: Responses, Biomarkers and Risk Assessment*. SOS Publications, Fairhaven NJ.,
- D'Abramo, L.R. 1997. Triacylglycerols and fatty acids. En: D'Abramo, L., Concklin, D.E., Akiyama, D.M. (eds.), *Crustacean Nutrition*, 6. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana. Pp. 71-84.
- Destoumieux, D., Saulnier, D., Garnier, J., Jouffrey, C., Bulet, P., Bachere, E. 2001. Antifungal peptides are generated from the C terminus of shrimp hemocyanin in response to microbial challenge. *The Journal of Biological Chemistry* 276: 47070-47077.
- Dougherty, W.J., Dougherty, M.M. 1989. Electron microscopical and histochemical observations on melanized sperm spermatophores of the pond-cultured shrimp, *Penaeus vannamei*. *J. Inver. Phatol.* 54: 331-343.
- Dougherty, W.J.D., M.M.a.H.S.G. 1998. Electron microscopical observations on melanized spermatophores of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture* 115: 23-32
- Fielder, D. R., Rao, K. R., y Fingerman, M. A. 1971 female-limited lipoprotein and diversity of hemocyanin components in the dimorphic variants of the fiddler crab, *Uca pugnator*. *Com.Biochem.Physiol.* 39B: 291-297.
- Gellisen, G., Hennecke, R., Spindler, K.D. 1991. The site of synthesis of hemocyanin in the crafish *Astacus leptodactylus*. *Experientia* 47: 194-195.
- Gerard, J.F., Gilles, R. 1972. The free amino-acid pool in *Callinectes sapidus* (Rathbun) tissues and its role in the osmotic intracelular regulation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 10:

125-136.

- Gold-Bouchot, G., Herrera-Rodríguez 1996. Efectos de los hidrocarburos sobre la comunidad de nemátodos bénticos de la Sonda de Campeche. In: Rojas-Galavis, J.L., Benítez, J.A., Zarate-Lomelí, D. (eds.), *Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Camp. México. Pp. 279-296.
- González-Félix, M.L., Gatlin III, D.M., Lawrence, A., Pérez-Velázquez, M. 2003a. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty acids on juvenil shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition* 9: 155-122.
- González-Félix, M.L., Lawrence, A., Gatlin III, D.M., Pérez-Velázquez, M. 2003b. Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juveniles shrimp growth, survival and fatty acid composition. *Aquaculture Nutrition* 9: 105-113.
- Hall, M., Wang, R., Van Antwerpen, R., Sottrup-Jensen, L., Söderhall, K. 1999. The crayfish plasma clotting protein: a vitellogenin-related protein responsible for clot formation in crustacean blood. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 1965-1970.
- Hanke, W.A.H.B.B.A.G.O.G.a.S.R. 1993. Mechanisms of hormonal actions on osmotic adaptation in fish: A review. In: Braunbeck, T.W.H.a.H.S. (ed.), *Fish: ecotoxycology and ecophysiology*, VCH, New York. Pp. 315-326.
- King, J.E. 1948. A study of the reproductive organs of the common marine shrimp *Penaeus setiferus* (Linnaeus, 1767). *Biol. Bull.* 94: 244-262.
- Krebs, C.J. 1998. *Ecological methodology*. Addison Wesley Longman, Inc, Menlo Park, CA.
- Krol, R.M., Hawkins, W.E., Overstreet, R.M. 1992. *Reproductive components*. In: *Microscopy anatomy of invertebrates*. Academic Press, NY. Pp. 1-122.
- Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L. 1987. Observations on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions. *Aquaculture* 65: 363-370.
- Leung-Trujillo, J.R., Lawrence, A.L. 1991. Spermatophore generation times en *Penaeus setiferus*, *P. vannamei* and *P. stylirostris*. *J. World Aquaculture Soc.* 22: 244—251.
- López, N., Cuzon, G., Gaxiola, G., Taboada, G., Valenzuela, M., Pascual, C., Sánchez, A., Rosas, C. 2003. Physiological, nutritional and immunological role of dietary α 1-3 glucan and ascorbic acid 2-monophosphate in *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture* 224: 223-243.
- Martínez, E., Aguilar, M., Trejo, L., Hernández, I., Díaz-Iglesia, E., Soto, L.A., Sánchez, A., Rosas, C. 1998. Lethal low dissolved oxygen concentrations for postlarvae and early juvenile *Penaeus setiferus* at different salinities and pH. *Journal of the World*

- Aquaculture Society* 29: 221-229.
- McMahon, B.R. 1988. Physiological responses to oxygen depletion in intertidal animals. *Am. Zool.* 28: 39-53.
- Misamore, M.J., Browdy, C.L. 1996. Mating behavior in the white shrimps *Penaeus setiferus* and *P. vannamei*: A generalized model for mating in *Penaeus* spp. *J. Crust. Biol.* 16: 61-70.
- Montaño-Pérez, K., Yepiz-Plascencia, G., Higuera-Ciapara, I., Vargas-Albores, F. 1999. Purification and characterization of the clotting protein from the white shrimp *Penaeus vannamei*. *Comp. Biochem. Physiol.* 122: 381-387.
- Muncy, R.J. 1984. *Species profiles life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (South Atlantic)*. US Wildlife Office, Publication No. J1323491: 1-25.
- Muñoz, M., Cedeno, R., Rodriguez, J., van der Knaap, W. P. W., y Mialhe, E. 2000. Measurement of reactive oxygen intermediate production in haemocytes of the penaeid shrimp, *Penaeus vannamei*. *Aquaculture*, vol 89-107: 20.
- Núñez-García, R.M. 2002. Efecto letal y subletal de un fluido de perforación polimérico en postlarvas y juveniles de *Litopenaeus setiferus* (crustacea; decapoda). Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Marina), posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Pp. 1-78.
- Palacios, E. 2000. Tissue biochemical composition in relation to multiple spawning in wild and pond-reared *Penaeus vannamei* broodstock. *Aquaculture*, vol. 185: 353-371.
- Palacios, E., Pérez-rostro, C.I., Ramirez, J.L., Ibarra, A.M., Racotta, I.S. 1999. Reproductive exhaustion in shrimp (*Penaeus vannamei*) reflected in larval biochemical composition, survival and growth. *Aquaculture* 171: 309-321.
- Pascual, C., Gaxiola, G., Rosas, C. 2003a. Blood metabolites and hemocyanin of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*: the effect of culture conditions and a comparison with other crustacean species. *Marine Biology* 142: 735-745.
- Pascual, C., Sánchez, A., Sánchez, A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G., Rosas, C. 2003b. Haemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of an extreme temperature. *Aquaculture* 218: 637-650.
- Pascual, C., Valera, E., Re-Regis, C., Gaxiola, G., Sánchez, A., Ramos, L., Soto, L.A., Rosas, C., 1998. Effect of temperature on reproductive tract condition of *Penaeus setiferus* adult males. *World Aquaculture Society* 29: 477-484.
- Pérez, L., Ramos, L. 1992. Determinación de la proporción de machos del camarón blanco *Penaeus schmitti* en tanques de maduración inducida para el incremento de la cópula natural. *Rev. Inv. Mar.* 13: 137-176.
- Primavera, J.H., 1985. A review of maturation and reproduction in closed thelycum penaeids. En: Y.Taki, J.H.Primavera, Llobrera, J.A. (eds.). Proceedings of the First International Conference of the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps. Iloilo City,

- Philippines. Pp. 47-64.
- Renaud, M.L. 1986. Detecting and avoiding oxygen deficient sea water by brown shrimp *Penaeus aztecus* (Ives) and white shrimp *P. setiferus* (Linnaeus). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 98: 283-292.
- Ridgway, J., Shimmield, G. 2002. Estuaries as Repositories of Historical Contamination and their Impact on Shelf Seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 903-928.
- Ro, S., Talbot, P., Leung-Trujillo, J., Lawrence, A.L. 1990. Structure and function of the vas deferens in the shrimp *Penaeus setiferus*: segments 1-3. *Crust. Biol.* 10: 455-468.
- Rosas, C., Sánchez, A., Escobar, E., Soto, L., Bolongaro-Crevenna, A. 1992. Daily variations of oxygen consumption and glucose hemolymph level related to morphophysiological and ecological adaptations of crustacea. *Comp. Biochem. Physiol.* 101A: 323-328.
- Rosas, C., Sánchez, A., Chimal, M.E., Saldaña, G., Ramos L., y Soto, L.A. 1993. The effect of electrical stimulation on spermatophore regeneration in white shrimp *Penaeus setiferus*. *Aquatic Living Resources* 8: 139-144.
- Rosas, C., Sánchez, A., Díaz-Iglesia, E., Brito, R., Martínez, E., Soto, L.A. 1997. Critical dissolved oxygen level to *Penaeus setiferus* and *Penaeus schmitti* postlarvae (PL sub(10-18)) exposed to salinity changes. *Aquaculture* 152: 259-272.
- Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola G., Díaz, E., Brito, R., Soto, L. 1998. Effect of dissolved oxygen on the energy balance and survival of *Penaeus setiferus* juveniles. *Mar Ecol Prog Ser* 174: 67-75.
- Rosas, C., Martínez, E., Gaxiola, G., Brito, R., Sánchez, A., Soto, L.A. 1999. The effect of dissolved oxygen and salinity on oxygen consumption, ammonia excretion and osmotic pressure of *Penaeus setiferus* (Linnaeus) juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 234: 41-57.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., LePriol, Y., Pascual, C., Rossignol, J., Contreras, F., Sánchez, A., Van Wormhoudt, A. 2001a. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 259: 1-22.
- Rosas, C., Cuzon, G., Taboada, G., Pascual, C., Gaxiola G., Van Wormhoudt, A. 2001b. Effect of dietary protein and energy levels (P/E) on growth, oxygen consumption, hemolymph and digestive gland carbohydrates, nitrogen excretion and osmotic pressure of *Litopenaeus vannamei* and *L. setiferus* juveniles (Crustacea, Decapoda; Penaeidae). *Aquaculture Research* 32: 1-20.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L., Van Wormhoudt, A. 2002. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experi-*

- mental Marine Biology and Ecology* 268: 47-67.
- Sánchez, A., Pascual, C., Sánchez A., Vargas-Albores, F., LeMoullac, G., Rosas, C. 2001. Hemolymph metabolic variables and immune response in *Litopenaeus setiferus* adult males: the effect of acclimation. *Aquaculture* 198: 13-28.
- 2002. Acclimation of adult males of *Litopenaeus setiferus* exposed at 27°C and 31°C: Bioenergetic balance. In: Escobar-Briones, E.G., Alvarez, F. (eds.), *Modern Approaches to the study of crustacea*, Kluwer Academic Press, New York. Pp. 45-52.
- Schmidt-Nielsen, K. 1990. *Animal Physiology: Adaptation and environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sritunyalucksana, K., Söderhall, K. 2000. The proPO and clotting system in crustaceans. *Aquaculture* 191: 53-69.
- Talbot, P., Howard, D., Leung-Trujillo, J., Lee, T.W., Li, W.Y., Ro, H., Lawrencw, A.L. 1989. Characterization of the males reproductive tract degenerative syndrome in captive peneid shrimp (*Penaeus setiferus*). *Aquaculture* 78: 365-377.
- Teshima, S.i. 1998. Nutrition of *Penaeus japonicus*. *Reviews in Fisheries Science* 6: 97-111.
- Vargas-Albores, F., Yepiz-Plascencia, G. 2000. Beta glucan binding protein and its role in shrimp immune response. *Aquaculture* 191: 13-21.
- Vernberg, J.L. 1983. Respiratory adaptations. En: Vernberg, J.L., Vernberg, W. (eds.), *The biology of crustacean* 8. Academic Press, Inc. Pp. 147-215.
- Williams, A.B. 1984. *Shrimp, lobsters and crabs of the Atlantic coast of the Eastern US Maine to Florida*. Smithsonian Institution Press.
- Yano, I., Kanna, R.A., Oyama, R.N., Wybay, J.A. 1988. Mating behavior in the peneid shrimp *Penaeus vannamei*. *Mar. Biol.* 97.
- Zein-Eldin, Z.P.a. R.M.L. 1986. Inshore Enviromental Effects on Brown Shrimp *Penaeus aztecus* and White Shrimp *P. setiferus* Populations in Coastal Waters, Particularly of Texas. *Marine Fisheries Review* 48: 9-19.

EUTROFIZACIÓN COSTERA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

*Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli
Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden*

INTRODUCCIÓN

Resulta ampliamente reconocido que los países que no pueden planificar su estrategia de desarrollo económico en armonía con la conservación de los recursos naturales y su manejo, quizá no pueden sustentar ninguna clase de progreso en las áreas de salud, alimentación, vivienda, energía y otras necesidades críticas. Bajo este contexto, México se encuentra ante un gran reto en virtud de su riqueza de recursos naturales y de las necesidades económicas y sociales de sus habitantes.

Para ello, se debe desarrollar una estrategia económica, social y ambientalmente compatible que tenga como meta ofrecer una mejor calidad de vida a la población humana. Bajo esta premisa el investigador y el experto en manejo deben enfrentar complejas opciones de investigación, uso y administración de los recursos naturales, de los ecosistemas terrestres y acuáticos con los que cuenta el país.

Entre los sistemas que integran ambientes terrestres y acuáticos destaca de manera particular la zona costera, la cual puede definirse como un área donde tienen lugar interacciones entre procesos marinos, atmosféricos, terrestres, fluviales, subterráneos y antrópicos, lo cual le ha conferido no sólo riqueza de paisaje, sino que también estos procesos son responsables de que haya una alta diversidad y productividad biológica, haciendo

de la zonacostera un sitio atractivo para nuevos asentamientos humanos y desarrollo de actividades económicas.

México es de los países en los que la proporción de territorio terrestre y marítimo se inclina claramente hacia el mar, ofreciendo una serie de oportunidades de desarrollo, pero también imponiéndole una serie de retos en función de que cualquiera que sea el uso de sus recursos marinos, éste sea ambientalmente amigable. Desafortunadamente ésto no ha sucedido así, y ya es posible encontrar casos en los que pesquerías, playas, estuarios, lagunas costeras, zonas de manglar, y fauna silvestre, entre otros recursos, han sufrido severos daños (Merino *et al.* 1992, Rivera-Arriaga y Villalobos 2001, Euan-Avila y Witter 2002).

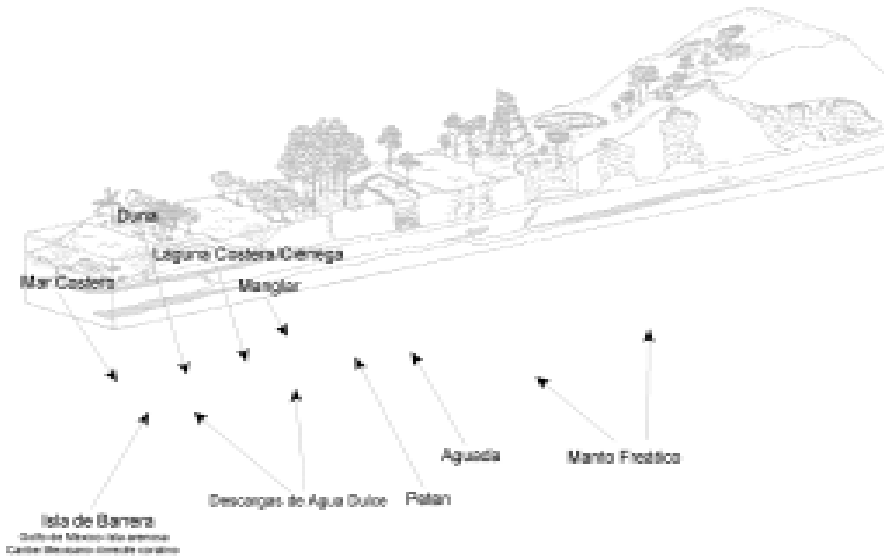
Esta tendencia al deterioro ambiental no es exclusiva de México, por lo que se está tratando de revertir teniendo como marco de referencia los conceptos generales del manejo integral de la zona costera con un enfoque de desarrollo de largo plazo, en el que a través de una serie de herramientas de captura, análisis e integración de información económica, social y ambiental se puedan ofrecer lineamientos que orienten el desarrollo sustentable de las costas mexicanas (figura 1).

Cualquiera que sea la estrategia de desarrollo, ésta debe contemplar acciones que permitan dar seguimiento a las consecuencias en el medio ambiente costero producto de las actividades antrópicas, lo cual permitirá contar con programas que mitiguen o reviertan la causa del problema observado. Para ello, se debe seleccionar un indicador que aporte información no sólo sobre las consecuencias, sino también sobre el origen del problema, orientando actividades que conduzcan a la sustentabilidad de un recurso o ecosistema.

Entre las características e indicadores que han demostrado ser útiles para este propósito en las costas de otros países tanto desarrollados como en vías de lograrlo, han sido los relativos a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos costeros. Éste ha sido uno de los principales problemas que se han identificado y sobre los que mayor cantidad en recursos económicos se han destinado no sólo para entenderlo sino también para mitigarlo y solucionarlo (Urban *et al.* 1996)

El proceso de eutrofización consiste en el aumento de la producción de materia orgánica como resultado del incremento en la adición de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo. Este es un proceso natural que ha sido acelerado por las actividades humanas, nombrándosele eutrofización cultural, se le reconoce por una mayor acumulación de la materia orgánica

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MOSTRANDO LOS PRINCIPALES TIPOS DE ECOSISTEMAS CON ÉNFASIS EN LOS DE LA ZONA COSTERA



producida en forma de algas. Entre los síntomas del proceso de eutrofización cultural que se han utilizado como indicadores de éste problema destacan las concentraciones de Clorofila-a en la columna de agua, la frecuencia, cobertura espacial y toxicidad de los florecimientos de algas nocivas, la reducción de la cobertura de pastos marinos y la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua, entre otros (Bianchi *et al.* 1999, Howarth *et al.* 2002).

Las consecuencias de estos síntomas incluyen la pérdida del hábitat con cambios en la biodiversidad, impactos a pesquerías recreativas y comerciales, impactos a las actividades turísticas, e incluso a la salud humana y a la de los ecosistemas en general.

Si bien el proceso de eutrofización está bien documentado para ecosistemas de agua dulce desde hace más de 20 años, en ambientes costeros

es aún pobremente entendido, por lo que existen importantes programas de investigación y monitoreo para las costas de Estados Unidos de América y de la Comunidad Europea; en ambos casos éste proceso se ha incorporado como un elemento de diagnóstico ambiental de los ecosistemas costeros (Bricker *et al.* 1999, ICRAM 2000). En México se carece de este tipo programas y de diagnósticos bajo un contexto espacial de gran escala como lo es el Golfo de México.

Para evaluar el problema de eutrofización y considerarlo como un elemento de diagnóstico que a través de su monitoreo permita evaluar el éxito de las estrategias de manejo en los ecosistemas costeros del Golfo de México, es necesario desarrollar las bases científicas para asegurar la sustentabilidad de este gran ecosistema. Las bases que dan soporte al diagnóstico se fundamentan en la determinación de la variabilidad espacial y temporal de la eutrofización y las variables con las cuales se relaciona.

Para ello, la estrategia inicia con la investigación para determinar los indicadores y los valores de referencia de variables de la condición trófica de los ecosistemas costeros, siguiendo un esquema de variabilidad espacial y temporal a diferentes escalas. A través de ello se podrán proponer los programas de monitoreo *ad hoc*, que proporcionen elementos de decisión a los administradores y funcionarios relacionados con el manejo de los recursos naturales de los ecosistemas costeros.

Sin embargo, debido a las diferencias geológicas, de clima y geográficas entre otras de los ecosistemas costeros, las condiciones de referencia son diferentes de una región a otra. De forma similar, los cuerpos de agua como estuarios, zona marina costera, bahías y lagunas costeras, frecuentemente responden diferencialmente a los aportes de nutrientes que provienen de diferentes fuentes (ríos, escorrentía, descargas subterráneas, entre otros). Esto significa que los criterios deben ser diseñados de forma particular para cada tipo de cuerpo de agua y región donde ellos se encuentran.

En México, la normatividad es deficiente en considerar los riesgos a los ecosistemas acuáticos y a la salud que la eutrofización puede desencadenar. Esto se basa en que de acuerdo con la normatividad que aplica a los ambientes costeros en cuanto a valores de referencia para la vida acuática que se establece en los Criterios ecológicos de calidad del agua (CNA 2000), se asume que todos los cuerpos de agua costera (Costa de Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe) son similares, ya que no hace distinción entre ellos. Adicionalmente, en ésta misma norma, el proceso de eutrofización es subestimado como problema, ya que no incluye variables o indicadores de este proceso (Clorofila-a,

transparencia del agua, comunidad del fitoplancton, mareas rojas, vegetación acuática sumergida-VAS), y que se han reconocido como claves para el diagnóstico y monitoreo de este problema (EPA 1999).

ÁREA DE ESTUDIO

En el caso particular de la Península de Yucatán, el ambiente costero ha sido reconocido como el recurso natural más valioso, por lo que contar con indicadores para el diagnóstico y monitoreo del proceso de eutrofización de sus ecosistemas costeros cobra importancia desde la perspectiva del tipo de suelo (cárstico), descarga del acuífero (manantiales subterráneos y descargas no puntuales), dominancia de actividades agropecuarias, y desarrollo costero en el que la actividad turística es dominante (Capurro *et al.* 2002).

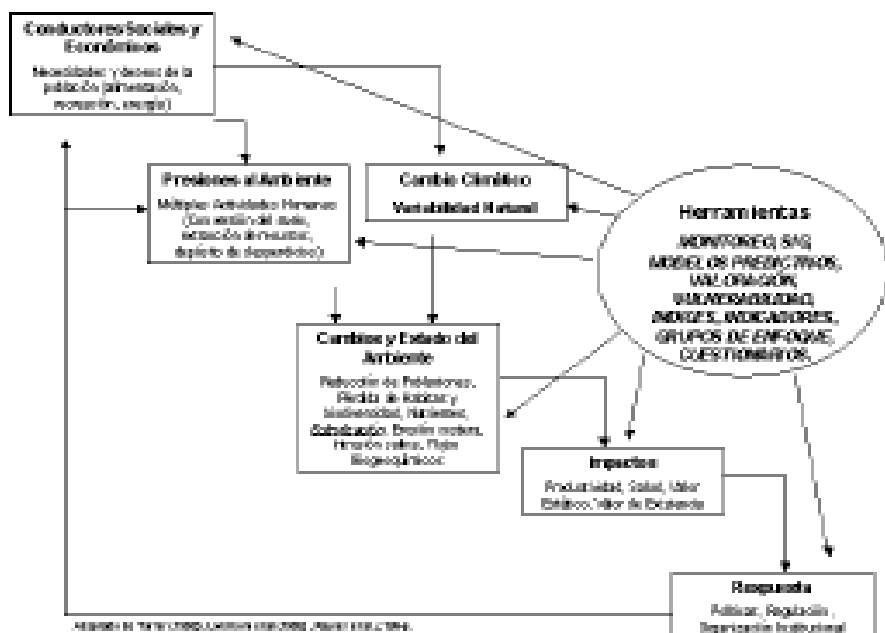
Es importante señalar que de los más de 4 millones de habitantes en la Península de Yucatán, el 90% vive a menos de 100 km de la costa, la tasa de natalidad es mayor (2.2%) al promedio nacional (1.7%), tiene una alta inmigración y se espera que se impulse oficialmente el desarrollo de la costa a través de actividades como el turismo, el transporte marítimo, el desarrollo portuario, la acuicultura y las pesquerías.

Por lo anterior, la población y los asentamientos humanos crecerán, y se seguirán dando cambios en el uso del suelo, continuarán los impactos en ecosistemas como manglares, lagunas costeras, playas, dunas, vegetación sumergida e incluso en los arrecifes de coral. Esto ocasionará problemas de salud, disminución del beneficio económico y descontento social si no se ponen en marcha estrategias de manejo costero que estén sustentadas en el diagnóstico y en indicadores que permitan identificar los problemas y dar seguimiento a las alternativas de solución.

Entre los aspectos ambientales que caracterizan a la Península de Yucatán, destaca que su cuenca hidrográfica presenta particularidades como una topografía muy homogénea, ausencia de ríos y suelos cársticos, lo que favorece la infiltración de agua proveniente de la precipitación hacia el acuífero, el cual descarga en los ecosistemas costeros a través de manantiales y fuentes no puntuales (figura 2), estimándose un aporte de 9-11 millones/m³/año/km de costa.

Esta característica es particularmente importante ya que así como el agua se infiltra rápida y fácilmente al acuífero, también lo hacen todo tipo de contaminantes. Si se considera que entre las actividades productivas dominantes de la zona están la industria turística, agropecuaria, salinera y la

FIGURA 2. MODELO CONCEPTUAL DE LAS INTERACCIONES ENTRE COMPONENTES DEL MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA



urbana, es fácil imaginar que los principales contaminantes son de tipo orgánico (nitrógeno y fósforo), si además se adiciona el hecho de que más del 90% de estas actividades no existen plantas de tratamiento de aguas residuales y en el otro 10% las que existen son deficientes, no es extraño que se observen ya algunos síntomas y consecuencias del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, como la frecuencia de florecimientos algales nocivos, la disminución de la cobertura de pastos marinos, intoxicaciones por consumo de productos del mar, e incluso el cierre de playas a la actividad turística (Merino *et al.* 1992, Reyes y Merino 1991, Herrera-Silveira *et al.* 2002).

Es bajo este contexto que el CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, como parte de su Programa de Procesos y Manejo Costero, inició una línea de investiga-

ción sobre el análisis del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de Yucatán, con miras a entender las causas y consecuencias de este proceso en un contexto de calidad del agua, y desarrollar indicadores y programas de monitoreo acordes con la problemática ambiental de la zona, que permita diagnosticar la condición actual y la vulnerabilidad de los diferentes ecosistemas costeros de la Península de Yucatán al proceso de eutrofización, así como dar soporte a las políticas de manejo del agua y por lo tanto medir el éxito de las acciones de conservación, rehabilitación/restauración o saneamiento.

Por lo anterior, este capítulo presenta resultados concernientes al diagnóstico de la calidad del agua de los ecosistemas costeros a través de indicadores del estado trófico de diferentes tipos de ecosistemas de la Península de Yucatán. De esta manera, se pretenden identificar las variables y procesos clave relacionados con la eutrofización y proveer el soporte técnico para la implementación de las políticas de manejo del agua costera.

APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

La aproximación metodológica ha tenido que considerar diferentes aspectos desde los geohidrológicos de la zona, hasta los de tipo e intensidad de actividades humanas en las costas. La zona de estudio incluye lagunas costeras, bahías y zona marina, denominada costa, en localidades desde Campeche hasta Chetumal, cubriendo un amplio espectro de tipos e intensidad de usos (cuadro 1, figura 3).

Las campañas de muestreo en todas las localidades consisten en al menos un ciclo anual con visitas mensuales, mientras que en otros, los resultados son de más de 10 años de monitoreo. En cada sitio se colectaron muestras en al menos 15 estaciones cubriendo áreas de 20 hasta 900 km². En los muestreos se han empleado tanto técnicas y equipo convencional como no convencional, en específico el uso de un equipo de mapeo sinóptico de variables hidrológicas conocido como “DataFlow IV” (Madden y Day 1992). Esto obedece a que en esta región del Golfo de México, donde las descargas de agua dulce a los ecosistemas costeros es predominantemente subterránea, la determinación de la heterogeneidad espacial es difícil de establecer, por lo que nuevas tecnologías tienen que ser utilizadas.

Las variables medidas han incluido características físicas y químicas del agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicato) siguiendo las técnicas y recomendaciones de Parsons *et al.*

CUADRO 1. SE PRESENTAN LOS SITIOS EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN DONDE SE HA COLECTADO INFORMACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE CLOROFILA -A (V/F-Q-CLA), ASÍ COMO DE LAS COMUNIDADES DE FITOPLANCTON Y/O VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA (V/Ft-VAS)

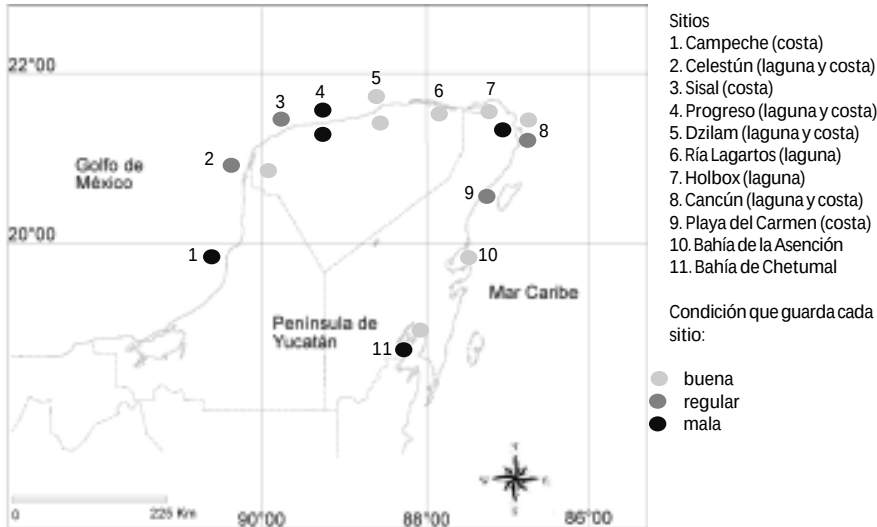
SITIO	SISTEMA Y REGIÓN	V/F-Q-CLAV/FT, VAS		INTENSIDAD DE USO			
				U	T	P	P _T
Campeche	C/G	X		+	+	-	+
Celestún	LB/G	X	X	+/-	+/-	+	-
Laguna Celestún	LB/G	X	X	-	+/-	+	-
Sisal	C/G	X	X	+/-	-	+/-	+/-
Progreso	C/G	X	X	+	+	+	+
Laguna Chelem	LB/G	X	X	+	-	-	+
Dzilam	C/G	X	X	+	-	+	+
Bocas de Dzilam	LB/G	X	X	-	-	-	-
Río Lagartos	LB/G	X		+/-	+/-	+	+/-
Holbox	LB/G	X		+/-	+/-	+	+/-
Cancún	C/C	X	X	+	+	-	+
Nichupte/Bojorquez	LB/C	X		+	+	-	-
Isla Mujeres	C/C	X	X	+	+	+/-	+
Playa del Carmen	C/C	X		+	+	-	+
Bahía de la Ascensión	LB/C	X	X	-	-	+	-
Chetumal	LB/C	X		+	+/-	-	+/-

Se identifican los principales usos: Urbano (U), Turístico (T), Pesquero (P), Portuario (PT), así como su intensidad: bajo (-), intermedio (+/-), alto (+). Lagunas y Bahías del Golfo (LB/G), lagunas y bahías del Caribe (L/BC), costa del Golfo (CG), costa del Caribe (CC).

(1984); de la comunidad del fitoplancton (Clorofila-a, composición y densidad por grupos) aplicando las técnicas descritas en Jeffrey *et al.* (1997); y de pastos marinos y macroalgas (cobertura) de acuerdo con Fourqurean *et al.* (2002). Sin embargo, no todas las variables han sido medidas en todas las localidades (cuadro 1), quedando aún mucho por investigar y por lo tanto para implementar los programas de monitoreo *ad hoc*.

Para el análisis de la información de variables físicas, químicas y clorofila-a de la columna de agua, se agruparon los sitios en los sistemas: lagunas/bahías y costa, de las regiones del Golfo y Mar Caribe (cuadro 1, figura 3).

FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS SELECCIONADOS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE EUTROFIZACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, CON BASE EN VARIABLES, QUÍMICAS, DE FITOPLANCTON Y VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA



Esta división obedece a que se han identificado diferencias entre las aguas de estas dos grandes regiones así como entre ecosistemas semicerrados y abiertos (Troccoli 2001, Herrera-Silveira *et al.* 2002)

El análisis de la información consistió en determinar los valores e intervalos de referencia de variables físicas, químicas y clorofila-a de la columna de agua por región. Para ello se siguió la recomendación de EPA (2001), la cual se basa en calcular la mediana del conjunto de datos; ésta tiene en cuenta el orden de los datos más no su magnitud, por ello no es afectada por valores extremos. Como medida de su variabilidad y que a su vez establece los límites superior e inferior dentro de los cuales cualquier dato es considerado como normal, se calcularon los cuartiles inferior y superior.

Para determinar diferencias estadísticas de las variables analizadas entre las regiones se aplicó un análisis gráfico de cajas (figura 4). En estos gráficos se evalúa la existencia de diferencias entre grupos de medianas de una variable dependiente con base en un factor –las regiones–. La línea horizontal de cada

caja corresponde a la mediana y próxima a ésta la media (simbolizada por una cruz). La porción superior e inferior de cada caja representan el 25° y 75° percentiles (cuartiles-intervalo), mientras que los extremos de las barras son el 5° y 95° percentiles. La muesca lateral en las cajas corresponde al 95% del intervalo de confianza de la mediana, por ello, cuando las muescas entre dos cajas no se sobrelapan, se asume que las medianas son significativamente diferentes (Boyer *et al.* 1997).

En relación con el estado trófico de cada tipo de ecosistema y región, éste se obtuvo integrando la información de variables químicas, fitoplancton y VAS, según los datos que se tienen de cada sitio (cuadro 1), y siguiendo los criterios y recomendaciones de los trabajos realizados para el diagnóstico del estado de eutrofización de los estuarios de EE.UU. (Bricker *et al.* 1999) y de aguas costeras oligotróficas (Karydis *et al.* 1983).

DIAGNÓSTICO

Las medianas y valores intercuartiles que representan el valor de referencia y su intervalos de variación natural para cada tipo de ecosistema y región se pueden observar en el cuadro 2.

La temperatura es mayor en la costa del caribe (C/C) y menor en la del Golfo (C/G); sin embargo, es más variable en las lagunas y bahías del Golfo (L/BG). Se observan diferencias significativas entre regiones (figura 4a), siendo la del Caribe la que en general presenta mayores temperaturas.

La salinidad es mayor en la región C/G y menor en L/BG, aunque este grupo de ecosistemas presenta la mayor variabilidad tanto para salinidades bajas como altas. Los ecosistemas de C/C presentan una variabilidad muy baja. Las diferencias significativas se observan entre los ecosistemas del Golfo y Caribe (figura 4b).

En relación con el oxígeno disuelto los valores de referencia más altos se observan en los ecosistemas del Caribe, con mayor variabilidad en las concentraciones de los sistemas de L/BG. Las diferencias significativas en las concentraciones medianas se observan entre los sistemas del Golfo y Caribe (figura 4c).

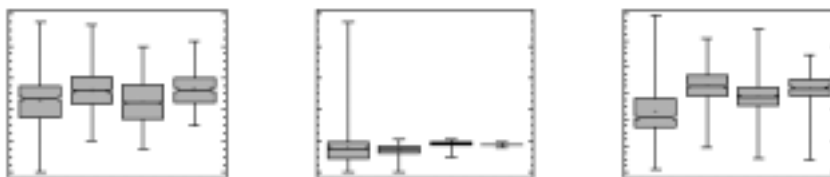
Por lo que respecta a los nutrimentos, la concentración de nitrato es mayor en la región C/G y menor en la C/C, siendo más variable en los ecosistemas de la región L/BG. Las diferencias significativas se observan entre la C/C y las demás regiones (figura 5a). La concentración mediana de nitrato es mayor en la región C/C y menor en la de C/G. Con mayor varia-

CUADRO 2. VALORES DE REFERENCIA (MEDIANA) E INTERVALO DE VARIABILIDAD (CUARTIL INFERIOR Y SUPERIOR) DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS, Y CLOROFILA-A DE REGIONES COSTERAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (LB/G), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC).

REGIÓN VARIABLE	LB/G	LB/C	C/G	C/C
Temperatura °C	27.3 25-29	28.3 26.7-35.1	26.8 24.8-29.1	28.4 26.8-29.9
Salinidad	30.6 18.4-37.4	30.3 24.6-34	36.9 35.4-38.2	34.9 34.7-35.4
Oxígeno disuelto, mg/l	4.4 3.4-5.6	6.5 5.8-7.4	5.7 5-6.4	6.4 5.8-7
Nitrito µmol/l	0.39 0.16-1.04	0.47 0.26-0.86	0.57 0.23-0.97	0.21 0.05-0.42
Nitrato µmol/l	2.6 1.1-7	1.8 0.8-3.7	2.8 1.3-6	1.9 1-9.1
Amonio µmol/l	4.7 2.5-8.5	3.7 2-6.6	3.7 2.1-6.2	2.4 1.9-3.4
Fosfato µmol/l	0.5 0.15-1.1	0.7 0.36-1	0.4 0.3-0.8	0.6 0.4-0.9
Silicato µmol/l	62 23-118	18 10-35	7 4-12	4 3-8
Clorofila-a µg/l	3.8 2.2-6	0.59 0.34-1.1	2.3 1.2-5	0.35 0.25-0.5-

bilidad en los ecosistemas de L/BC (figura 5b). En relación con el amonio, la mayor concentración mediana se registro en los sistemas de L/BG, mientras que la menor lo fue en C/C. La mayor variabilidad se observó en la región C/G, registrándose diferencias significativas entre C/C y los demás tipos de

FIGURA 4. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y OXÍGENO DISUELTO ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC)



ecosistemas (figura 5c). El fosfato presenta una mayor concentración de referencia y variabilidad en los ecosistemas de L/BC, observándose diferencias significativas entre las regiones del Golfo y el Caribe (figura 6a). Por último, en el caso de los silicatos, el mayor valor de referencia y variabilidad se registró en los sistemas de L/BG, mientras que la menor se obtuvo en los de C/C. Diferencias significativas se observan entre los tipos de sistemas (lagunas/bahías mayores que en costa) (figura 6b).

Por lo que respecta a las concentraciones de clorofila-a (Cl-a), los valores de referencia más altos se observaron en los ecosistemas del Golfo, al igual que la mayor variabilidad. Las diferencias significativas en las concentraciones de Cl-a son entre ecosistemas del Golfo y el Caribe (figura 6c).

En cuanto a otros indicadores de eutrofización como la comunidad de fitoplancton y VAS. El diagnóstico se concentra en cuatro localidades del norte de Yucatán (Celestún, Sisal, Progreso y Dzilam), en donde estas variables han sido medidas regularmente en años recientes.

Respecto al fitoplancton, en Celestún la comunidad es dominada por diatomeas, seguida por dinoflagelados y cianobacterias. Los cambios interanuales se reflejan en un aumento de las especies de dinoflagelados y cianobacterias (figura 7a). Por lo que respecta a Sisal, la abundancia relativa es dominada por el grupo de las diatomeas; sin embargo, se observan cambios interanuales en los que han aumentado los grupos; dinoflagelados y clorofitas (figura 7b). En el caso de Progreso, la comunidad está domina-

FIGURA 5. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE NITRITO, NITRATO Y AMONIO ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC).

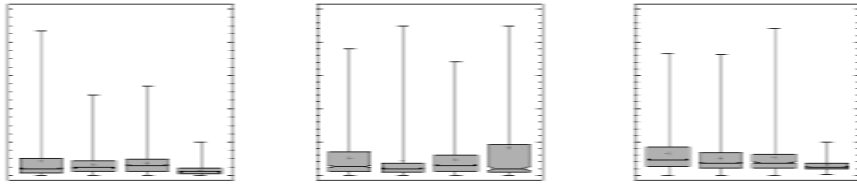
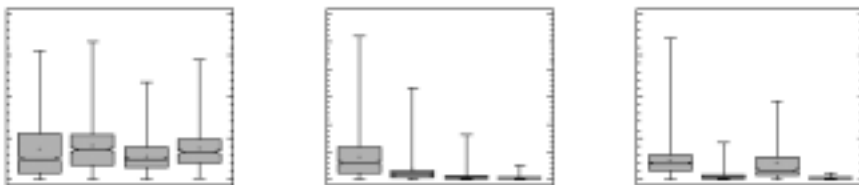


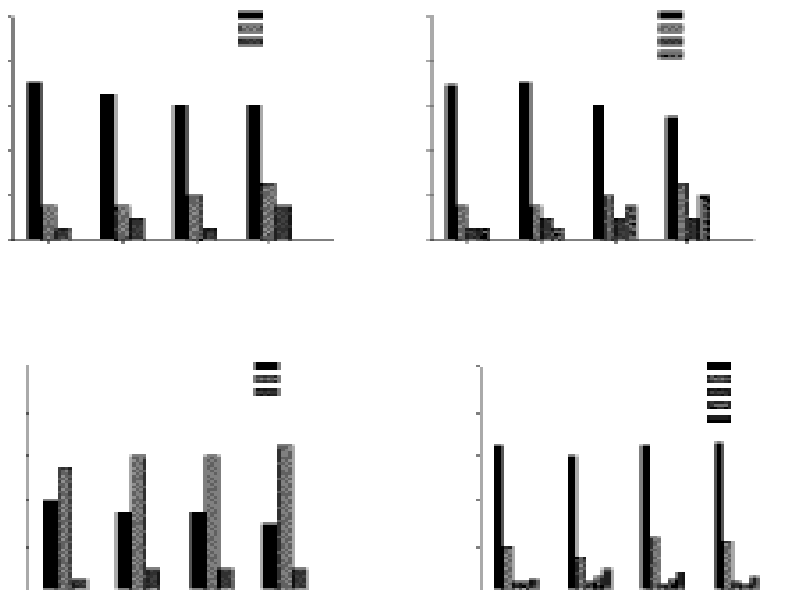
FIGURA 6. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS Y VARIABILIDAD DE FOSFATO, SILICATO Y CLOROFILA-A ENTRE TIPOS DE ECOSISTEMAS DE REGIONES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. LAGUNAS Y BAHÍAS DEL GOLFO (L/BG), LAGUNAS Y BAHÍAS DEL CARIBE (L/BC), COSTA DEL GOLFO (CG), COSTA DEL CARIBE (CC)



da por organismos representativos de los dinoflagelados, seguidos por las diatomeas, y no se observan diferencias interanuales significativas (figura 7c). Por lo que respecta a Dzilam, la comunidad está dominada por diatomeas seguida por los dinoflagelados; sin embargo, en esta localidad se observa un mayor número de grupos del fitoplancton como los de cianobacterias, clorofitas y criptofitas, y no se observan cambios interanuales (figura 7d).

Por lo que respecta a la vegetación acuática sumergida, el grupo dominante por su cobertura son los pastos marinos, siendo la especie más frecuente *Thalassia testudinum* (Aguayo 2003). Esta comunidad presenta dife-

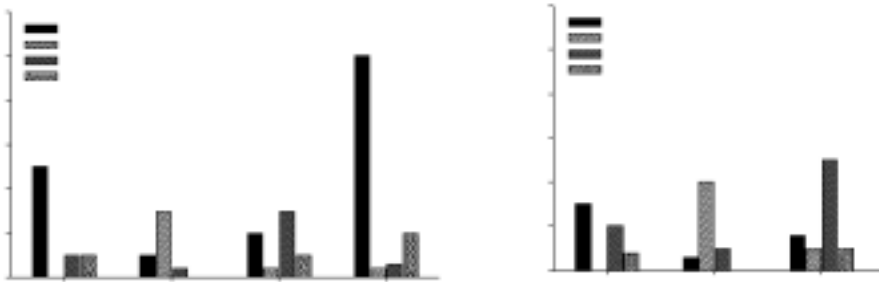
FIGURA 7. COMPOSICIÓN Y CAMBIOS INTERANUALES DE LOS GRUPOS DE FITOPLANCTON EN CUATRO LOCALIDADES DEL NORTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN



rencias entre sitios y se han observado cambios interanuales (figura 8). En Celestún el grupo dominante son los pastos, sin embargo, los cambios interanuales reflejan reducción en su cobertura, y aumento de las algas filamentosas. Respecto a la zona de Sisal, el grupo dominante son las algas rojas; interanualmente se observa aumento de este grupo. En la localidad de Progreso, las algas filamentosas es el grupo que domina la cobertura, y se observan cambios interanuales de aumento de ese grupo y reducción de los otros componentes. Por lo que respecta a Dzilam, los pastos marinos dominan la cobertura, sin embargo, se observa una disminución interanual.

Uno de los retos en la investigación y monitoreo de los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, es el que se refiere a la variabilidad espacial de las características hidrológicas, debido a la forma en la que el

FIGURA 8. COBERTURA DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA SUMERGIDA Y CAMBIOS INTERANUALES EN LOCALIDADES DEL NORTE DE YUCATÁN. CELESTÚN (CEL), SISAL (SIS), PROGRESO (PRO) Y DZILAM (DZI)



agua dulce penetra en los ecosistemas costeros (descargas subterráneas) y a las diferencias que tienen estas descargas respecto a las de los ríos, en términos de su baja temperatura y carga de sedimentos (Herrera-Silveira 1994).

Para ello, se ha utilizado un equipo de mapeo sinóptico de calidad del agua que permite por una parte coleccionar gran cantidad de información, así como hacerlo en lapsos de tiempo muy breves, ya que el equipo está diseñado para detectar diferentes variables (temperatura, salinidad, transparencia y fluorescencia) a través de un sistema de flujo continuo y con la embarcación en movimiento. Si bien se cuenta con información para la mayoría de los sitios que se citan en el cuadro 1, aquí se presenta el análisis de una localidad que tiene importancia no sólo por sus ecosistemas costeros sino por su ubicación geográfica y repercusiones económicas, se trata de los polígonos del Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, en las costas de Quintana Roo (Herrera-Silveira *et al.* 2002b).

Los datos de los recorridos utilizando el “Dataflow IV”, se presentan en las figuras 9, 10, 11 y 12. En este caso la frecuencia de muestreo fue de cada 10 segundos (aproximadamente cada 50 m), y corresponden a los años 2001 y 2002.

Lo primero que se observa es la alta variabilidad espacial que hay en algunas de las características, lo que demuestra que las aguas costeras de estos sitios (zonas arrecifales) consideradas como ambientalmente estables,

son más heterogéneas espacialmente de lo que se pensaba.

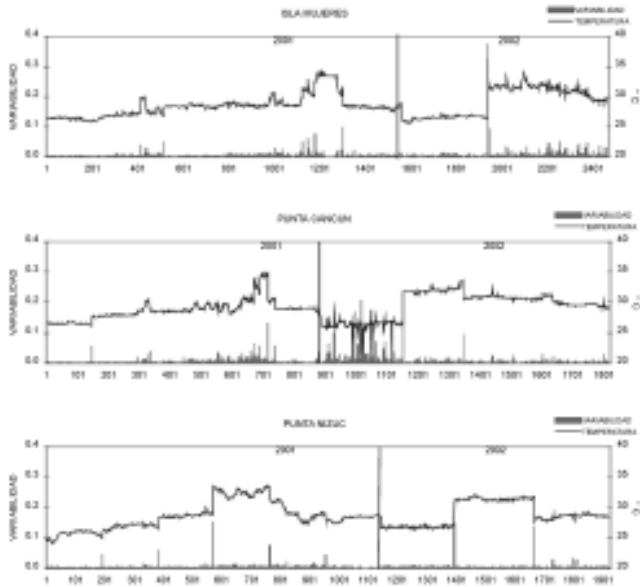
La temperatura fluctuó entre 21.6 °C y 36.34 °C (figura 9). El sitio con mayor variabilidad a nivel microescala espacial fue Punta Cancún, mientras que el de menor variabilidad fue Punta Nizuc. En relación con la salinidad ésta varió entre 28.2 y 36.8 (figura 10), presentando mayor heterogeneidad espacial a microescala espacial el polígono de Punta Nizuc. Por lo que respecta a la transparencia, la variación fue de 1.01 a 4.29 en un intervalo que va de 0 (aguas totalmente opacas) a 5 (aguas de transparencia completa) (figura 11). Esta variable fue más heterogénea en el polígono de Isla Mujeres y se observan diferencias interanuales. En relación con la fluorescencia como una medida de la Clorofila-a *in vivo*, esta variable se registró en un intervalo de 0.09 a 0.59 (figura 12), del intervalo 0 a 5 unidades de fluorescencia *in vivo*, con lo cual se confirma la tendencia oligotrófica de esas aguas. Sin embargo, su heterogeneidad espacial es muy alta principalmente en el polígono de Isla Mujeres, en esta misma localidad se observan diferencias interanuales.

En cuanto al diagnóstico de la condición trófica de los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, los resultados reflejan la condición inducida o cultural en cada sitio y no la natural de éste proceso. En la figura 3 se puede observar que sistemas como lagunas y bahías que presentan condiciones mesotróficas o eutróficas naturales, su estado como resultado del diagnóstico es clasificado como bueno, no así, el de sitios que a pesar de encontrarse en mares de naturaleza oligotrófica, sus síntomas de acuerdo con los indicadores de eutrofización los coloca en un estado clasificado como malo, habiendo un estado intermedio tipificado como regular.

Los resultados indican que los sistemas costeros de la Península de Yucatán se encuentran amenazados por la eutrofización cultural. Se observa, que este proceso está presente tanto en lagunas y bahías como en la costa.

En los ecosistemas costeros del Golfo de México, se observa que en el caso de Campeche las concentraciones de fosfatos, amonio y de clorofila-a son los síntomas más evidentes que dan como resultado que se le considere en un estado inicial de eutrofización, por lo que su condición es mala. En Celestún, la laguna se encuentra en buen estado de acuerdo con las características del agua a pesar de su condición mesotrófica natural. Sin embargo, en la costa los síntomas de eutrofización se observan en la comunidad del fitoplancton y en los pastos marinos, por lo que su estado mesotrófico permite clasificar a este ecosistema como un sitio en condición regular. Por lo que corresponde a Sisal, las concentraciones

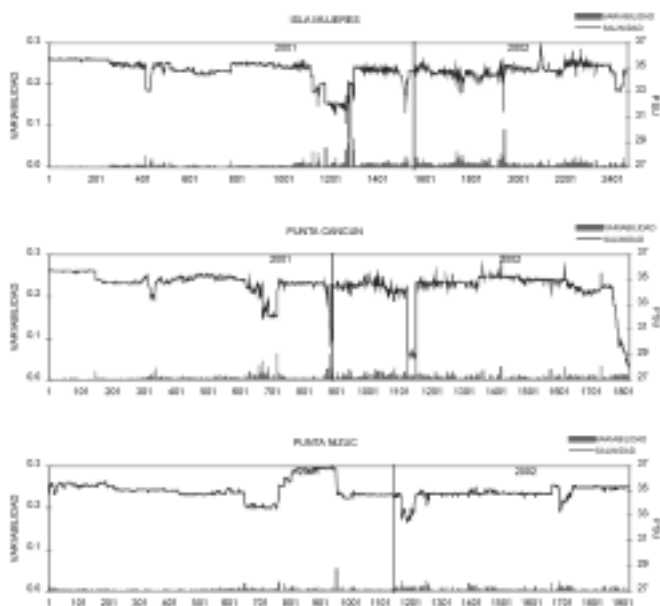
FIGURA 9. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA TEMPERATURA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



de amonio, fosfato, silicato y clorofila-a de la columna de agua, son los síntomas que indican un estado mesotrófico de esta localidad, por lo que su condición es regular. En el caso de Progreso, las condiciones hidrológicas, de fitoplancton y vegetación sumergida ocasionan que la laguna y la costa se encuentren en estados iniciales de eutrofización por lo que son clasificados en mala condición. En cuanto a la zona de Dzilam, si bien es un área reconocida como de alta productividad biológica, la información colectada de diferentes componentes indica que no hay síntomas de eutrofización cultural en la costa ni en la laguna, por lo que su condición es buena. En relación con el sistema lagunar hipersalino de Ría Lagartos y al marino-estuarino de Holbox, los indicadores de eutrofización cultural en estos sitios son bajos, por lo que se les clasifica en buena condición.

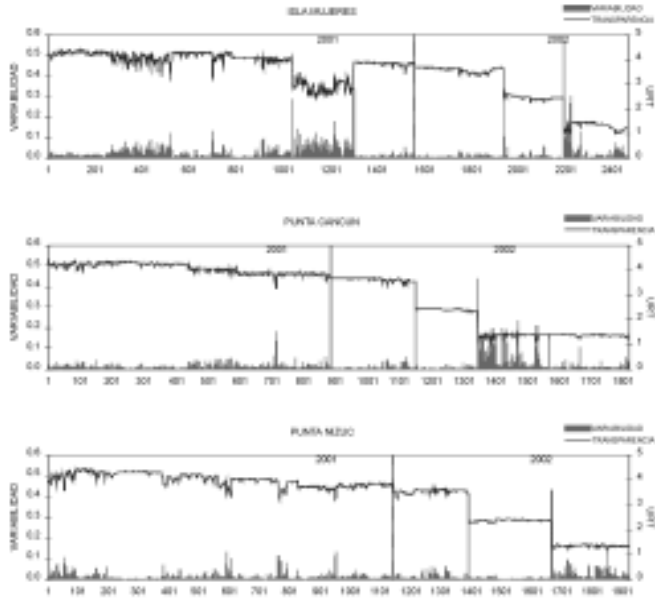
Respecto a los ecosistemas del Caribe, algunos de ellos presentan síntomas de eutrofización cultural. En la zona de Cancún que incluye Isla Muje-

FIGURA 10. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA SALINIDAD EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



res hay condiciones en el agua y los pastos marinos que indican síntomas de eutrofización iniciales como en la laguna de Bojórquez y la laguna de Makax en Isla Mujeres, mientras que en las zonas costeras de mayor afluencia turística como Punta Nizuc y algunos sitios de Isla Mujeres su condición es regular. Por último, algunas áreas de estos mismos polígonos y el 90% del área de Punta Cancún se considera que están en buena condición. La costa de Playa del Carmen, presenta síntomas iniciales de eutrofización y se le considera que está en una condición regular. El área de bahía de Ascensión presenta condiciones hidrológicas y de pastos marinos que se pueden considerar como buenas; sin embargo, hay zonas aledañas al margen continental, a las áreas de pesca y al centro de población que presentan síntomas iniciales de cambio de estado trófico natural. Por último, la bahía de Chetumal es un sitio que presenta tanto buenas como malas condiciones respecto a los indicadores

FIGURA 11. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA TRANSPARENCIA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC

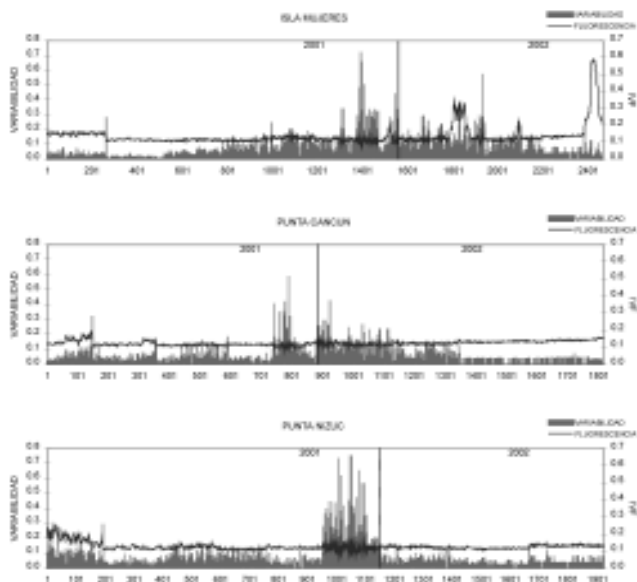


de eutrofización cultural. En áreas cercanas a la ciudad de Chetumal y desembocadura del río Hondo las condiciones de nutrientes, oxígeno disuelto y clorofila-a reflejan un estado de eutrofización inicial, mientras que hacia el interior las variables en general reflejan un buen estado.

DISCUSIÓN

El análisis de los resultados indica que los síntomas del proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán se reflejan tanto en diferentes componentes de los ecosistemas costeros, como en diferentes escalas espaciales y temporales, por lo que la investigación y monitoreo de largo plazo son las estrategias que podrán seguir definiendo las condiciones de los ecosistemas bajo el análisis de los mejores indicadores

FIGURA 12. COMPARACIÓN TEMPORAL DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL A MICROESCALA DE LA FLUORESCENCIA EN LOS POLÍGONOS DEL PARQUE MARINO COSTA OCCIDENTAL DE ISLA MUJERES, PUNTA CANCÚN Y PUNTA NIZUC



de cada tipo de ecosistema.

Las principales causas de la eutrofización de los ecosistemas costeros de Yucatán se relacionan con los efluentes de aguas residuales provenientes de desarrollos urbanos, turísticos, de la acuacultura, y de forma muy importante con la falta de sistemas de tratamiento de las aguas residuales de la industria agropecuaria (Reyes 2001; Herrera-Silveira *et al.* 2002). Sin embargo, las modificaciones en la hidrología e hidrodinámica de los ecosistemas costeros por obras de infraestructura portuaria tienen un impacto severo en los cambios de su estado trófico. Si bien todas estas causas no son particulares para los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, en esta región del Golfo de México el problema de manejo se intensifica por la forma en que llega el agua dulce contaminada a la zona costera, por descargas no puntuales de agua subterránea haciendo muy difícil el saneamiento (Herrera-

Silveira *et al.* 2000, Medina-Chan 2003).

Por otra parte, la alta variabilidad espacial y temporal de los resultados indica la importancia de desarrollar valores de referencia específicos de los indicadores de eutrofización para cada tipo de ecosistema con base en series de tiempo, por lo que la normatividad en materia de calidad del agua costera debe ser revisada y adecuada. La sugerencia es que sea a nivel de los estados donde se desarrollen los criterios específicos; ésto es una estrategia aplicada en EE.UU. y en la Comunidad Europea (EPA 2001b, ICRAM 2000). El cuadro 2 es un punto de referencia que puede ser utilizado para definir los criterios “ad hoc” para cada tipo de ecosistema. Se sugiere que el marco conceptual y metodológico considere el concepto de cuenca hidrológica superficial y el subterráneo integrarlo a las características ecológicas que definen el funcionamiento de cada tipo de ecosistema, con lo cual la ecohidrología podría usarse como fundamento teórico de referencia.

Por lo que respecta al análisis de la variabilidad espacial a microescala, se puede observar en los resultados (figuras 9, 10, 11 y 12), que a pesar de lo relativamente pequeño que son los polígonos del Parque Marino de Cancún, el registro de las variables hidrológicas monitoreadas por el “DataFlow IV” es capaz de detectar diferencias espaciales, estacionales e interanuales, indicando que la estrategia de muestreo, así como el uso de este tipo de tecnología son apropiadas para determinar la variabilidad espacial de microescala. Adicionalmente, el tipo y cantidad de datos que se generan se presta para llevar a cabo análisis geoespaciales y probar hipótesis relacionadas con los procesos que influyen en la distribución espacial de variables físicas, químicas y biológicas. Por ejemplo, se podría identificar la extensión de la influencia de las descargas de agua dulce (pluma estuarina, pluma de sedimentos, alcance espacial de contaminantes), así como identificar el tamaño de los parches de fitoplancton, e incluso determinar la extensión de florecimientos algales nocivos; por otra parte, apoyaría la selección de sitios para el monitoreo.

Este tipo de información y análisis facilita la interpretación de las relaciones entre parámetros de calidad del agua y las características de la zona o cuenca de drenaje. Así mismo, facilita el seguimiento del éxito de las acciones de manejo y saneamiento del agua, además de que podría orientar el diseño de nuevos experimentos y planteamiento de nuevas hipótesis.

El análisis de resultados entre tipos de ecosistemas y regiones, indica que las lagunas y bahías son más variables hidrológicamente (figuras 4, 5 y 6); ésto es resultado de la interacción entre las descargas de agua dulce y su condición semicerrada, lo que favorece gradientes salinos tanto de tipo

estuarino como hiperhalino, y por lo tanto los procesos de importación/exportación y almacenamiento de nutrientes son altamente variables (Smith *et al.* 1999).

Un aspecto a resaltar es que si bien los resultados de salinidad y concentración de silicatos indican que los ecosistemas de la Península de Yucatán en la región del Golfo de México tienen mayor influencia de las aguas subterráneas, las concentraciones de nitrato y fosfato en los ecosistemas del Caribe son mayores (figuras 5 y 6), sugiriendo que los aportes de agua subterránea en estos ecosistemas llevan una mayor carga de nutrientes, poniendo en mayor riesgo de eutrofización a los ecosistemas de esta región. Estas observaciones abren preguntas que deberían ser abordadas de forma inmediata por la investigación, y se refieren al origen de los nutrientes, la trayectoria del agua del acuífero, y efectos de corto y largo plazo en diferentes componentes del ecosistema utilizando novedosas aproximaciones metodológicas como el uso de isótopos estables y tecnológicas como de equipos que midan estrés fisiológico (Ralph y Burchett 1995, Fourquaran *et al.* 1997, Durako y Kunzelman 2002). Estas nuevas aproximaciones brindan la oportunidad de llevar a cabo un diagnóstico y monitoreo que tenga como finalidad el manejo adaptativo de los recursos naturales.

Por lo que toca a las variables de fitoplancton y VAS, ambas han demostrado su utilidad al reflejar las diferencias hidrológicas en sitios que difieren en cuanto al tipo e intensidad de uso de los ecosistemas costeros (cuadro 1). Es por ello que han sido incluidas en los programas de monitoreo de ecosistemas costeros de diferentes latitudes (Hemminga y Duarte 2000, Livingston 2001).

En el caso de Celestún, la laguna está en buenas condiciones ambientales, sin embargo, la modificación artificial de la hidrodinámica a consecuencia de un puente-dique, podría favorecer la eutrofización acelerada de la zona interna. La zona costera presenta altas concentraciones de nitrato y fosfato, sugiriendo que los aportes de agua subterránea están enriquecidos probablemente por aguas residuales, lo cual podría estar influyendo en el cambio de las comunidades de fitoplancton (figura 7a). La vegetación de pastos marinos se ha visto reducida (figura 8), estos cambios podrían ser variaciones interanuales naturales (Zieman *et al.* 1999) o inducidas por el impacto de actividades pesqueras en zonas de baja profundidad (<2m) que provocan resuspensión de sedimentos y daño físico.

Por lo que respecta a Sisal, la mayor profundidad de la costa (>4m) es una condición que determina la mayor cobertura de algas rojas (figura 8), sin embargo, los cambios en las concentraciones de nutrientes producto de

los aportes de la actividad camaronícola, están teniendo efectos en zonas cercanas a la playa de uso turístico. Esta industria descarga sus aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento a la costa reflejándose en mayores concentraciones de nitrato, amonio, fosfato, silicato, materia particulada y clorofila-a (Reyes 2001), las consecuencias en la comunidad de fitoplancton apuntan a un aumento de dinoflagelados y clorofitas (figura 7b).

En relación a Progreso, la vegetación sumergida está compuesta principalmente de algas filamentosas (figura 8), lo que sugiere un estado de eutrofización más avanzado que los sitios anteriores. Por otra parte, la dominancia de dinoflagelados en el fitoplancton y el registro de especies típicas de florecimientos algales nocivos, es otro síntoma de cambio de estado trófico, esos eventos han sido más frecuentes en años recientes en las costas de Yucatán.

En Dzilam, si bien las condiciones generales del sitio sugieren que se encuentra en buen estado (figuras 7 y 8), habría que investigar y monitorear los factores asociados a los cambios interanuales en la cobertura de pastos marinos, y definir si es el resultado de procesos naturales o antrópicos.

Entre las acciones que se deberían emprender para mejorar o conservar la calidad del agua costera y no estimular el proceso de eutrofización en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán, están el de contar con las plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo convencional o mejorar las existentes, usar humedales naturales o contruidos de acuerdo con la carga orgánica, así como evitar las descargas clandestinas directas a los ecosistemas, y hacer uso de la ingeniería costera para mejorar la hidrodinámica en las zonas donde ésta ha sido severamente alterada

En el ámbito de la investigación queda mucho por hacer. En primera instancia aplicar la aproximación metodológica que aquí se presenta, en localidades donde se carece por completo de información. En el caso del monitoreo, es tiempo de contar con programas de investigación de ecosistemas costeros de largo plazo, como los hay para ecosistemas terrestres. Estos programas que son para ecosistemas específicos ofrecen la oportunidad de que através de series temporales se determinen los patrones de comportamiento y los procesos que actúan a diferentes escalas de tiempo, y que son responsables del funcionamiento del ecosistema. Por último, para ambos casos (investigación y monitoreo) se sugiere integrar nuevas tecnologías de análisis de toma de datos y análisis de los mismos como por ejemplo, isótopos estables, biomarcadores morfométricos y fisiológicos en pastos marinos y análisis geoespaciales entre otros.

La información más reciente indica que los ecosistemas costeros de la Península

la de Yucatán están hidrológicamente controlados por las descargas de agua subterránea y las interacciones costa-océano, lo que hace ser hidrológicamente heterogéneos, característica que se relaciona con factores locales como:

- a) número y distribución de las descargas subterráneas
- b) frecuencia e intensidad de eventos naturales (“nortes”, huracanes, tormentas)
- c) frecuencia e intensidad de las precipitaciones (pulsos de descargas de agua dulce)
- d) tipo e intensidad de las actividades antrópicas (aguas residuales urbanas, agropecuarias, industriales, de acuicultura, así como modificaciones a la hidrodinámica y cambios en el tiempo de residencia del agua).

Todos estos factores tienen relación con la vulnerabilidad de los ecosistemas al modificar su estado trófico y desencadenar diferentes síntomas de eutrofización. Por lo que en el análisis y monitoreo de este proceso se deben integrar además de las variables físicas y químicas del agua, las características del fitoplancton y de la VAS, considerando aspectos que van desde los fisiológicos hasta los de la comunidad, lo que permitiría definir la salud de los ecosistemas y las medidas para mantenerla o mejorarla.

La información que se ha presentado, refleja que en los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán existen ya consecuencias ecológicas de la eutrofización cultural. Las recomendaciones son que se reconozca que este problema es una realidad y se puedan poner en marcha programas de largo plazo relacionados con la conservación y usos de los recursos naturales de la franja costera, ya que el no actuar ahora en los aspectos de gestión, investigación y monitoreo de la eutrofización de los ecosistemas de la Península de Yucatán, traería entre otras consecuencias impactar en lugar de conservar, remediar en lugar de prevenir, explotar en lugar de aprovechar, haciendo aún más lejana la meta del manejo integrado de la zona costera del Golfo de México.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido el resultado del esfuerzo de un gran número de personas e instituciones. Se agradece la colaboración de los auxiliares y estudiantes del laboratorio de Producción Primaria del CINVESTAV-IPN Unidad Merida, en especial a Javier Ramírez, Arturo Zaldivar, Mireya Aguayo, Israel Medina,

Ivan Medina, Fedro Tapia, José Sima, Manuel Reyes, Reyna Colli, Leonardo Arellano, Jorge Trejo, Octavio Gómez y Gabriel Borges. También la colaboración del personal de la Estación de Investigación Oceanográfica de la Secretaría de Marina en Progreso y a los miembros de las Áreas Naturales Protegidas de Cancún, Contoy y Sian ka'an. Un reconocimiento especial a todos los pescadores que nos han enseñado muchas cosas sobre los ecosistemas costeros de la Península de Yucatán. El financiamiento ha provenido del CONACYT (PO20COOR; 4147PT; 32356T; SISIERRA-2000-07-06-15), CONABIO (B019; M011; S004) y CINVESTAV-IPN Unidad Merida.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo, M. 2003. Variabilidad de la vegetación acuática sumergida de la costa norte de Yucatán como indicador de la calidad del agua costera. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN Unidad Merida, México.
- Bianchi, T.S., Pennock, J.R., and Twilley, R.R. 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries: Implications for management. En: Bianchi, T.S., Pennock, J.R. y R.R. Twilley. *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Boyer, J. N., Fourqurean, J.W. y R.D. Jones. 1997. Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater Bay by Multivariate Analyses: Zones of Similar Influence. *Estuaries* 20(4): 743-758.
- Bricker, S.B., Clement, C.G., Pirhalla, D.E., Orlando, S.P. y D.R.G. Farrow. 1999. National estuarine eutrophication assessment: Effects of nutrient enrichment in the Nation's estuaries. NOAA, *National Ocean Service, Special Projects Office and the National Center for Coastal Ocean Science*. Silver Spring.
- Capurro, F.L., Euán-Avila, J., y Herrera-Silveira, J.A. 2002. Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán. *Avance y Perspectiva* 21:195-204.
- CNA, 2000. *Ley de aguas nacionales y su reglamento*. Comisión Nacional del Agua. México.
- Durako, M.J., y J.I. Hunzelman 2002. Photosynthetic characteristics of *Thalassia testudinum* measured in situ by pulse-amplitude modulated (PAM) fluorometry: methodological and scale-based considerations. *Aquatic Botany*, 73:173-185. Elsevier.
- EPA 1999. Ecological Condition of Estuaries in the Gulf of Mexico. EPA 620-R-98-004. *U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development*, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Gulf Ecology Division, Gulf Breeze, Florida.
- 2001. Nutrient criteria. Technical guidance manual. Estuarine and coastal waters.

- Environmental Protection Agency. Office of Water. EPA-822-B-01-003. Washington, DC
- 2001b. National coastal condition report. Environmental Protection Agency Office of research and development. EPA-620/R-01/005. Washington, DC.
- Euan-Avila, J.I y G.S. Witter 2002. Promoting Integrated Coastal Management in the Yucatan Peninsula, México. *Journal of Policy Studies*, 12:1-16.
- Fourqurean, J.W., Moore, T.O., Fry, B. y J.T. Hollibaugh 1997. Spatial and temporal variation in C:N:P ratios ^{15}N ^{13}C of eelgrass *Zostera marina* as indicators of ecosystem processes in Tomales Bay, California USA. *Marine Ecology Progress Series*, 157:147-157.
- Fourqurean, J.W., Durako, M.J., Hall, M.O., and Hefty, L.N. 2002. Seagrass distribution in south Florida: a multi-agency coordinated monitoring program. Pp:497-522. En: Porter, J.W. y K.G. Porter. *The Everglades, Florida Bay and coral reefs of the Florida Keys*. CRC Press, Boca Raton.
- Hemminga, A.A. y C.M. Duarte 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, United Kindom.
- Herrera-Silveira, J.A. 1994. Spatial and temporal patterns in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges. *Journal of Coastal Research* 10 (3): 738-746.
- Herrera-Silveira, J.A. y Comín, F.A. 2000. An Introductory account of the types of aquatic ecosystems of Yucatan Peninsula (SE Mexico). 213-227pp. En: M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar y D.F. Malley (eds.). *Ecovision World Monographs Series. Aquatic Ecosystems of Mexico: Status & Scope*. Backhuys Pub. Leiden, Netherlands.
- Herrera-Silveira J.A, Medina G.I y R. Collí 2002. Trophic Status on nutrient concentrations scales and primary producers community of tropical coastal lagoons influenced by groundwater discharges. *Hydrobiología* 476/476:91-98.
- Herrera-Silveira J.A, Medina-Gómez I, Aranda-Cirerol N, Zaldivar JA, Ramírez J, Trejo J. 2002b. Trophic status in coastal waters of the Yucatán Península (SE, México) using water quality indicators. En: Brebia C.A. (ed.). *Environment Problems in Coastal Regions IV*. Wit-Press, Southampton, Boston, pp. 351-359.
- ICRAM. 2000. Qualit  Degli Ambienti Marini Costieri Italiani. 1996-1999. *Valutazione Preliminare del Monitoraggio Realizzato in Cnvezione con le Rewgioni Costieri*. Ministero dell' Ambiente. Sevizio Difesa Mare, Italia.
- Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C. y S.W. Wright 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography*. Monographs on Oceanographic Methodology, UNESCO, Paris.
- Karydis M., Ignatiades L. y N. Moschopoulou 1983. An Index Associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 16: 339-344.
- Livingston, R.J. 2001. Eutrophication processes in coastal systems: origin and succession

- of plankton blooms and effects on secondary production in Gulf Coast estuaries. *CRC Press*, Boca Raton.
- Madden, C.J., and Day Jr, J.W. 1992. An instrument system for high speed mapping of chlorophyll and physico-chemical parameters. *Estuaries* 15(3).
- Medina-Chan, I. 2003. Efectos de una construcción en mar sobre la hidrología y estado trófico de la columna de agua: El caso del Puerto de Altura de Progreso. Tesis de Maestría, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. México.
- Merino, M., González, A., Reyes, E., Gallegos, M y Czitrom, S. 1992. Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. *Science of the Total Environment*. Supplement, pp. 861-870.
- Parsons, T.R. Maita, Y. y C.M. Lalli 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Ralph, P.J. y M.D. Burchett 1995. Photosynthetic response of the seagrass *Halophila ovalis* (R. Br.) Hook. f. to high irradiance stress, using chlorophyll a fluorescence. *Aquatic Botany* 51: 55-56.
- Reyes, E. y M. Merino. 1991. Diel dissolved oxygen dynamics and eutrophication in a shallow, well-mixed tropical lagoon (Cancun, Mexico). *Estuaries* 14(4):372-381.
- Reyes A. R.. 2001. Hidrología y estado trófico de la columna de agua de la zona marina costera de Sisal, Yucatán. Tesis de Maestría. *Instituto Tecnológico de Mérida*, México.
- Rivera-Arriaga, E., and Villalobos G. 2001. The coast of México: approaches for its management. *Ocean & Coastal Management*, 44:729-756.
- Smith, S.V., Marshall J, . Crossland, I. and Crossland, C.J. 1999. Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Fluxes (Regional Workshop II), *LOICZ Reports & Studies No. 13*, Texel, The Netherlands.
- Troccoli L. 2001. Efecto de los afloramientos de agua dulce en la estructura del fitoplancton: patrones espaciales y temporales Tesis doctoral, Ciencias Marinas, CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, México.
- Urban E.R., Mallory L., and Taylor, C. 1996. Priorities for Coastal Ecosystem. Science. Committee to Identify High-priority Science to Meet National Coastal Needs Ocean Studies Board Commission on Geosciences, Environment, Resources National Researcher Council., Washington, D.C.
- Zieman, J. Fourqurean, J.W., and Frankovich, T. 1999. Seagrass die-off in Florida Bay: long-term in abundance and growth of turtle grass *Thalassia testudinum*. *Estuaries*, 22(2b): 460-470.

EL DELTA DEL RÍO MISISIPI: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, IMPACTOS AMBIENTALES Y MANEJO SUSTENTABLE

*John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch,
G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras,
Dubravko Justic, Ellis Clairain y Russell Theriot*

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento y la sustentabilidad del ecosistema del delta del Misisipi es controlado mediante las interacciones entre el río Misisipi y los procesos marinos. El río Misisipi tiene una cuenca de drenaje total de aproximadamente tres millones de km², abarca 40% de los 48 estados de Estados Unidos de Norteamérica debajo de la frontera con Canadá, y es responsable de cerca del 90% del flujo de agua dulce hacia el Golfo de México. Las afluentes principales del río Misisipi bajo son los ríos Ohio, Misisipi alto, Misuri y el Arkansas; aproximadamente el 60% de los esteros y pantanos del Golfo de México se localizan en la costa de Luisiana (Lindstedt *et al.* 1991).

El delta del Misisipi tiene una gran importancia ecológica y económica, ya que los humedales costeros y las aguas someras del delta son hábitat para peces y vida silvestre; producen alimentos, regulan transformaciones químicas, mantienen la calidad del agua, almacenan y liberan agua, y amortiguan la energía de las tormentas (Day *et al.* 1989, 2000). Estos procesos del delta sustentan importantes actividades económicas vitales para la economía estatal y nacional. La captura comercial de peces y mariscos contribuye a la economía con más de mil millones de dólares anuales (LCWCRTF 1993). El ecoturismo, la caza, la producción de pieles de animales silvestres y la captura de caimanes son actividades derivadas de los humedales y generan

cerca de mil millones de dólares anuales después que los bienes y servicios asociados son incorporados (Day *et al.* 1997).

Una serie de actividades humanas han afectado al delta desde principios del siglo XX, por ejemplo, la construcción de diques, las alternancias hidrológicas masivas y las confiscaciones que han causado intrusión de agua salada, la erosión de olas, los litorales expuestos y la pérdida de humedales (cerca de 100 km² al año). El patrón de manejo actual, cuya prioridad es la navegación y el control de inundaciones, es parcialmente responsable de estos problemas. Este patrón se ejecuta a través de una complicada disposición de normas administradas por el gobierno federal y diversos gobiernos estatales, locales y otras unidades administrativas. Los intereses socioeconómicos involucrados en este asunto incluyen la producción pesquera anual más elevada (Turner 1977) así como inversiones económicas masivas de toda la nación. También alberga el patrimonio de los Cajun del sur de Luisiana, uno de los más grandes grupos culturales distintivos y no integrados a la cultura dominante de los Estados Unidos de Norteamérica.

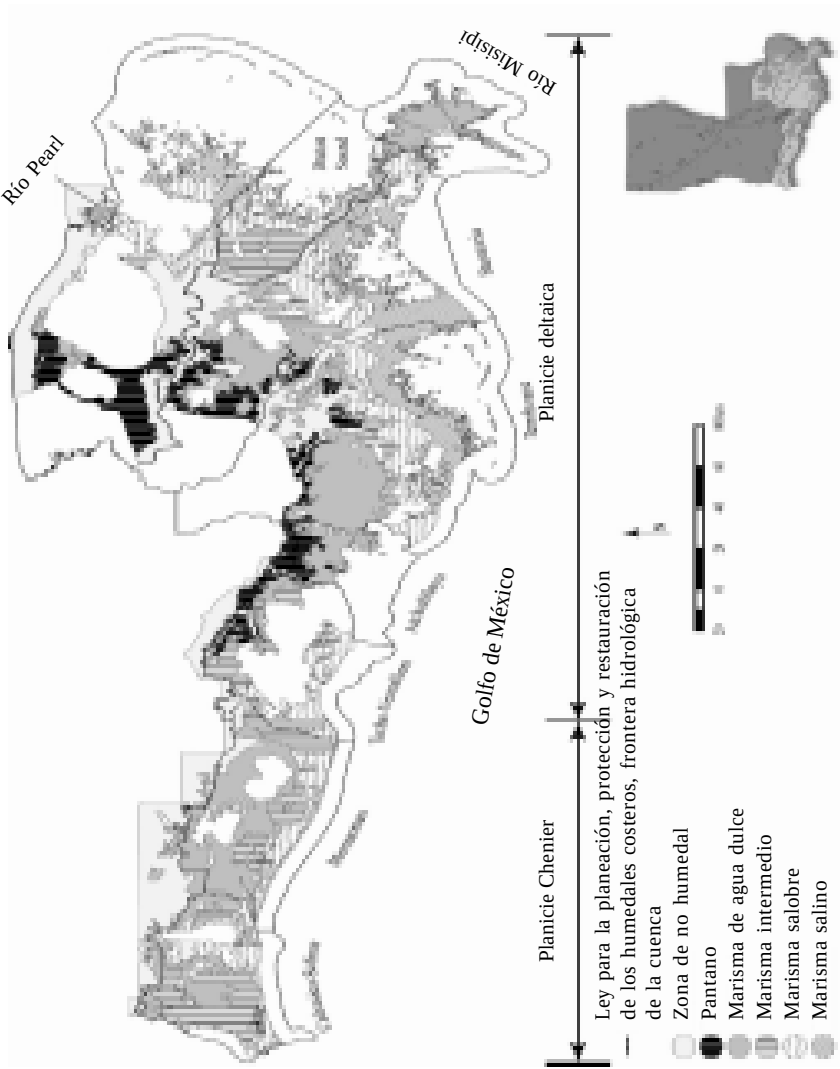
En este capítulo examinaremos (1) los aspectos geológicos, ecológicos y económicos del delta del Misisipi, (2) los problemas ambientales en el delta y sus causas, y (3) la estructura administrativa de gobierno que incluye puntos de vista de grupos de interés y presenta estrategias para lograr un manejo más adecuado del delta.

ANTECEDENTES: GEOLOGÍA, PULSOS, ECOLOGÍA Y ECONOMÍA

GEOLOGÍA

El delta del Misisipi (figura 1) se formó, a partir de una serie de lóbulos deltáicos sobrepuestos durante los últimos 6,000–7,000 años (Roberts 1997). En los lóbulos activos hubo un incremento en el área de humedales mientras que, en los lóbulos abandonados hubo pérdida de humedales. A pesar de esto, durante varios de los últimos miles de años el área de humedales tuvo un incremento general neto. El delta se describe frecuentemente como una serie de cuencas hidrológicas separadas por canales tributarios activos o abandonados. Los humedales costeros del delta del Misisipi están compuestos por dos unidades fisiográficas, la Planicie Deltáica al este y la Planicie Chenier al oeste (Roberts 1997). La formación activa de lóbulos deltáicos se llevó a cabo en la Planicie Deltáica que

FIGURA 1. ZONA COSTERA DE LUISIANA



Fuente: modificada de Linscombe *et al.* 2001.

está dividida en seis unidades hidrológicas que son, de este a oeste, Pontchartrin, Breton, Birdfoot, (Balize, en la boca del río Misisipi), Barataria, Terrebonne, y las cuencas Atchafalaya y Teche-Vermilion. En la mayoría de los análisis de los humedales costeros de Luisiana, el delta de Birdfoot se considera una unidad hidrológica separada aunque técnicamente no es una cuenca. La Planicie Chenier se creó a partir de una serie de crestas de playa y plataformas de lodo que se formaron durante períodos en que los de sedimentos derivaron con un atencencia hacia el oeste. Esta planicie contiene dos unidades hidrológicas, las cuencas Nermentau y Calcasieu-Sabine (figura 1).

La costa también se caracteriza por una serie de zonas de vegetación (salina, salobre, marismas intermedias y de agua dulce, y humedales de agua dulce arbolados) que van de la costa hacia tierra adentro. Estas zonas de vegetación se caracterizan principalmente por su salinidad. Los cambios que han sufrido estas zonas durante el último medio siglo han sido descritos en una serie de cuatro mapas de vegetación (O'Neil 1949, Chabreck *et al.* 1968, Chabreck y Linscombe 1978, 1988). En el siglo XX, el área total del delta, incluyendo los humedales, los cuerpos de agua someros tierra adentro y las áreas de bajas elevaciones sobre tierra que se encuentran principalmente en crestas de tributarios era aproximadamente de 25,000 km².

PULSOS

La entrada de agua, sedimentos y nutrientes desde el río Misisipi incrementa directamente la acumulación vertical a través del depósito de sedimentos minerales, e indirectamente mediante la estimulación del crecimiento de plantas y la formación de tierra orgánica. La entrada de materiales hacia el delta del Misisipi no ha sido constante a lo largo del tiempo, sino que se lleva a cabo en una serie de pulsos jerárquicos que producen beneficios que varían espacial y temporalmente (Day *et al.* 1995, 1997, 2000). La periodicidad de los pulsos es altamente variable, y fluctúa desde el tiempo que ocurre en un lapso de mareas diurnas, hasta cientos de años, que es el tiempo en que se lleva a cabo la desviación de canales fluviales que comprende tormentas asociadas con corredores frontales, inundaciones fluviales anuales, tormentas intensas como los huracanes, e inundaciones fluviales mayores. Es necesario que el manejo sustentable del delta del Misisipi tome en cuenta las funciones de estos pulsos (Day *et al.* 1997).

ECOLOGÍA Y ECONOMÍA

Los deltas tienen gran importancia ecológica y económica y el del Misisipi no es una excepción. En su estado natural, los deltas son amplias áreas de humedales cerca del nivel del mar entrelazadas con canales a través de los que se mezclan el agua dulce y el agua de mar. La crecida fluvial anual suministra un pulso de agua dulce, nutrientes inorgánicos y materiales orgánicos lo cual estimula la producción primaria y secundaria. La tasa de producción de marismas en el delta del Misisipi es la más alta de Norteamérica. (Mendelssohn y Morris 2000). El aumento en la producción primaria genera mayores tasas de producción alimenticia para consumidores y un incremento en la formación de tierra orgánica. Los sedimentos y los nutrientes fertilizan las plantas de los humedales; la entrada de agua dulce mantiene el gradiente de salinidad de dulce a salino, con lo que se crean condiciones de estuario que sustentan una gran diversidad de hábitats de humedales y acuáticos. El aumento del área de humedales y su productividad, derivada de entradas fluviales, dan origen a una mayor producción secundaria de pesquerías y la vida silvestre. Las pesquerías marinas y estuarinas del delta de Misisipi son las más elevadas de todos los estados de los Estados Unidos de Norteamérica. Los humedales también tienden a consumir y a procesar nutrientes, lo que da origen a una mayor productividad del humedal y a que disminuyan los problemas de calidad del agua. La relación entre las entradas fluviales y la productividad de los estuarios ha sido corroborada por varios autores (Moore *et al.* 1970, Nixon 1981, Boynton 1982, Cadee 1986).

La economía regional ha dependido sustancialmente del delta del Misisipi; un ejemplo de ello son las capturas de pesca comercial del estado de Luisiana, que en 1995 dieron cuenta de aproximadamente el 81% de la pesca total del Golfo de México y del 40% del valor de mercado. Gran parte de esta pesca (76%) se obtuvo en un radio de tres millas de esta costa (NMFS 1995). La presencia del delta del Misisipi convierte al Golfo de México en una de las áreas de mayor importancia pesquera. Por ejemplo, los desembarcos comerciales totales del Golfo de México (782,190 toneladas métricas) sobrepasaron los de toda la costa Atlántica (677,820 toneladas métricas) en 2002 (NMFS, <http://www.st.nmfs.gov>). La producción de las pesquerías costeras de Luisiana, que en su mayoría provienen del delta, es de aproximadamente 600,000 toneladas métricas anuales con un valor inicial de cerca de 300 millones de dólares (NMFS; <http://www.st.nmfs.gov>). Los

pescadores que se dedican a la pesca recreativa contribuyen a la economía de Luisiana con 944 millones de dólares anuales (Raynie y Beasley 2000). En Luisiana 61,000 empleos están vinculados con el ecoturismo y otros usos no consuntivos de la zona costera deltaica (LCWCRTF 1993).

La producción de gas en esta zona representa el 21% del suministro de los Estados Unidos de Norteamérica y está valuada en 7.4 mil millones de dólares anuales; los productos petroleros de las refinerías ubicadas en la zona costera de Luisiana están valuados en 30 mil millones de dólares anuales. Sin embargo no se tiene una cifra en dólares, la protección contra tormentas e inundaciones que ofrecen los humedales costeros permite a veinte millones de personas vivir en esta zona de Luisiana. Las tuberías, las instalaciones para la producción de gas y petróleo, las carreteras, las bases de abastecimiento y otros tipos de infraestructura dependen de los humedales costeros para amortiguar las marejadas de tormenta. El comercio marítimo que transita por los humedales costeros de Luisiana es de aproximadamente 460 millones de toneladas anuales, el mayor de cualquiera de los estados de los Estados Unidos de Norteamérica. Las instalaciones portuarias entre Baton Rouge y la boca del río reciben anualmente 230 millones de toneladas con un valor de 30 mil millones de dólares (LCWCRTF 1993).

Además se han calculado (Costanza *et al.* 1997) valores provenientes de los humedales y estuarios del delta que no tienen valor mercantil. Estos son servicios “gratuitos” provistos por los estuarios que normalmente no se consideran valiables porque no existe un precio de mercado para ellos. El cuadro 1 muestra un listado de algunos de estos servicios gratuitos junto con algunos servicios de mercado como la producción alimenticia y la recreación.

PROBLEMAS AMBIENTALES Y SUS CAUSAS EN EL DELTA DEL MISISIPÍ

PÉRDIDA DE HUMEDALES

Durante más de 5,000 años, la condición del delta había sido de crecimiento neto, pero ésta se ha revertido drásticamente. Desde la década de 1930 hasta nuestros días se ha dado una pérdida dramática de humedales en el delta del Misisipi, con tasas de pérdida de casi 100 km² por año (Gagliano *et al.* 1981), y se ha perdido un área total de cerca de 3,900 km² de humedales costeros (Boesch *et al.* 1994). Las tasas de pérdida de humedales fueron más elevadas durante las décadas de 1960 y 1970 y han descendido desde entonces, aunque siguen siendo altas (Baumann y Turner 1990, Britsch y Dunbar 1993,

CUADRO 1. VALORES DE LOS SERVICIOS DE ECOSISTEMA PARA LOS HUMEDALES Y ESTUARIOS DEL DELTA DEL MISISIPÍ

SERVICIOS	HUMEDALES		ESTUARIOS	
	VALOR PROMEDIO GLOBAL (\$ HA ² /AÑO) ¹	VALORES ANUALES PARA EL DELTA (MILLONES DÓLARES)	VALOR PROMEDIO GLOBAL (\$ HA ² /AÑO) ¹	VALORES ANUALES PARA EL DELTA (MILLONES DE DÓLARES)
Regulación del gas	133	197		
Regulación de perturbación	4,539	6,733	567	1,056
Regulación del agua	15	22		
Suministro de agua	3,800	5,637		
Ciclado de nutrientes			21,100	39,280
Tratamiento de desechos	4,177	6,196		
Control biológico			78	145
Hábitat/refugios	304	451	131	244
Producción alimenticia	256	380	521	970
Materias primas	106	157	25	47
Recreación	574	851	381	709
Culturales	881	1,307	29	54
Total	14,785	21,931	22,832	42,505

Nota: Área de humedales del delta del Misisipi: 14,833 km²; estuarios en el delta: 18,616 km² (Twilley y Barras 2003); ¹valores por hectárea obtenidos de la Tabla 2 de Costanza, *et al.* 1997.

Barras *et al.* 1994). Entender las causas de esta pérdida de tierra es importante no sólo desde el punto de vista del conocimiento científico de los mecanismos involucrados, sino para que se desarrollen estrategias de manejo eficientes para recobrarlas (para la revisión de estos asuntos, ver Boesch *et al.* 1994).

Los diques para controlar las inundaciones a lo largo del río Misisipi causaron la eliminación del aporte fluvial en gran parte del delta. Antes de los asentamientos europeos en el río Misisipi, varios procesos fluviales, como la inundación de la ribera, las fisuras, la bifurcación de canales y la desviación del delta, compensaban el hundimiento natural en la planicie del delta y mantenían una ganancia neta de humedales. Además de los diques para

controlar las inundaciones, la mayoría de los canales tributarios activos estaban cerrados y la boca del río se hacía más eficiente, lo que causaba que la mayoría de los sedimentos se perdieran en las aguas profundas del Golfo de México. También ha habido una reducción de la carga de sedimentos suspendidos en el río Misisipi ocasionada por la construcción de presas en la parte alta del río (Kesesl 1988, 1989).

Otro factor que ha llevado a la pérdida de humedales es la alteración hidrológica provocada principalmente por los canales. Éstos eran originalmente dragados para el drenaje o la navegación pero, en la actualidad están extremadamente vinculados con la industria petrolera. Los humedales costeros tienen ahora una densa red de canales formados por aquellos que dan acceso a las plataformas petroleras, los canales para las tuberías, y los canales de extracción profunda para sostener las embarcaciones de la industria petrolera. Aunque se estima que estos canales sólo ocupan un 2.5% del área total de la superficie costera, el impacto destructivo que han ocasionado es mucho mayor (Craig *et al.* 1979, Turner *et al.* 1982). Los bancos de desechos compuestos por el material dragado de los canales tienden a sofocar las marismas cercanas y de esta manera convierten a los humedales en tierras altas e interrumpen los procesos hidrológicos naturales. Los bancos de desechos obstaculizan el flujo laminar, represan las aguas y causan el deterioro de las marismas. Los canales de navegación profundos conectan las áreas de agua salina con las de agua dulce. Tienden a disminuir el tiempo de retención del agua dulce y permiten una mayor penetración de agua salina tierra adentro. Las estelas generadas por los barcos erosionan los bancos y muchos de los canales se han ensanchado tremendamente desde la primera vez que fueron dragados (Craig *et al.* 1979).

La reducción de la entrada de sedimento hacia el delta es otra de las causas que ha ocasionado la pérdida de humedales en Luisiana. Existen dos fuentes de sedimentos alóctonos que se acumulan en la superficie de los humedales en el delta del Misisipi. Una fuente es la entrada directa de sedimentos fluviales durante la crecida anual en primavera. Esta fuente se ha eliminado en la mayor parte de la zona costera por los diques y los malecones a lo largo del río Misisipi. Otra fuente son los sedimentos resuspendidos de cuerpos de agua y depositados en los humedales durante las tormentas. Esta gran reducción de entrada de sedimentos causa déficits de 4.1 a 8.1 mm anuales en la acumulación vertical, y dependen de los tipos de marisma (Templett y Meyer-Arendt 1988). La acumulación vertical se puede convertir en un déficit de área al utilizar el por ciento del material inorgánico de las

marismas y la densidad aparente. Los déficits minerales (inorgánicos) están dentro de un rango de 400 a 2,500 g/m²/año dependiendo del tipo de marisma (Templet y Meyer-Arendt 1988) (cuadro 2).

Otro factor que contribuye a la pérdida de humedales es el represamiento. Casi una tercera parte del delta ha sido aislado o semiaislado mediante la

CUADRO 2. DÉFICIT DE ACUMULACIÓN EN HUMEDALES

TIPO DE MARISMA	DÉFICIT DE ACUMULACIÓN VERTICAL (MM/AÑO)	DÉFICIT DE ACUMULACIÓN EN EL ÁREA, INORGÁNICA (G/M ² /AÑO)
Dulce	4.1	409
Intermedia	7.1	1361
Salobre	8.1	2,476
Salina	6.0	960

Nota: modificación del cuadro 3 de Templet y Meyer-Arendt 1988.

construcción deliberada o accidental de varios tipos de represamientos (Day *et al.* 1990). Los represamientos son áreas que están rodeadas por completo o parcialmente por diques. En los represamientos que están siendo manejados, los niveles de agua están controlados de alguna manera por medio de estructuras de control de aguas. En el caso más extremo, las bombas extraen completamente el agua y el área queda convertida en tierra, por ejemplo, la mayoría de la zona metropolitana de New Orleans alguna vez fue un humedal y actualmente es el área de represamiento más grande del delta. Pero muchas áreas en represa-miento todavía están en un estado seminatural, y el nivel y flujo de agua se controla mediante estructuras de control. Originalmente estas áreas fueron diseñadas para prevenir la intrusión de agua salada y para bajar los niveles de agua con el fin de promover el crecimiento de plantas, pero se ha demostrado que esta clase de manejo puede llevar a un descenso en el

crecimiento de plantas y a una menor entrada y acumulación de sedimentos; además, puede restringir el movimiento de especies migratorias marinas y estuarinas (Reed 1992, Boumans y Day 1994, Cahoon 1994).

En resumen, la mayoría de los investigadores concluyen que la pérdida de tierra implica una interacción compleja de estos factores causales que actúan en diferentes escalas espaciales y temporales (por ejemplo, Turner y Cahoon 1987, Day y Templet 1989, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 1995, 1997). Day *et al.* (2000) concluyeron que el aislamiento del delta y el río por medio de diques es un factor importante.

ALTO ÍNDICE DE CRECIMIENTO RELATIVO DEL NIVEL DEL MAR

El crecimiento relativo del nivel del mar (RSLR, pos sus siglas en inglés) se da por la combinación del crecimiento eustático del nivel del mar y el hundimiento. La tasa actual de crecimiento eustático del nivel del mar está entre 1-2 mm anuales (Gornitz *et al.* 1982), pero el RSLR en el delta del Misisipi lo excede y llega hasta 10 mm anuales. Por ende, el incremento del nivel eustático del mar da cuenta de sólo el 10-15% del RSLR total. Si los humedales de los deltas no tienen una acumulación vertical de la misma proporción que la del RSLR se verán presionados por el anegamiento y la presión de sal, y a la larga desaparecerán.

Históricamente las marismas se construían hacia arriba por medio de la mezcla de tierra orgánica que se formaba *in-situ* y los sedimentos minerales atrapados. No obstante, la producción orgánica con frecuencia no es suficiente para que la acumulación vertical de las marismas siga el ritmo de los niveles de hundimiento. En general, sólo las marismas al lado de los arroyos, y que están sujetas al desbordamiento del agua ocasionada por la marea reciben el suficiente sedimento mineral para mantenerse a sí mismas. Mientras que las tasas de hundimiento preponderantes se estiman en 12 a 13 mm anuales en el delta del Misisipi, las mediciones de las tasas de acumulación de las marismas tierra adentro han sido de sólo 6.7 a 7.8 mm anuales (DeLaune *et al.* 1978 1983, Hatton *et al.* 1983). En otras palabras, las marismas que se encuentran tierra adentro de la orilla de los cuerpos de agua generalmente no pueden mantener el ritmo de los procesos combinados de hundimiento y crecimiento del nivel del mar, y como consecuencia se están sumergiendo y rompiendo con rapidez (Day *et al.* 2000).

DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El deterioro de la calidad del agua constituye un problema en el delta en dos niveles. Muchas aguas y vías acuáticas del delta están enriquecidas con nutrientes; las fuentes de estos nutrientes son puntuales (por ejemplo, aguas negras provenientes de plantas de tratamiento que son manejadas de manera inadecuada) y no puntuales (escurrimiento urbano y agrícola). Además del control y tratamiento inadecuados de la fuente, la eliminación y canalización de humedales ha exacerbado el problema. La mayoría del escurrimiento hacia tierras altas corría por los humedales antes de llegar a los cuerpos de agua, lo que provocaba una reducción de nutrientes, pero ahora el escurrimiento corre directamente a los cuerpos de agua. El uso de humedales como filtros para mejorar la calidad del agua es un enfoque económico y ambientalmente amigable (por ejemplo, Breaux y Day 1994, Zhang *et al.* 2000).

HIPOXIA

Otro problema de calidad del agua que ha recibido mucha atención es el de las condiciones hipóxicas severas y persistentes que se presentan cada temporada (condiciones de oxígeno poco disuelto en aguas profundas, generalmente de <2 mg/L), y que se han medido en la plataforma continental de la parte norte del Golfo de México durante la última década. La extensión del área de la zona de hipoxia ha abarcado entre 13,000 y 18,000 kilómetros cuadrados, entre 1993 y 1999 (Rabalais *et al.* 1996, 1998, 1999). La hipoxia está parcialmente relacionada con la descarga del río Misisipi, que tiene niveles elevados de nutrientes, especialmente de nitratos. Se han establecido vínculos entre el flujo de agua dulce del río Misisipi (y el subsecuente flujo de nutrientes) y la productividad neta de la superficie y deficiencia de oxígeno en aguas profundas (Rabalais *et al.* 1991, Justic *et al.* 1995, Brezonik *et al.* 1999, Rabalais *et al.* 1996, 1999, Diaz y Salow 1999). Hay quienes sugieren que la hipoxia puede tener efectos potencialmente adversos sobre la biota de la parte norte centro del Golfo (Turner y Allen 1982, Rabalais *et al.* 1991, Bierman *et al.* 1994, Justic *et al.* 1996, 1997, Diaz y Salow 1999), pero hasta ahora, las pesquerías no se han visto afectadas (Diaz y Salow 1999). Mitsch *et al.* (2001) propusieron recientemente una serie de prácticas de manejo para la cuenca del Misisipi, que si se realizan en conjunto pueden reducir de

manera significativa el flujo de nitrógeno al Golfo de México. Éstas incluyen cambios en las prácticas agrícolas, el uso de humedales en la cuenca de drenaje para reducir la entrada de nitrógeno en el río Misisipi, y desviaciones fluviales en el delta.

GOBERNABILIDAD ACTUAL DEL DELTA

ANTECEDENTES

Las actividades del delta del Misisipi son gobernadas por una combinación de organismos federales, estatales y locales, en donde las autoridades federales de navegación y control de inundaciones realizan la reglamentación primaria de la hidrología fluvial. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica (en lo sucesivo, el Cuerpo) es la Agencia federal encargada de la responsabilidad primaria de administrar el río Misisipi de acuerdo con los intereses nacionales. El Cuerpo también tiene la autoridad de otorgar permisos para todas las actividades que tengan un impacto en las aguas y humedales costeros, al igual que el estado de Luisiana. Ya desde la década de 1870, el Cuerpo comenzó a construir diques y espigones en el río, con el fin de aumentar la velocidad de la corriente y de prevenir inundaciones. Después de la gran inundación de 1927, aumentó considerablemente la construcción de diques a lo largo del río, y actualmente tiene diques en casi la totalidad de su extensión. Los asuntos ambientales aparecieron por primera vez a principios de la década de 1970, cuando se hizo evidente que había una pérdida de humedales (Gagliano y Van Beek 1975, 1976) y que dicha pérdida probablemente estaba asociada con la forma en la que se estaba manejado el río aunque esto ya se había observado con anterioridad (Viosca 1927).

POLÍTICAS FEDERALES EXISTENTES DE NAVEGACIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES QUE AFECTAN AL DELTA DEL MISISIPI

La política federal relativa a la navegación y al control de inundaciones del río Misisipi tiene sus orígenes en la historia del desarrollo del río. Los seres humanos han buscado maneras de controlarlo desde que Bienville ordenó a su ingeniero que construyera diques a principios del siglo XVIII para proteger la ciudad de Nueva Orleans, incluso durante su fundación, y la construcción de éstos sigue hasta nuestros días. Los primeros diques se constru-

yeron con financiamiento local, eran irregulares y a menudo se derrumbaban durante las inundaciones en primavera. A partir de 1917, se autorizó el uso de fondos federales directamente para propósitos de control de inundaciones, en un esquema cooperativo en que dos terceras partes serían proporcionadas por el gobierno federal y una tercera parte, por el gobierno local. En 1927, una de las inundaciones más grandes que afectaron a Luisiana abrió una brecha en los diques e inundó 60,000 km², (23,000 mi²). El daño fue extenso y se perdieron 414 vidas. Al año siguiente, el Congreso norteamericano reconoció que era de interés nacional prevenir inundaciones del Misisipi, por lo que autorizó el proyecto de control de inundaciones del río Misisipi y sus tributarios (Ley del 15 de mayo de 1928, Septuagésimo Congreso), para proporcionar un plan completo de control de inundaciones. La implantación fue financiada en su totalidad con fondos federales. El plan incluía provisiones en las que el desbordamiento de las inundaciones sería desviado hacia el río Atchafalaya y los lagos del mismo nombre, así como a otras cuencas en Luisiana.

La elección de diques lineales que confinaran el río para proporcionar protección contra inundaciones quizás se haya visto influenciada por la anterior preocupación que sentía el Cuerpo por la navegación. A lo largo de la historia de este país, se ha librado una batalla para mantener la desembocadura del río abierta a la navegación, utilizando en un principio sistemas de dragado (Houck 1983). James B. Eads, quien previamente había construido el primer puente sobre el río Misisipi en Saint Louis, propuso una solución novedosa, que implicaba la construcción de diques y espigones para controlar el río, para disminuir la magnitud del terreno inundado y así aumentar la tasa de flujo del río; de esta manera éste erosionaría su propio cauce y mantendría un canal abierto para la navegación. Su proyecto se terminó en 1878, y funcionó, por lo menos desde el punto de vista del dragado pues los diques lineales construidos a lo largo de la parte baja del río, aparentemente solucionaron tanto las inundaciones como los problemas de navegación. El represamiento del río se convirtió en el procedimiento aceptado para su manejo, y desde entonces esa estrategia ha sido codificada dentro de la ley y políticas subsecuentes. No obstante, algunas de las otras alternativas que se propusieron pudieron haber prevenido también pérdidas ambientales (Viosca 1927).

Una parte relativamente nueva del esquema de gobernabilidad federal es la *Coastal Wetlands Planning, Protection and Restoration Act (PL 101-646, Title III; "Breaux Act")* [Ley de planeación, protección y restauración de los

humedales costeros (PL 101-646, Título III; “Ley Breaux”)] de 1990, que creaba un grupo de trabajo que incluía cinco organismos federales y el estado de Luisiana, presidida por el Cuerpo, para desarrollar un “enfoque integral para restaurar y prevenir la pérdida de humedales costeros en Luisiana”. Mediante este mecanismo es posible lograr cierta integración intersectorial u horizontal para planear y manejar el delta. El grupo de trabajo revisa y financia proyectos con 85% de fondos federales y 15% de fondos estatales y es el único esquema intersectorial e interinstitucional en el que participan más de una agencia que opera en el delta del Misisipi, y el que más se acerca a ser integral. Sin embargo, el grupo de trabajo no necesariamente ha visto al delta como un sistema, y su enfoque no incluye todos los usos. La implementación de múltiples proyectos y gastos de cientos de millones de dólares a lo largo de diez años no ha tenido un efecto perceptible en las altas tasas de pérdida de humedales en Luisiana, salvo donde se han construido desviaciones fluviales o donde se han construido humedales con material producto del dragado. Toda la discusión anterior se centra en la hidrología, es decir, en la cantidad de agua. La calidad de agua la regulan principalmente los estados coordinados por una delegación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EPA, por sus siglas en inglés).

El estado de Luisiana ha desarrollado e implementado un programa de manejo costero (aprobado por el gobierno federal en 1980) que, de manera conjunta con el Cuerpo, permite actividades que impactan los recursos costeros. El programa tiene su sede en el Departamento de Recursos Naturales de Louisiana, que también es responsable de promover el desarrollo petrolífero y gasífero en el estado. El programa otorga permisos para actividades en el área costera que afectan el agua y los humedales, que abarcan el delta del Misisipi. Dichas actividades incluyen actividades petrolíferas y gaseras, recreación, dragado, descarga de materiales de desecho, relleno limpieza, canalización, etc. Los gobiernos locales pueden desarrollar sus propios programas de manejo costero y, una vez que éstos sean aprobados por el estado, pueden dar permiso para que se lleven a cabo “actividades locales” de menor escala que tengan menos impactos que las reguladas por el estado.

Además del Departamento de Calidad Ambiental de Luisiana, que tiene autoridad sobre la calidad del agua, se tienen otros que tienen autoridad sobre los usos agrícolas y acuícolas del delta, así como los recursos de vida silvestre y pesquerías, además de las áreas protegidas. El Departamento de

Recursos Naturales de Luisiana, que es la agencia local de administración costera, ha desarrollado un plan integral para reducir las pérdidas de humedales (Coast 2050); en la actualidad busca implementarlo a través del grupo de trabajo de la Ley Breaux y se enfrenta con los habituales problemas entre organismos y con conflictos entre gobiernos. El plan más reciente para la restauración del delta es el plan del Área Costera de Luisiana (LCA, por sus siglas en inglés), que es un esfuerzo integral con un costo de entre 10 y 15 mil millones de dólares para restaurar el delta a lo largo de un periodo de 30 años.

El tema reciente de la hipoxia en la plataforma continental del delta, provocada por un exceso de nutrientes que provienen principalmente de la agricultura tierra adentro, ilustra la falta de planeación, administración y gobernabilidad de la cuenca de drenaje del río Misisipi. Los nutrientes entran al río como escurrimiento, principalmente de sembradíos agrícolas en la región central de los Estados Unidos de Norteamérica, y de otras fuentes dispersas. Al llegar al delta y a la plataforma continental adyacente, los nutrientes provocan la eutrofización y una pérdida de oxígeno (hipoxia) de las aguas profundas, que puede producir la muerte de peces y reducir la productividad. Aunque la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica, y los organismos estatales, tienen la responsabilidad primordial de reglamentar dichas fuentes, es difícil enfrentar el problema de los nutrientes pues cruza límites estatales. Diversos grupos de trabajo han estudiado el tema (Bresonik *et al.* 1999, Diaz y Solow 1999, Goolsby *et al.* 1999, Rabalais *et al.* 1999), y hay un creciente consenso de que la solución a este problema se encuentra en una combinación de factores que incluyen cambios en las prácticas agrónomas y restauración y creación de humedales a lo largo de la cuenca (por ejemplo, Mitsch *et al.* 2001).

RESPUESTAS INSTITUCIONALES EN LOUISIANA

El manejo costero y de humedales en Luisiana es muy complejo. Los organismos federales, estatales y públicos, así como los grupos privados (propietarios de tierras, deportistas, pescadores comerciales, tramperos, explotadores de recursos no renovables y ambientalistas) están involucrados en el proceso de manejo. Además, a lo largo de los últimos cincuenta años o más, el manejo ha sido llevado a cabo por diversas razones (por ejemplo, incremento y restauración de los humedales, acuicultura, incremento de aves acuáticas, control de acceso a la tierra, manejo de mamíferos y producción maderera y mineral). Sólo en los últimos 10 a 20 años es que el manejo

se ha enfocado plenamente en el problema de la pérdida de tierra y RSLR, y algunas de las técnicas utilizadas o propuestas para enfrentar el problema de la pérdida de tierra fueron originalmente desarrolladas para otro propósito relacionado con el manejo de humedales. Además de las actividades dirigidas específicamente al manejo costero y de humedales, otras actividades, como la protección contra inundaciones y la extracción de minerales, también han tenido un gran impacto en la pérdida de humedales, ya que es posible que algunas de estas actividades, como el control de inundaciones, sean utilizadas como respuesta al aumento en el nivel del agua, por lo que es importante considerar su impacto en la pérdida de humedales en Luisiana.

Si se considera la presente tasa de hundimiento y el prospecto de futuros incrementos en la elevación eustática del nivel del mar, parece que algunas de las acciones de manejo pasadas han ido en contra de lo que se necesita para enfrentar el problema de la pérdida de humedales a largo plazo. Sin embargo, varios enfoques de manejo se han vuelto comunes porque han generado beneficios a corto plazo o no han mostrado daños inmediatos o perceptibles en el corto plazo (10 a 20 años). Los efectos del lento sumergimiento de humedales son graduales y acumulativos, y el tiempo de demora en la respuesta del sistema natural al RSLR puede tardar décadas. Por lo tanto, el efecto de las prácticas de manejo nocivas en la pérdida de humedales se vuelven aparentes de manera lenta. Como se expone en el siguiente párrafo, la gobernabilidad ha evolucionado hacia un plan integral y coordinado.

En el pasado han habido pocos esfuerzos y metas consistentes relacionadas con el río, y los mecanismos de coordinación entre los organismos eran débiles o no existían. Sin embargo, a lo largo de los últimos años, conforme se hizo evidente la magnitud del problema, se ha desarrollado un amplio consenso en el sentido de que se necesita de un gran esfuerzo coordinado para enfrentar la restauración del delta del Misisipi. Primero se desarrolló el Plan Coast 2050, que incluía varias acciones de manejo como desviaciones de ríos, restauración de barreras insulares y restauración hidrológica. En la actualidad se desarrolla un plan llamado el plan del Área Costera de Luisiana (LCA, por sus siglas en inglés); éste contempla un esfuerzo de 30 años de duración con un costo de entre 10 y 15 mil millones de dólares para revertir la pérdida de humedales en el delta. Al igual que Coast 2050, el plan LCA incluye desviaciones, restauración de barreras insulares, restauración hidrológica. Así mismo el Plan LCA también reconoce la necesidad de encarar los problemas a lo largo de la cuenca de drenaje del Misisipi. El manejo adaptable jugará un papel central en el LCA con un fuerte énfasis en el

monitoreo, modelado y la investigación aplicada basada en hipótesis y orientada a los procesos. En la actualidad se prepara el Plan LCA para presentarlo ante el Congreso de los Estados Unidos de Norteamérica.

GRUPOS INTERESADOS EN LA PÉRDIDA DE HUMEDALES

Existen muchos grupos con diversos intereses implicados en la restauración del delta del Misisipi, lo que dificulta la tarea. Los humedales son de gran interés debido a que constituyen parte de la base de la cadena alimenticia, o proporcionan hábitat para casi todas las especies de las pesquerías comerciales que se obtienen del Golfo de México, por lo que los pescadores y quienes dependen de los productos pesqueros (por ejemplo, restaurantes y el turismo centrado alrededor de New Orleans). Los tramperos también tienen intereses porque las especies objetivo tienden a ser especies endémicas de los humedales. Los propietarios de tierras se ven afectados porque si su tierra se sumerge, se pierden algunos usos, y las tierras sumergidas, pueden pasar a ser propiedad del estado. Quienes practican la caza y pesca recreativa también dependen en gran medida de los humedales, lo que los agrega a la lista de interesados en la pérdida de humedales. Quienes han invertido en el delta en el proceso de hundimiento constituyen un grupo de interés porque se ven obligados a gastar dinero para proteger sus inversiones para no perderlas. Estos inversionistas incluyen las industrias petrolera y petroquímica, así como las industrias de navegación y de embarque. El público también es un grupo interesado porque los humedales proporcionan muchos beneficios que no han sido capturados por los mercados (por ejemplo, protección contra inundaciones para New Orleans y otras comunidades del sur de Luisiana, mejoras en la calidad del agua, almacenamiento de agua, intercambio de gas, separación de carbono, etcétera). Los gobiernos (federal, estatal y local) también constituyen un grupo interesado porque tendrán que gastar más en el control de inundaciones, en reparación de caminos que se hunden, y en tratamiento de la calidad del agua y protección de la infraestructura. Resulta muy claro que la participación de estos grupos interesados en la pérdida de humedales es de suma importancia en el proceso de manejo de restauración del delta.

Otro problema que complica la administración de los humedales en el delta del Misisipi es la propiedad de la tierra. Los patrones de propiedad de la tierra se caracterizan por ser un mosaico de propiedades públicas y privadas que rara vez coinciden con cuencas de drenaje naturales. Por lo tanto, los planes de manejo a menudo se formulan para unidades basadas en la

propiedad, aun cuando la mayoría de los administradores de recursos estarían de acuerdo en que sería más adecuado utilizar unidades naturales, como por ejemplo cuencas de drenaje. Los temas relacionados con la propiedad de la tierra han sido un factor que ha complicado el manejo de los humedales a nivel mundial (Day *et al.* 1989).

La mayoría de los humedales ubicados en el delta del Misisipi son propiedad privada, y el objetivo de los propietarios de tierras no necesariamente coincide con el de los públicos o con el de una restauración integral respaldada científicamente. Aunque los humedales tienen un gran valor ecológico, sólo parte de este valor puede transformarse en valor económico para el propietario de la tierra. Por lo tanto, un propietario puede optar por administrar sus recursos para obtener un rendimiento económico inmediato (aves acuáticas o animales de pelaje), en lugar de administrarlos planteando objetivos valiosos para la sociedad en general (limpieza de agua, exportación de materia orgánica, o hábitat para las especies de las pesquerías). Un problema particular que enfrentan los propietarios de tierras en Luisiana, es el de los ingresos relacionados con la producción de gas y petróleo. Si los humedales se deterioran hacia el agua, el área puede volverse pública y el propietario de tierra pierde ingresos por cualquier producción mineral. Aunque este tipo de deterioro rara vez ha ocurrido, sigue siendo un factor importante en la toma de decisiones de los propietarios de tierras. Así, un propietario de tierra puede sentirse obligado a escoger entre un camino que asegure el reconocimiento de los derechos minerales, y uno que sea benéfico para la conservación de los humedales. Por ejemplo, una manera en la que un propietario puede definir los límites de propiedad es con un sistema de diques bajos, sin embargo, esto tiene el inconveniente de que los diques pueden bloquear la entrada de sedimento que nutre a los humedales. A la inversa, una estrategia sin diques que maximice la entrada de sedimento y mantenga una mayor área de humedales también podría dar lugar a la erosión provocada por el oleaje de los humedales a lo largo de la interfase agua-humedal y a una pérdida neta de propiedad para el titular de la tierra.

Debido a esta complicada matriz de grupos de interés con perspectivas tan variadas sobre los recursos costeros, resulta imperativo que todos estos grupos estén involucrados en la restauración del delta. Este es un problema de enormes proporciones que debe ser enfrentado pronto, pues de lo contrario la restauración será mucho más difícil.

Con el tiempo, la gobernabilidad del delta del Misisipi ha evolucionado para responder a las necesidades de su manejo. Durante muchos años, las políticas federales y los acuerdos institucionales resultantes estuvieron dedicados, de manera casi exclusiva, a los recursos fluviales de navegación y control de inundaciones, y éste es uno de los factores más importantes conducentes al deterioro del delta del Misisipi. Históricamente, el manejo se ha concentrado en el represamiento del río brindando poca atención a la resolución del problema ambiental. Diversos estudios técnicos recientes han revelado que el manejo anterior está vinculado directamente con el deterioro del delta.

Aun identificadas las causas, las disposiciones y los acuerdos institucionales para manejar el delta del Misisipi han sido inadecuadas debido, en principio, a que la mayor parte de los organismos tienen un enfoque primario. Por ejemplo, el Cuerpo se ha dedicado, tradicionalmente, a la navegación y al control de inundaciones mientras que el Servicio Nacional de Pesquerías Marinas ha resuelto asuntos pertinentes a las zonas pesqueras. Por su parte, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos se ha ocupado principalmente, de los asuntos relacionados con el hábitat y a la vida silvestre, en tanto que la calidad del agua es un tema preponderante para la EPA. Estos organismos gubernamentales han expandido los límites de su autoridad a fin de abordar con mayor amplitud el tema de la restauración del delta. Un ejemplo son las desviaciones fluviales que emergen como una posible herramienta primaria para la restauración. Dichas desviaciones responden al hecho de que las actividades de navegación y control de inundaciones son factores importantes para la pérdida de humedales costeros. Asimismo, las desviaciones introducen gran cantidad de nutrientes en las aguas costeras y pueden dar origen a regímenes de salinidad inadecuados para la producción de las pesquerías.

Otra limitante del actual mecanismo de manejo ha sido la insuficiente valoración de las consecuencias que tienen las medidas de manejo a largo plazo. Si en un principio los efectos son mínimos y el cambio es lento, a la larga las estrategias para resolver los problemas y síntomas iniciales pueden empeorar la situación. Por ejemplo, es posible proponer el represamiento parcial y el rescate como respuesta al crecimiento del nivel del mar, pero la reducción del influjo de sedimentos podría reducir más la tasa de acumulación vertical en los humedales, volviendo cada vez menos eficaz el drenaje por gravedad.

En conclusión, el problema radica en las políticas, a veces contradictorias, que pretenden mantener el actual cauce del río Misisipi en beneficio de

la navegación y al mismo tiempo, conservar los humedales como hábitats para pesquerías y otras formas de vida silvestre. Es difícil lograr ambos objetivos si no se adopta una estrategia de manejo más amplia, completa e integral. Las dos formas de aprovechamiento del río son fundamentales para el interés nacional, por ello la solución al problema estriba en modificar la política federal mediante una acción congresista y la revalorización de manera realista de las opciones disponibles que puedan mantener la navegación y el control de inundaciones sin sacrificar los humedales del sur de Luisiana.

INSTRUCCIONES PARA UNA MEJOR MANEJO

Según las condiciones del proyecto LCA, se ha diseñado una completa estrategia para resolver los problemas antes citados y desarrollar un ambicioso programa para la restauración del delta. En esta sección analizaremos, en términos generales, algunos de los aspectos que dicho programa habrá de contemplar.

REDEFINICIÓN DE OBJETIVOS

El enfoque histórico puesto en la navegación y el control de inundaciones deberá modificarse para incluir, en igualdad de condiciones, la restauración del delta. Aunque mucho se ha hablado sobre el asunto, aún no se han aplicado proyectos de restauración eficaces. El control de inundaciones por medio de la construcción de diques no debe eliminar la distribución de los sedimentos ni la entrada de agua dulce a los humedales costeros ya que estas entradas son necesarias para contrarrestar el hundimiento y el incremento de salinidad. Es necesario que la planeación integral tome en cuenta estrategias alternativas para proteger las áreas desarrolladas en la zona costera y así asegurar la entrada de sedimentos y agua; por ejemplo, mediante la construcción de diques circundantes y canales para controlar inundaciones. Por último, es necesario comprender que el control de inundaciones mediante drenaje por gravedad será cada vez menos viable si no se eleva el nivel del suelo. A fin de conservar las áreas donde los niveles de agua fueron inicialmente controlados mediante drenaje por gravedad, será indispensable recurrir al drenaje por bombeo que es mucho más costoso.

DESVIACIONES FLUVIALES HACIA MARISMAS DETERIORADAS

Hace más de dos décadas, cuando se proyectaron inicialmente las desviaciones de agua dulce en Luisiana, el objetivo principal consistió en reducir la salinidad para fomentar la producción de ostras en las regiones circundantes (Chatry *et al.* 1983, Chatry y Chew 1985). En fechas recientes, para contrarrestar RSLR (Day y Templet 1989, Day *et al.* 1997, 2000), se ha recurrido cada vez más a las desviaciones como estrategia para llevar sedimentos y nutrientes hacia los humedales. Algunas investigaciones recientes, indican que las desviaciones han conducido a una mayor acumulación y a una creciente productividad en las marismas y mayores capturas pesqueras (Day *et al.* 1997, Lane *et al.* 1999). Aunque existe la inquietud de que los nutrientes del agua desviada pueden conducir a la eutrofización, Lane *et al.* (1999, 2001 a, b) han demostrado que hay una rápida reducción de nitrógeno y otros nutrientes conforme el agua desviada fluye hacia los humedales y otros cuerpos de agua someros.

Las desviaciones, aunadas a ciertas medidas de manejo complementarias como la restauración la hidrología natural y el aumento la barrera insular, retrasarían y podrían revertir el problema de la pérdida de tierras en la planicie del delta. La implantación de muchas de estas alternativas requiere de importantes cambios en las políticas congresistas con respecto al manejo del río Misisipi, cambios que pretende crear el proyecto LCA.

USO DE LA ENERGÍA NATURAL

El proyecto de restauración del delta deberá maximizar el uso de fuentes de diferentes tipos de energía natural, como la productividad vegetal, los vientos, las corrientes fluviales y las mareas. Por ejemplo, en la medida de lo posible, habrá que utilizar las corrientes para distribuir los sedimentos: la vegetación deberá incrementarse para favorecer una mayor formación de tierra orgánica y así elevar la acumulación vertical. Este principio de ingeniería ecológica sugiere el uso de pequeñas cantidades de energía de los combustibles fósiles para canalizar flujos de energía natural mucho mayores (Odum 1971, Mitch y Jorgenson 2003). Un ejemplo del uso de energía natural es el análisis energético de la cuenca del río Misisipi, el cual reveló que aunque el ahorro de energía favoreció a la navegación y al desarrollo que se llevó a cabo gracias a los diques fluviales, las pérdidas totales del sistema energético fueron mayores (Odum y Diamond 1985). Lo anterior implica que el estado y la nación obtendrán mayores beneficios si el

agua y los sedimentos del río se aprovecharan de manera constructiva para nutrir los humedales, sin necesidad de sacrificar la navegación y protegiendo a la vez el desarrollo. Mitsch y otros (2001) demostraron que la restauración de humedales en toda la cuenca del Misisipi también podría ayudar a solucionar el problema de la escasez de oxígeno en el Golfo de México.

Los problemas del deterioro de la calidad del agua también pueden abordarse mediante el uso de energía natural. Las aguas costeras de tierra adentro reciben una elevada carga de nutrientes derivada del escurrimiento agrícola y urbano de fuentes no puntuales, así como de fuentes puntuales como aguas negras y desechos industriales (por ejemplo, agua de desecho procedente del procesamiento de mariscos). Con anterioridad, las fuentes puntuales se resolvían con el tratamiento convencional de aguas de desecho, que tiene un alto costo y se consume una gran cantidad de energía. No obstante, las aguas de desecho pueden tratarse utilizando humedales naturales, los cuales asimilan nutrientes y materia orgánica del agua de desecho y mejoran la calidad del agua, aumentan la productividad e incrementan la acumulación vertical (Breux y Day 1994, Hesse *et al.* 1998, Zhang *et al.* 2000, Rybczyk *et al.* 2002). Numerosos estudios de asimilación en los humedales de Luisiana han demostrado que éste es un proceso rentable y energéticamente eficaz (Cardoch *et al.* 2000, Ko *et al.* 2004).

Además, los problemas de calidad del agua ocasionados por la alteración de la hidrología pueden resolverse provocando que la mayor parte del escurrimiento de las tierras altas fluya a través de los humedales, restaurando su hidrología antes de llegar a los cuerpos de agua. Los humedales son lavaderos naturales de nutrientes (Hatton *et al.* 1982, Sharp *et al.* 1982, Reddy *et al.* 1993) y por ello, ofrecen un mecanismo viable para reducir la carga de nutrientes del agua fluvial antes que llegue al mar. De tal suerte, la calidad del agua mejora con la restauración de la hidrología y un mayor contacto con los humedales.

PLANEACIÓN INTEGRADA

Para mejorar el manejo del delta del Misisipi hace falta una planeación integrada en los niveles local, de cuenca y nacional. Tal es la finalidad del proyecto LCA. A fin de apoyar la planeación integrada, habrá que diseñarse un amplio acuerdo institucional para: (1) promover un mayor intercambio de información entre los diversos grupos interesados en el problema (por ejem-

plo, dueños de tierras particulares, pescadores, etc.) y las numerosas dependencias gubernamentales, a fin de lograr una mayor comprensión del funcionamiento del complejo ecosistema y las consecuencias de las opciones de manejo, (2) apoyar estudios holísticos sobre pérdida de humedales, deterioro de la calidad del agua y relación entre los ecosistemas naturales y las actividades económicas del hombre, y (3) analizar las repercusiones a largo plazo, como el cambio global en el manejo del delta del Misisipi. El cuadro 3 presenta algunos de los elementos propuestos para dicho proyecto. La solución a los problemas derivados de las prácticas poco sistemáticas y a corto plazo, ha de consistir de una estrategia integrada que adopte un enfoque global a largo plazo sobre la pérdida de humedales, incluido RSLR. Además de la extensa planeación, hace falta un fuerte liderazgo que se ocupe de implantar las decisiones políticas y de reglamentación.

CUADRO 3. PROPUESTAS PARA EL MANEJO DEL DELTA DEL MISISIPÍ

Objetivo	Manejar la parte baja del delta y la cuenca del río Misisipi de manera que permita revertir la pérdida de humedales costeros y resolver los problemas de calidad del agua, sin sacrificar la navegación y el control de inundaciones.
Política	Utilizar agua, sedimentos y nutrientes del río Misisipi para rellenar y nutrir los humedales, manteniendo la calidad del agua mediante la retención de nutrientes.
Estrategia	Utilizar desviaciones para distribuir el agua del río Misisipi hacia la planicie del Delta. Los encargados del manejo deberán tomar en consideración aspectos como salinidad, necesidad de sedimentos y captación de nutrientes.
Tácticas	1. Incrementar la corriente del río Atchafalaya y mejorar la hidrología del sistema Atchafalaya, a fin de elevar el flujo a través de los humedales. 2. Aprovechar la fuerza de la corriente del manantial del río Misisipi para arrastrar sedimentos a la superficie de la marisma. Aprovechar la fuerza de la corriente natural para mejorar la sedimentación en la marisma. 3. Aprovechar antiguos tributarios del río Misisipi para desplazar agua y sedimentos hacia los humedales de la planicie del delta. 4. Analizar la posibilidad de desviar la navegación fuera del delta bajo (Birdfoot) mediante un sistema de esclusas y favorecer una hidrología más natural en el delta bajo mediante un mayor desbordamiento de sus riberas. 5. Utilizar soleras de poca altura en los diques del bajo río Misisipi para conducir aguas de la corriente del manantial hacia los humedales adyacentes. 6. Aprovechar la carga del lecho del río Atchafalaya para incrementar la regeneración del delta en la bahía Atchafalaya.

(Continúa)

7. Crear múltiples desviaciones pequeñas en los canales principales, a fin de des-
plazar agua, con mayor eficacia, hacia los humedales que empiezan a hundirse.
 8. Aprovechar la reducción en la extensión del canal, la restauración de la
barrera insular y las estrategias de regulación para complementar y mejorar la
eficacia de las desviaciones.
 9. Utilizar vías fluviales artificiales, como la Vía fluvial intercostera del Golfo, a
modo de canales laterales que desplacen agua a través de y entre las cuencas.
-

Como ejemplo de la planeación integrada utilizaremos el caso del aumento del nivel del mar. Es posible que en los próximos 50 años ocurra un incremento significativo, de modo que es imperativo formular proyectos integrados, a largo plazo y en diversas escalas. Al planificar la respuesta institucional para contrarrestar las consecuencias del creciente nivel del mar en los ecosistemas costeros, habrá que considerar diversos factores, en particular los relevantes a la oportunidad y pertinencia de las acciones (Day y Templet 1989, Day *et al.* 1997). Es muy factible que se observe una demora considerable (décadas o más) antes que los efectos del aumento en el nivel del mar sean evidentes, y también es probable que se incremente la velocidad del cambio. En consecuencia, hay que adoptar medidas tempranas aun cuando no sean aparentes la necesidad ni la culminación de la secuencia de acontecimientos conducentes a la pérdida de tierra. Todos los programas o proyectos federales pertinentes a los esfuerzos de planeación, deberán tomar en cuenta las consecuencias del aumento en el nivel del mar. Los gobiernos estatales habrán de emitir lineamientos al gobierno local, a fin de regular el uso de tierras mediante zonificación, excedentes de medición, estándares de subdivisión, instalación de alcantarillado y otros servicios, drenaje y control de inundaciones.

Los organismos estatales para el manejo de la zona costera también pueden tomar la iniciativa en los esfuerzos de planeación, debido a que las consecuencias inmediatas se pondrán de manifiesto en las áreas costeras y a que los mandatos de los organismos estatales para la zona costera suelen ser más generales que las directivas tradicionales de las dependencias para sectores individuales. Asimismo, las dependencias de manejo costero ya creadas pueden incluir información y sugerencias de mitigación dentro de los procedimientos existentes para el otorgamiento de permisos, a fin de compensar algunos efectos del aumento en el nivel del mar (Coastal Society 1986). Estos distintos niveles de planeación deberán tener cierto grado de

integración. En la medida de lo posible, deberá evitarse que los propietarios de tierras particulares se vean en situaciones en que una decisión deletérea para los recursos naturales beneficie sus intereses económicos. Los propietarios de tierras podrían recibir una forma de compensación (como una exención fiscal) para compensar las medidas de manejo que no redunden en beneficios económicos inmediatos para sus intereses personales. Estas consideraciones indican la importancia de la planeación coordinada. Sería mucho mejor administrar la zona costera con base en unidades de paisaje natural pues en muchos sentidos, los problemas relacionados con la posesión de tierras podrían complicar los esfuerzos para combatir los efectos del aumento del nivel del mar. Desde la perspectiva política y legal, resulta mucho más sencillo implantar proyectos de manejo fundamentados en unidades de paisaje definidas por la propiedad. Sin embargo, el manejo de ecosistemas, en particular el caso de los humedales, es mucho más eficaz cuando se basa en unidades de paisaje natural, como las cuencas de drenaje. Con seguridad, los diferentes propietarios tendrán distintos objetivos de manejo para sus tierras. Es posible que algunos prefieran administrar recursos que proporcionen un provecho económico directo (como animales de pelaje comercial, o aves acuáticas), en vez de redundar en el beneficio público general. Por ende, el asunto de la posesión de tierras debe incluirse como un elemento primario de la planeación integral.

El desarrollo de áreas de poca altura presenta problemas especiales pues, conforme aumente el nivel del mar, cada vez será más difícil conservar esas zonas. A largo plazo, la construcción de diques y el drenaje de turberas agravarán el hundimiento. En cuanto a las áreas agrícolas, el sistema de cultivos rotatorios, que introduce sedimentos fluviales en campos específicos, podría promover la acumulación y contribuir a la fertilización de cultivos. Los cultivos de alta biomasa también son importantes para promover la acumulación vertical, a condición de que se permita el depósito de materia orgánica. Las técnicas para controlar la erosión mediante cubiertas vegetales, áreas de barbecho y agricultura sin labranza, podrían contribuir a una menor erosión y a una mayor acumulación. Como se señaló anteriormente, la eficacia del drenaje por gravedad tiene una duración relativamente corta en zonas donde los niveles de agua van en aumento, mientras que el drenaje por bombeo no suele ser factible en áreas agrícolas y sólo se ha sostenido en las regiones de gran explotación agrícola de naciones desarrolladas como Holanda.

Adicionalmente, el monitoreo y la planeación coordinada en el delta

del Misisipi deberán incluir información de otras áreas costeras del mundo, sobre todo de los deltas. El delta del Misisipi es el único delta de gran tamaño en el territorio continental de Estados Unidos de Norteamérica y en consecuencia, es necesario obtener información de los deltas de otras naciones donde existan condiciones y problemas similares (por ejemplo, Day *et al.* 1997). Algunas áreas posibles incluyen los deltas de otros ríos y áreas costeras importantes: Grijalva-Usumacinta, Ebro, Po, Nilo, Camarguc, Danubio, Rin, Ganges y Bahía Chesapeake. El modelado puede ser una poderosa herramienta para evaluar los impactos de diferentes prácticas de manejo en el delta del Misisipi.

CONCLUSIÓN

El problema del deterioro del delta del Misisipi es producto de un trastorno en el funcionamiento natural del sistema. Dos impactos importantes fueron la separación de la planicie deltaica del cauce del río, y la generalizada alteración hidrológica del delta. A fin de resolver estos problemas, es necesaria una política integral que incluya tanto al delta cuanto a la cuenca de drenaje. La reconexión del río con el delta debe ser el componente esencial para la restauración del área. El proyecto LCA para restaurar el delta del Misisipi incluye muchos de estos elementos, pero se requiere de una mayor participación por parte de los grupos interesados en el problema, y un programa integrado para toda la cuenca.

RECONOCIMIENTOS

Este esfuerzo ha recibido el apoyo del Manejo Nacional Oceánico y Atmosférico a través del *Luisiana Sea Grant College Program* (Programa Universitario de Becas Marinas de Luisiana (Beca NOAA No. NA16G2249), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, el Departamento de Recursos Naturales de Luisiana y el U.S Geological Survey. Agradecemos a los doctores Brian Pérez y Sijan Sapkota, y a Beth Vairin, todos del U.S. Geological Survey, por sus valiosos comentarios a este apartado.

BIBLIOGRAFÍA

- Barras, J. A. Bourgeois, y L. R. Handley 1994. *Land Loss in Coastal Louisiana, 1956-1990. National Biological Survey, National Wetlands Research Center Open File Report 94-01. 4 pp. 10 color prints.*
- Baumann, R. H. y R. E. Turner 1990. Direct impacts of outer continental shelf activities on wetland loss in the Central Gulf of Mexico. *Environmental Geology and Water Science* 15(3): 189-198.
- Bierman, V. J., S. C. Hinz, W. J. Wiseman, Jr., N. N. Rabalais, y R. E. Turner 1994. A preliminary mass balance model of primary productivity and dissolved oxygen in the Mississippi River plume/inner Gulf shelf region. *Estuaries* 17: 1-84.
- Boesch, D. A., M. J. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad, y D. J. Swift 1994. Scientific assessment of coastal wetland loss, restoration and management in Louisiana. *Journal of Coastal Research* Spc. Issue 20: 1-103.
- Boumanns, R. M. y J. W. Day, Jr. 1994. Effects of two Louisiana's marsh management plans on water and materials flux and short-term sedimentation. *Wetlands* 14: 247-261.
- Boynton, W. R. 1982. 'A comparative analysis of nutrients and other factors influencing estuarine phytoplankton production,' in V.S. Kennedy (ed.), *Estuarine Comparisons*. New York: Academic Press. Pp. 69-91.
- Breaux, A. M., y J. W. Day 1994. Policy considerations for wetland wastewater treatment in the coastal zone: a case for Louisiana. *Coastal Management* 22: 285-307.
- Brezonik, P. L., et al. 1999. *Effects of Reducing Nutrient Loads to Surface Waters within the Mississippi River Basin and the Gulf of Mexico: Topic 4 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 18. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Britsch, L., y J. Dunbar 1993. Land loss rates: Louisiana coastal plain. *Journal of Coastal Research* 9: 324-338.
- Cade, G. C. 1986. Increased phytoplankton primary production in the marsdiep area (Western Dutch Wadden Sea) Netherlands. *Journal of Sea Research* 20: 285-290.
- Cahoon, D. 1994. Recent accretion in two managed marsh impoundments in coastal Louisiana. *Ecological Applications* 4: 166-176.
- Cardoch, L., J. W. Day, J. M. Rybczyk, y G. P. Kemp 2000. An economic analysis of using wetlands for treatment of shrimp processing wastewater-a case study in Dulac, LA. *Ecological Economics* 33: 93-101.
- Chabreck, R. H., T. Joanen, y A. W. Palmisano 1968. *Vegetative Type Map of the Louisiana Coastal Marshes*. Louisiana Wildlife and Fisheries Commission, New Orleans, Louisiana.
- Chabreck, R. H. y G. Linscombe 1978. *Vegetative Type Map of the Louisiana Coastal Marshes*. Louisiana Wildlife and Fisheries, New Orleans, Louisiana.

- Chabreck, R. H. y G. Linscombe 1988. *Louisiana Coastal Marsh Vegetative Map 1988*. Louisiana Wildlife and Fisheries, Baton Rouge, Louisiana.
- Chatry, M., R. J. Dugas, y K. A. Easley 1983. Optimum salinity regime for oyster production on Louisiana state seed grounds. *Contributions In Marine Science* 26(Sept): 81-94.
- Chatry, M., y D. Chew 1985. 'Freshwater diversion in coastal Louisiana: recommendations for development of management criteria,' in *Fourth Coastal Marsh and Estuary Management Symposium*. Pp.71-84.
- Coastal Society. 1986. *The Implications of Relative Sea Level Change on Coastal Decision Making*. Report of the Coastal Society's Northeast. Regional meeting, Oct. 2, 1986, Great Meadows National Wildlife Refuge, Lincoln, MA.
- Costanza, R., R. D'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton, y M. van den Belt 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-60.
- Costanza, R., F.H. Sklar, y J.W. Day, Jr. 1986. 'Modeling spatial and temporal succession in the Atchafalaya/Terrebonne marsh/estuarine complex in S. La,' in D. A. Wolfe (ed), *Estuarine Variability*. New York: Academic Press.
- Craig, N. J., R. E. Turner, y J. W. Day, Jr. 1979. Land loss in coastal Louisiana (U.S.A.). *Environmental Management*. 3: 133-144.
- Day, J. W., D. Pont, P. F. Hensel, y C. Ibanez. 1995. Impacts of sea-level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries* 18: 636-647.
- Day, J. W., Jr., J.F. Martin, L. Cardoch, y P. H. Templet. 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems *Coastal Management* 25: 115-153.
- Day, J. W., Jr., R. Costanza, K. Teague, N. Taylor, G.P. Kemp, R. Day, y R.E. Becker. 1989. *Wetland Impoundments: A Global Survey for Comparison with the Louisiana Coastal Zone*. Final Report to Geological Survey Division, Louisiana Department of Natural Resources, Baton Rouge. 140 pp.
- Day, J. W., Jr., y P. H. Templet. 1989. Consequences of sea level rise: implications from the Mississippi Delta. *Coastal Management* 17: 241-257.
- Day, J. W., Jr., L. D. Britsch, S. R. Hawes, G. P. Shaffer, D. J. Reed, y D. Cahoon 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change. *Estuaries* 23: 425-438.
- Day, R., R. Holz, y J.W. Day. 1990. An inventory of wetland impoundments in the coastal zone of Louisiana, USA: historical trends. *Environmental Management* 14: 229-240.
- DeLaune, R. D., W.H. Patrick, Jr., y R.J. Buresh. 1978. Sedimentation rates determined by Cs 137 dating in a rapidly accreting salt marsh. *Nature* 275: 532-33.

- DeLaune, R. D., R.H. Baumann, y J.G. Gosselink. 1983. Relationships among vertical accretion, apparent sea level rise and land loss in a Louisiana Gulf Coast marsh. *Journal of Sedimentary Petrology* 53: 147-157.
- Diaz, R., y A. Solow. 1999. *Ecological and Economic Consequences of Hypoxia: Topic 2 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Gagliano, S. M., y J. L. van Beek. 1975. 'An approach to multiuse management in the Mississippi Delta system,' in M. L. Brossard (ed), *Deltas, Models for Exploration*. Houston, Texas: Texas Geological Society. Reprint.
- Gagliano, S. M., y J. L. Van Beek. 1976. 'Mississippi River sediment as a resource,' in R. S. Saxena (ed), *Modern Mississippi Delta - Depositional Environments and Processes, A Guide Book for the AAPG/SEPM Field Trip*, May 23-26. Reprint.
- Gagliano, S. M., K. Meyer-Arendt, y K. Wicker. 1981. Land loss in the Mississippi River deltaic plain. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies* 31: 295-300.
- Gornitz, V., S. Lebedeff, y J. Hansen. 1982. Global sea level trend in the past century. *Science* 215: 1611-1614.
- Goolsby, D. A., W. A. Battaglin, G. B. Lawrence, R. S. Artz, B. T. Aulenbach, and R. P. Hooper. 1999. *Flux and Sources of Nutrients in the Mississippi-Atchafalaya Basin: Topic 3 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 17. Silver Spring, Maryland, NOAA Coastal Ocean Office.
- Hatton, R. S., W. H. Patrick, y R. D. DeLaune. 1982. 'Sedimentation, nutrient accumulation, and early diagenesis in Louisiana Barataria Basin Coastal Marshes. En: V. S. Kennedy (ed.). *Estuarine Comparisons*. Academic Press, New York .
- Hatton, R. S., R.D. DeLaune, y W.H. Patrick, Jr., 1983. Sedimentation, accretion and subsidence in marshes of Barataria Basin, Louisiana. *Limnology and Oceanography* 28: 494-502.
- Hesse, I. D., J. W. Day, Jr., y T. W. Doyle 1998. Long-term growth enhancement of baldcypress (*Taxodium distichum*) from municipal wastewater application. *Environmental Management* 22: 119-127.
- Houck, O. A. 1983. Land loss in coastal Louisiana: causes, consequences, and remedies. *Tulane Law Review* 58 (1): 3-168.
- Justic D., N. N. Rabalais, y R. E. Turner 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Marine Pollution Bulletin* 30: 41-46.
- Justic, D., N. Rabalais, y R. Turner. 1996. Effects of climate change on hypoxia in coastal waters: A doubled CO₂ scenario for the Northern Gulf of Mexico. *Limnology and Oceanography* 41: 992-1003.
- Justic, D., N. Rabalais, y R. Turner. 1997. Impacts of climate change on net productivity of coastal waters: Implications for carbon budgets and hypoxia. *Climate Research*

8: 225-237.

- Kesel R. H. 1988. The decline in the suspended load of the lower Mississippi River and its influence on adjacent wetlands. *Environmental Geology and Water Sciences* 11: 271-281.
- Kesel, R. H. 1989. The role of the Mississippi River in wetland loss in Southeastern Louisiana, U.S.A. *Environmental Geology and Water Sciences* 13: 183-193.
- Ko, J.-Y., J. W. Day, R. R. Lane, y J. N. Day 2004. A Comparative Evaluation of Cost-Benefit Analysis and Embodied Energy Analysis of Tertiary Municipal Wastewater Treatment Using Forested Wetlands vs. Sand Filtration in Louisiana. *Ecological Economics* 29: 463-472.
- Lane, R., J. Day, y B. Thibodeaux 1999. Water quality analysis of a freshwater diversion at Caervarvon, Louisiana. *Estuaries* 22: 327-336.
- Lane R, J. Day, G. P. Kemp, y D. Demcheck 2001a. The 1994 experimental opening of the Bonnet Carre Spillway to divert Mississippi River water into Lake Ponchartrain, Louisiana. *Ecological Engineering* 17: 411-422.
- Lane, R., J. Day, B. Marx, E. Reyes, y G. P. Kemp. 2001b. Seasonal and spatial water quality changes in the outflow plume of the Atchafalaya River, Louisiana, USA. *Estuaries* 25: 30-42.
- LCWCRTF [Louisiana Coastal Wetlands Conservation and Restoration Task Force]. 1993. *Louisiana Coastal Wetlands Restoration Plan. Main Report, EIS and Appendices*, Baton Rouge, Louisiana: US Army Corps of Engineers.
- Lindstedt, D. M., L. L. Nunn, J. C. Holmes, Jr., y E. E. Willis. 1991. *History of Oil and Gas Development in Coastal Louisiana*. Baton Rouge, Louisiana: Louisiana Geological. 131 pp.
- Lindcombe, G., R. H. Chabreck, y S. Hartley. 2001. 2001 *Louisiana Coastal Marsh-Vegetative Type Map*. U. S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana, and the Louisiana Dept. of Wildlife and Fisheries, Fur and Refuge Division, Baton Rouge, LA. (http://www.brownmarsh.net/data/III_9.htm).
- Mendelssohn, I. A., y J.T. Morris. 2000. 'Eco-physiological control on the productivity of *Spartina alterniflora* loisel,' in M.P. Weinstein and D.A. Kreeger (eds), *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Boston, Mass: Kuwer Academic Publishers. Pp. 59-80.
- Mitsch, W. J., J. W. Day, Jr., W. Gilliam, P. M. Groffman, D. L. Hey, G. W. Randall, y N. Wang 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River basin: strategies to counter a persistent ecological problem. *Bioscience* 51: 373-388.
- Mitsch, W. J., y S. E. Jorgenson. 2003. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. New York: John Wiley & Sons.

- Moore, D. H., H. Brusher, y L. Trent 1970. Relative abundance, seasonal distribution, and species composition of demersal fishes off Louisiana and Texas, 1962-1964. *Contributions in Marine Science* 15: 45-70.
- NMFS (National Marine Fisheries Service). Fisheries Statistics & Economics Div. www.st.nmfs.gov. Acceso: 3 de diciembre de 2003.
- Nixon, S. W. 1981. 'Freshwater inputs and estuarine productivity,' in *Proceedings of the National Symposium on Freshwater Inflow to Estuaries*. Slidell, Luisiana.
- Odum, H. T. 1971. *Environment. Power and Society*. New York: John Wiley and Sons.
- Odum, H. T., y C. Diamond. 1985. *Energy Systems Overview of the Miss. River Basin*. Report to the Cousteau Society.
- O'Neil, T. 1949. *The muskrat in the Louisiana coastal marshes*. Louisiana Department of Wildlife and Fisheries, New Orleans. 159 pp.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y W. J. Wiseman. 1991. 'Distribution and characteristics of hypoxia on the Louisiana Shelf in 1990 and 1991,' in *Nutrient Enhanced Coastal Ocean Productivity*. 15-20. Texas Sea Grant Program, Texas A&M University. Publication no. TAMU-SG-92-109.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, W. J. Wiseman y B. K. Sen Gupta 1996. Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 17: 850-861.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, W. J. Wiseman, and Q. Dortch 1998. Consequences of the 1993 Mississippi River flood in the Gulf of Mexico. *Regulated Rivers* 14: 161-177.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, y W. J. Wiseman 1999. *Characterization of Hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico*. NOAA Coastal Ocean Program, Decision Analysis Series No. 15. Silver Spring, Maryland: NOAA Coastal Ocean Office.
- Raynie, R. C., y S. K. Beasley 2000. *Working to Save Our Coastal Wetlands*. Public information brochure. Baton Rouge, Louisiana Dept. of Natural Resources, Coastal Restoration Div. 17 pp.
- Reddy, K. R., R. D. DeLaune, W. F. DeBusk, y M. S. Koch. 1993. Long-term nutrient accumulation rates in the Everglades. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1147-1155.
- Reed, D. 1992. Effect of weirs on sediment deposition in Louisiana coastal marshes. *Environmental Management* 16: 55-65.
- Roberts, H. H. 1997. Dynamic changes of the holocene Mississippi river delta plain: the delta cycle. *Journal of Coastal Research* 13: 605-627.
- Rybczyk, J. M., J. W. Day, Jr. y W. H. Conner 2002. The impact of wastewater effluent on accretion and decomposition in a subsiding forested wetland. *Wetlands* 22: 18-32.
- Sharp, J. H., C. H. Culberson, y T. M. Church. 1982. The chemistry of the Delaware estuary: General Considerations. *Limnology and Oceanography* 27: 1015-1028.

- Templet, P. H., y K. Meyer-Arendt. 1988. Louisiana wetland loss: a regional water management approach to the problem. *Environmental Management* 12: 181-192.
- Turner, R., y R. Allen. 1982. Bottom water oxygen concentrations in the Mississippi River Delta bight. *Contributions in Marine Science* 25: 161-172.
- Turner, R. E. 1977. Intertidal vegetation and commercial yields of penaeid shrimp. *Transactions of the American Fisheries Society* 1065: 411-416.
- Turner, R. E., R. Costanza, y W. Scaife. 1982. 'Canals and wetland erosion rates in coastal Louisiana. En: D. Boesch (ed.). *Proceedings of the conference on coastal erosion and wetland modification in Louisiana: causes, consequences, and options*. FEW/OBS-82/59. US Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Slidell, Louisiana. Pp. 73-84.
- Turner, R. E., y D. Cahoon 1987. *Causes of wetland loss in the coastal central Gulf of Mexico*. Vol.1: executive summary. Vol.2: technical narrative. Vol.3: appendices. Coastal Ecology Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. Final report submitted to the Minerals Management Service, Contract No. 14-12-001-30252. OCS study/MMS 87-0119. New Orleans, Louisiana.
- Twilley, R. R., y J. Barras 2003. 'Formulation of the Louisiana coastal area ecosystem model. En: R. R. Twilley (ed.). *LCA Comprehensive Ecosystem Restoration Plan*, Appendix E. 276 pp.
- Viosca, P. 1927. Flood control in the Mississippi valley in its relation to Louisiana fisheries. *Transactions of American Fisheries Society* 57: 45-64.
- Zhang, X., S. Feagley, J. Day, W. Conner, I. Hesse, J. Rybczyk, y W. Hudnall. 2000. A water chemistry assessment of wastewater remediation in a natural swamp. *Journal of Environmental Quality* 29: 1960-1968.

LA OBSERVACIÓN DE IMPACTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Raúl Aguirre Gómez

INTRODUCCIÓN

El movimiento del agua y de los sedimentos en las plataformas continentales, incluyendo bahías, estuarios y lagunas costeras, han sido estudiados mediante técnicas oceanográficas convencionales de medición directa o indirecta. Las observaciones directas incluyen la colección de núcleos del fondo marino o la inmersión de instrumentos de registro automático (*e.g.* CTD). Las observaciones indirectas incluyen el uso de equipo geofísico especializado o bien, el análisis de propiedades conservativas del agua, tales como temperatura y salinidad, que permiten inferir el origen y movimiento de masas de agua. Estas técnicas de monitoreo han sido usadas en forma aislada y como parte constituyente de estudios integrales. En las últimas dos o tres décadas, los datos obtenidos remotamente en plataformas aéreas y espaciales han proporcionado una fuente adicional de información para las investigaciones oceanográficas costeras y marinas. Las imágenes de satélite han sido utilizadas en numerosos estudios empleando, principalmente, los intervalos visible, térmico y microondas del espectro electromagnético (EEM). La importancia de estudiar la zona costera con estas técnicas radica en el hecho de poder evaluar el impacto en la zona costera de manera sinóptica.

El objetivo de esta contribución es evaluar, en forma cualitativa, el impacto de las diferentes actividades antropogénicas y procesos naturales en la zona costera del Golfo de México.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México es un sistema semicerrado con una entrada de agua oceánica por el Caribe a través del Canal de Yucatán y con una salida a través del estrecho de la Florida con una profundidad máxima de 4,000 m en la región central. Una sus características morfológicas más notables es el ancho de la plataforma continental cerca de las penínsulas de la Florida y Yucatán, la cual decrece ligeramente en la parte norte cerca de las costas de Texas, Luisiana, Misisipi y Alabama y es muy angosta en la pendiente occidental cercana a las costas de Tamaulipas y Veracruz.

El Golfo de México es un sistema oligotrófico con la mayor producción primaria asociada a la presencia de “nortes” que se presentan de noviembre a mayo (Soto y Escobar 1995). La mezcla convectiva de la columna de agua se presenta en octubre durante la temporada de nortes y termina en marzo. En la parte noroeste del Golfo de México el ciclo anual de la descarga de los ríos es escasa de febrero a mayo, y aumenta entre julio y septiembre durante la época de lluvias. La descarga de los ríos Soto la Marina, Bravo y Pánuco producen una capa con una salinidad baja de 30 ups y temperatura de 21 a 23 °C que puede llegar hasta los 100 km de la desembocadura (Escobar y Soto 1997).

Esta región del golfo está constituida por una plataforma de menos de 50 km de ancho, la cual termina a 100 ó 200 m de profundidad. La plataforma es abrupta y se distingue por relieves paralelos a la línea de costa, conocida como la “Cordillera Mexicana” entre los 24° y 19° N. Esta cordillera actúa como barrera para el sedimento continental generando un talud continental único por su naturaleza y origen. La plataforma continental cercana a la península de Yucatán es conocida como el Banco de Campeche y en la región sur-occidental como la Sonda de Campeche. En la región occidental del Banco de Campeche existe un área que presenta grandes cambios con la profundidad y se conoce como el Escarpe de Campeche. En la región suroeste del Golfo de México existe un cañón submarino que marca el final de la zona carbonatada del Banco de Campeche y el inicio de la zona continental, que se conoce como el Cañón de Campeche.

La región cubre varias zonas fisiográficas que incluyen al Banco y a la bahía de Campeche de acuerdo con la clasificación de Antoine (1972). El Banco de Campeche es una región carbonatada muy extendida y casi plana, limitada al oeste por la cuenca Tabasco–Campeche y al este por el Estrecho de Yucatán. Esta región recibe la influencia de las surgencias a lo largo de la Península de Yucatán. Se ha observado una corriente fuerte derivada de la

Corriente del Golfo que entra a través del estrecho. Es una zona somera que abarca un rango de 20 a 200 m de profundidad. La Bahía de Campeche está limitada por el paralelo 21° N y por las costas de los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán al oeste, sur y este, respectivamente. Se considera como la extensión marina de la cuenca Tabasco–Campeche. La bahía, abierta hacia el golfo, limita al este con el Banco de Campeche, y al sur y al suroeste con la Sierra Madre Oriental. La planicie costera es baja, pantanosa y con un drenado pobre. La circulación dentro de la bahía está influenciada por la corriente proveniente del Banco de Campeche, la cual es producida por la corriente y la surgencia dinámica de Yucatán (Hernández-Téllez *et al.* 1993). La temporada de lluvia, de junio a septiembre, produce un aporte de agua dulce en la bahía a través del sistema de ríos Grijalva – Usumacinta. El aporte de agua dulce disminuye la salinidad y modifica la temperatura marina creando un frente costero (Monreal-Gómez *et al.* 1992). La bahía es una región oceánica más profunda con un rango que va desde los 2,000 hasta los 3,500 metros.

Las características físicas más pronunciadas son la Corriente del Lazo y sus remolinos anticiclónicos asociados. En la región sur del Golfo de México descargan sus aguas dos ríos importantes: el Coatzacoalcos y el sistema Grijalva–Usumacinta. Estos ríos son la principal fuente de sedimentos en la zona costera y representan aproximadamente un tercio de la descarga fluvial en México (Carranza *et al.* 1993). La circulación en esta parte es ciclónica generada por remolinos originados en el Este y que llevan un desplazamiento hacia el Oeste (Molinari *et al.* 1978). La precipitación anual alcanza los 4.5 m y se tiene un promedio de 160 días nublados por año.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SENSORES SATELITALES

Los datos utilizados en este capítulo fueron obtenidos de los sensores, Landsat (MSS y TM), SeaWiFS, AVHRR y TOPEX y procesados en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM. Estos sensores operan en las regiones visible, infrarroja y microondas del espectro electromagnético. Todos ellos son transportados en satélites helio-sincrónicos, de órbita polar, cruzando el ecuador terrestre aproximadamente a la misma hora local a lo largo del año. Existe una amplia gama de características oceánicas y costeras que son discernibles con imágenes de satélite. Estos aspectos son descritos a continuación.

EL COLOR DEL MAR

En el intervalo visible del EEM, las imágenes satelitales han sido utilizadas en estudios de zonas ribereñas, lacustres, estuarinas de ambientes costeros y de mar profundo. Diversos sensores han sido utilizados en los análisis sobre la distribución y transporte de sedimentos y de fitoplancton, principalmente. Entre estos instrumentos se tienen, a los sensores MSS y TM de la serie Landsat y al sensor SeaWiFS del satélite ORBVUEW-2.

Los productos generados a partir de este tipo de imágenes de satélite son principalmente: a) mapas de la concentración de la clorofila *a* (pigmentos) y b) mapa de sedimentos.

Mediante estos mapas es posible hacer un análisis de la distribución y transporte del fitoplancton en zonas oceánicas para inferir producción primaria y de la distribución y transporte de sedimentos para inferir posibles impactos ecológicos en la zona costera.

En el primer caso, esto es posible gracias a que el pigmento más abundante de las algas marinas es la clorofila *a*, la cual absorbe fuertemente en la región azul del EEM, con un pico secundario en la región roja. Las aguas con una abundancia importante de fitoplancton se caracterizan por tener una reflectancia (*R*) decreciente en la región azul. Las variaciones de *R* en el intervalo verde-amarillo dependen de la combinación de la abundancia de pigmentos accesorios (clorofilas *b* y *c*, carotenos, biliproteínas) y de las propiedades de esparcimiento de las células. Esto último es válido para el caso de las diatomeas, las cuales poseen coberturas externas de silicio. La profundidad a la cual los sensores de color del mar (e. g. SeaWiFS) pueden obtener información está limitada a la primera profundidad óptica.

En relación con el segundo punto, el infrarrojo cercano es la región del EEM de utilidad en la detección de sedimentos. Los sensores SeaWiFS y AVHRR poseen bandas espectrales en este intervalo. En aguas costeras el material en suspensión afecta la señal del color del mar. Este material terrígeno, que se origina de los sedimentos del fondo, es resuspendido por mezcla vertical a través de la columna de agua, por erosión costera o por descarga de ríos. Las partículas tienden a aumentar la señal reflejada por el océano en ambas regiones del espectro, por esparcimiento de la luz incidente. Los sensores utilizados en la detección de estos parámetros poseen características espectrales, espaciales y temporales. Las características espectrales se refieren a las propiedades que tienen las bandas de cada sensor. Por ejemplo, el Barredor Multi-Espectral y el Mapeador Temático (MSS y TM, por sus siglas

en inglés, respectivamente) de los satélites Landsat poseen bandas muy amplias, por lo que son adecuados para aplicaciones terrestres pero presentan dificultades en la detección de los cambios sutiles en el color y la reflectancia que son típicos del océano. Por otro lado, el sensor SeaWiFS, diseñado para hacer observaciones del color del mar, posee ocho bandas espectrales angostas (20 nm) centradas a longitudes de onda particularmente útiles para detectar la débil señal de color emergiendo del océano.

La resolución espacial del sensor SeaWiFS es del orden de 1 km² observando al nadir. Su resolución temporal es de una imagen diaria.

LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

El registro de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) mediante sensores infrarrojos térmicos, es la técnica de la percepción remota marina que más impacto ha tenido en la oceanografía. Esta situación es debida, principalmente, a tres causas. La primera es la alta correlación hallada entre los valores digitales de la imagen IR y la temperatura con una precisión de 0.1° C.; la segunda causa es la continuidad en el suministro de imágenes por los sensores meteorológicos AVHRR y GOES y, finalmente, la relativa facilidad para la obtención de este tipo de imágenes, lo cual garantiza una amplia difusión de información. Para mantener esta situación los radiómetros IR deben ser muy precisos, estar bien calibrados y ser aceptablemente estables. Las imágenes de TSM detectan principalmente la “piel” del océano, esto es, el grosor de la capa superficial percibida por los sensores satelitales en la región térmica (3 a 14 mm) es menor a 0.1 mm.

Sin embargo, en un perfil vertical típico de la temperatura se observa la disminución de la temperatura en función de la profundidad. Esta estructura térmica de los océanos se caracteriza por tener una termoclina permanente a una profundidad de 1,000 m. Por debajo de esta termoclina la temperatura disminuye lentamente. Por encima de la termoclina se encuentra una capa de mezcla cuyo grosor puede variar desde la superficie hasta 50 ó 200 metros de profundidad. Esto implica que si las mediciones de la TSM son representativas para el primer metro de agua lo serán también para la capa de mezcla.

La estimación de la TSM se deriva de las imágenes obtenidas por los satélites de la serie NOAA, mediante el sensor AVHRR. Este instrumento posee cinco bandas espectrales (una visible, una en el IR cercano, una en el IR medio y 2 en el IR térmico). Su resolución espacial es de 1 km² al nadir y su

resolución temporal es de 1 imagen diaria (aunque hay cuatro satélites NOAA orbitando, lo cual garantiza al menos, cuatro imágenes diarias).

La información que proporcionan los mapas de TSM es de gran utilidad en la detección e identificación de características tales como la circulación oceánica, los frentes térmicos, y las surgencias; asimismo, es posible asociar mapas de TSM con pesquerías (Herron *et al.* 1989) y mareas rojas. En este último aspecto se sabe que en la presencia masiva de dinoflagelados o ciliados responsables de las mareas rojas confluyen condiciones adecuadas de temperatura, salinidad y nutrientes. Estas mareas rojas tóxicas pueden afectar a muchas formas de vida marina. Los seres humanos también podemos ser afectados por ciguatera al comer pescado contaminado o por algún tipo de parálisis al ingerir mariscos, mejillones u ostiones (Kao 1966). La percepción remota de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) ha resultado ser una herramienta muy útil en estudios de la dinámica de las mareas rojas (Peláez 1987, Aguirre *et al.* 1999).

ALTURA SIGNIFICATIVA DEL MAR

En la región de las microondas es posible hacer observaciones del viento y del oleaje, hacer estimaciones de la altura dinámica del mar y de la altura significativa de las olas entre otros parámetros. Los instrumentos utilizados en esta parte del EEM pueden detectar tanto en forma pasiva, como en el caso de los sensores mencionados previamente, como en forma activa, si cuentan con un sistema emisor-receptor integrado. Estos sensores son principalmente radares transportados a bordo de plataformas como el TOPEX-Poseidón, RADARSAT; ERS I y II, entre otros.

La observación de la superficie del mar en la región de las microondas se inició en 1978 con la puesta en órbita del satélite SeaSAT. Aun cuando este instrumento estuvo en operación por un breve lapso la información que proporcionó fue de gran interés para la comunidad científica. El principal logro del SeaSAT fue que permitió medir la distancia entre el satélite y la superficie marina con una precisión de 10 cm. Este tipo de mediciones permiten medir la pendiente absoluta de la superficie del mar, lo que se traduce en la posibilidad de medir la altura significativa del mar, y de las olas, así como estimar la velocidad del viento. Los altímetros satelitales son radares que transmiten señales cortas hacia la superficie terrestre. El tiempo que tarda en retornar desde la superficie la señal enviada, permite conocer la distancia entre el satélite y la superficie, si se conoce la velocidad de propa-

gación de la señal. En particular, la altura significativa del mar (SSH, por sus siglas en inglés) se calcula en función de un geoide en relación con un elipsoide de referencia con el mismo grado de precisión que las distancias que se desean estimar. La altimetría satelital es pues una herramienta alternativa para identificar giros ó remolinos dado que están asociados con anomalías de la SSH que puede ser observada en cualquier época del año.

El satélite TOPEX/Poseidón utiliza un altímetro de radar con una alta precisión que permite medir la SSH en más del 90% del océano no cubierto de hielo. TOPEX orbita a 1,336 km sobre la Tierra, completando un ciclo de 127 órbitas en diez días, con una precisión de 2.5 cm. Estas características permiten al satélite producir mapas topográficos de todo el mundo. Conociendo la topografía del océano es posible calcular la velocidad de las corrientes en el océano, se puede observar el movimiento de aguas en el ámbito planetario. Estos cambios son dependientes de la latitud y están dominados por la variación de la TSM. Por ejemplo, alrededor del ecuador es posible observar cambios importantes en el nivel del mar durante eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

Con base en estos conceptos es posible identificar procesos oceanográficos en el Golfo de México y hacer evaluaciones, tanto de tipo global como regional, de diversas clases de impactos que ocurran en él. La primera sección se avoca al análisis de tipo global y la segunda al aspecto regional.

EVALUACIÓN SATELITAL DEL GOLFO DE MÉXICO (GLOBAL)

En esta sección se muestran las características principales observadas en el Golfo de México mediante tres sensores satelitales: El sensor SeaWiFS para el color del mar, AVHRR para la TSM y TOPEX/POSEIDÓN para SSH. Estos aspectos son descritos en los siguientes párrafos.

ANÁLISIS DEL COLOR DEL MAR

La figura 1 muestra una imagen del Golfo de México tomada con el sensor SeaWiFS el 24 de abril de 1998. La imagen representa la variación en la concentración de la clorofila *a* en las diferentes regiones que comprenden al Golfo de México. La imagen corresponde a la época de invierno y permite observar aspectos de gran interés. La región central del Golfo de México es primordialmente oligotrófica como lo muestran los tonos violeta-azul que representan concentraciones menores a 0.1 mg m^{-3} . De esto se infiere que la

zona productiva del golfo se halla por debajo de lo que puede observar el satélite. Por consiguiente se puede decir que la capa de mezcla de la parte central del golfo contiene cantidades bajas de nutrientes y de fitoplancton. En la región norte del Golfo de México se perciben valores altos (tonos rojos) localizados en la desembocadura de los ríos Misisipi y Atchafalaya. Esta señal es el resultado de la respuesta conjunta de la concentración de clorofila y los sedimentos acarreados por los ríos, la cual conforma la parte dominante de la señal. Otra de las características importantes que se observan en la imagen son las concentraciones relativamente altas frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz. Estas concentraciones son una repuesta al anticiclón mexicano al formarse estructuras ciclónicas al norte y al sur de éste. El anticiclón mexicano es una estructura semipermanente que está directamente influenciada por la Corriente del Lazo (Vázquez de la Cerda 1975). Estos anillos ciclónicos generan un ascenso de aguas con temperaturas más bajas y más ricas que las de su entorno. Estos remolinos fomentan la productividad biológica de la zona (Biggs 1992). Los tonos azules claro representan una concentración relativamente elevada ($0.5\text{--}0.6\text{ mg m}^{-3}$) (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo)

Finalmente, el último aspecto general que se puede observar en la figura es la influencia de la surgencia dinámica de Yucatán generando condiciones adecuadas para tener concentraciones relativamente altas de clorofila *a* en la parte sur del Golfo de México (tono azul claro).

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

La circulación del Golfo de México está influenciada por las aguas cálidas y salinas que entran por la región comprendida entre Cuba y la Península de Yucatán, circula en el Golfo y sale por el Estrecho de la Florida, donde se une a la Corriente de la Florida. En el Golfo de México, parte de la corriente forma anillos anticiclónicos, los cuales influyen en las aguas adyacentes generando remolinos ciclónicos. El resto de las aguas de la corriente continúa su viaje hacia el Estrecho de la Florida a través de la Corriente del Lazo. Esta corriente es un flujo de agua con alta salinidad (36.7 ups) y temperaturas superficiales durante el verano de 28 a 29 °C que disminuyen en el invierno entre 24 y 26 °C. La Corriente del Lazo presenta una intrusión dentro del golfo, la cual varía estacionalmente. Durante los meses de abril, mayo, junio y agosto, la intrusión puede alcanzar los 27° de latitud Norte (Molinari 1978). La corriente pierde fuerza durante los meses de julio, octubre y no-

viembre alcanzando solamente los 25° N, generando giros anticiclónicos. Estos anticiclones son áreas de temperaturas cálidas y salinas semejantes a las del Lazo. Frente a las costas de Tamaulipas se ha detectado el efecto del anticiclón mexicano gracias a los anillos ciclónicos que generan un ascenso de aguas con temperaturas más bajas que las de su entorno. Estas estructuras térmicas han sido observadas y estudiadas con imágenes satelitales de TSM desde mediados de los años 1980 (*e. g.* Vukovich y Maul 1985).

A pesar de que la Corriente del Lazo es una estructura permanente en el golfo, los satélites sólo lo pueden detectar con claridad en los meses más fríos del año. En los meses más cálidos la capa superficial en el Golfo de México se vuelve isotérmica debido al calentamiento solar, ocultando su presencia en los mapas de TSM. Los límites de la Corriente del Lazo son claramente visibles en imágenes de satélite antes de que las aguas superficiales del golfo se hagan isotérmicas en mayo. La figura 2 muestra un compuestro de la TSM promedio del mes de febrero de 1998. Aquí se puede apreciar claramente la Corriente del Lazo en la parte oriental del Golfo de México. Los tonos amarillo-naranja indican temperatura de 24 a 26 °C, que contrastan con aguas más frías en la zona norte del golfo con temperaturas variando entre 16 y 20 °C (tonos azules) y más cálidas de alrededor de 29° C en la región del Caribe (tonos naranjas). Estas variaciones de temperatura son producto de la interacción de las aguas cálidas de la Corriente del Lazo con aguas más frías, por ejemplo, las provenientes del delta del río Misisipi. Asimismo, es posible observar en la figura la presencia de giros y remolinos con temperaturas menores a las del Lazo (tonos verdes y amarillos), ubicados al oeste de la corriente y cercanos a las costas mexicanas (véase figura 2 en el encarte a color al final del presente artículo).

ANÁLISIS DE LA ALTURA SIGNIFICATIVA DEL MAR

En la figura 3 se observan características importantes en la dinámica del Golfo de México que se infieren a través de altimetría. La figura corresponde a una imagen del satélite TOPEX la cual fue tomada el 4 de abril de 2000. La altura de las superficies más altas está relacionada con aguas de mayor temperatura. Así, se observa en tonos oscuros, la presencia de la Corriente del Lazo en la parte oriental del Golfo de México. Se aprecian también los remolinos o eddies expulsados de la corriente principal en dirección a las costas de Tamaulipas y Veracruz. Estas estructuras pueden permanecer en escalas de tiempo variables y pueden tener diámetros de decenas a centenares de kilómetros y extenderse

a grandes profundidades en el mar. Estos remolinos juegan un papel importante en la circulación de los océanos transportando calor, sales y nutrientes. También tienen un papel fundamental en el clima, en pesquerías y en los sistemas biogeoquímicos. La observación de las diferencias en alturas y en temperaturas permite estimar la dirección de las corrientes y la circulación general del Golfo de México. En el ámbito biológico pueden ser de utilidad al identificar zonas donde habitan organismos marinos (véase figura 3 en el encarte a color al final del presente artículo).

EVALUACIÓN SATELITAL DEL GOLFO DE MÉXICO (REGIONAL): PROCESOS COSTEROS

En esta sección se presenta un análisis de la región costera del Golfo de México a través de imágenes del satélite Landsat. El análisis se realizó en orden norte-sur de los estados que limitan con el Golfo de México, e incluye un estudio de caso para cada uno de los estados. Con respecto a los Estados Unidos de América se hizo un análisis particular de la descarga de los ríos Misisipi y Atchafalaya.

En el estudio de impacto a la zona costera por actividades antropogénicas y de carácter natural se pueden incluir la descarga de sedimentos por ríos y la de los procesos costeros de erosión y acumulación. Las características fundamentales de cada una de estas causas se describen a continuación.

a) Descarga de sedimentos por ríos. Es sabido que los sedimentos son portadores de material inorgánico y orgánico (incluyendo contaminantes) y son el sustrato para diferentes procesos biogeoquímicos que impactan de diferentes formas a la zona costera.

Las plumas de sedimentos provenientes de ríos y estuarios contienen concentraciones relativamente altas de material orgánico e inorgánico que es altamente reflectivo en la región visible del espectro electromagnético. Esta alta reflectancia es fácilmente observable por sensores ubicados en plataformas satelitales. La importancia de estas observaciones radica en la posibilidad de conocer el destino final de los nutrientes fluviales y su posible efecto en el balance del carbono. En términos simples esto equivaldría a responder a la pregunta de si los nitratos y fosfatos producidos por fuentes agrícolas y urbanas e inyectadas a través de las descargas de agua dulce a la zona costera resultan en un incremento importante de la producción primaria. Para responder a esta pregunta se requiere del entendimiento de los procesos de sedimentación y circulación que controlan el intercambio de material a través de

la plataforma continental. Las imágenes de color del mar pueden proporcionar respuestas a estas cuestiones al proporcionar series de tiempo de imágenes de la formación y disipación de plumas en plataformas continentales y proporcionar una aproximación a otros procesos que afectan la tasa a la cual las aguas de los ríos y los océanos se mezclan.

b) Procesos costeros de erosión y acumulación. Es sabido que los procesos costeros cambian el entorno litoral. Las regiones de contacto entre el mar y la tierra firme son de gran actividad y el límite entre ambas es lo que se conoce como línea de costa. Esta se define por la posición que tiene el mar en el litoral en el transcurso de 24 horas. En periodos que van de años hasta siglos o milenios se perciben cambios en la posición de la línea de costa. Los factores que influyen en esta variación son el oleaje, las mareas y las corrientes litorales. Estos factores contribuyen a la destrucción de las rocas de las costas, ó bien a la acumulación de los sedimentos que transportan. Otros factores que influyen en los cambios del relieve costero son el descenso ó ascenso del nivel del mar por un mayor o menor aporte de agua por los ríos desde tierra firme. El factor principal de erosión de las riberas de la tierra firme es el oleaje, el cual por acción mecánica y química destruye gradualmente las paredes rocosas, socavando las bases continentales. Las costas del Pacífico mexicano que van desde bahía Banderas hasta el Golfo de Tehuantepec son predominantemente abrasivas. Por el contrario, en las costas del Golfo de México es común observar un relieve constituido por depósitos de material acarreado del mar a la tierra firme. Los procesos de acumulación originan grandes formas del relieve de las costas como son los cordones de playa e islas fluviales. Las barras constituidas de arena son paralelas a la costa y sobresalen por encima del nivel del mar. En el Golfo de México estas barras se disponen a lo largo de algunos miles de kilómetros, aunque en forma discontinua y separan, en su totalidad, cuerpos de agua como las lagunas Madre, Tamiahua, Del Carmen y de Términos, distribuidas desde las costas de Tamaulipas hasta las de Campeche.

En las siguientes secciones se analizan, regionalmente y por estados, las principales características costeras por medio de imágenes de satélite.

a) Región Sureste de los Estados Unidos de América. En la región sureste de los E.U.A se encuentran los estados de Texas, Luisiana, Alabama y Florida. La costa del Golfo de México en esta región es baja y pantanosa, y abundan los manglares y los humedales. La plataforma continental de la región incluye la amplia plataforma del occidente de Florida que posee 200 km de ancho, en cambio, la amplitud de la plataforma de Louisiana varia de me-

nos de 20 km en el delta “Pie de pájaro” del río Misisipi hasta cerca de 200 km en la parte central y occidental del estado. Asimismo, la plataforma de Texas es amplia y sin cambios importantes en su relieve topográfico. La descarga de agua dulce en el Golfo de México es de aproximadamente $1,110 \text{ km}^3$ por año y está dominada por los ríos Misisipi y Atchafalaya, los cuales contribuyen con un 55% de esta descarga. La extensión del impacto de esta descarga es variable y modulada por la tasa de la descarga y los procesos que dispersan la pluma, principalmente por el efecto del viento. La influencia de la descarga de los ríos Misisipi y Atchafalaya en el Golfo de México se puede apreciar en las figuras 1 y 2. La figura 1 muestra, en tonos rojos, una concentración alta (superior a los 64 mg m^{-3}) de clorofila combinada con sedimentos. La figura 2 muestra una corriente de agua fría a lo largo de la costa sur de los EE.UU. la cual está asociada con la descarga de agua dulce de los ríos mencionados.

b) Tamaulipas. El estado de Tamaulipas se localiza en la parte norte de la llanura costera del Golfo de México y en la Sierra Madre Oriental. El litoral del estado es bajo y arenoso, con extensas albuferas y lagunas cerradas por cordón litoral (e. g. Laguna Madre, Laguna del Almagre y Laguna de San Andrés). Los ríos han formado barras en su desembocadura. Los ríos principales son el Bravo, el San Fernando, el Soto la Marina; y el Tamesí. El río Bravo en particular, es uno de los ríos más largos de Norteamérica con una longitud superior a los 3,000 km. El río Bravo forma la frontera natural entre Texas y México. Ambos países utilizan sus aguas para beber, sin embargo, el río se ha ido contaminando paulatinamente conforme crecen los asentamientos humanos a lo largo de sus márgenes e incorporan aguas negras y pesticidas al río. La figura 4 es una imagen Landsat de la región donde se puede observar la pluma de sedimentos, proveniente del río Bravo y sus meandros, en el Golfo de México. Es posible apreciar, en tono azul claro, la magnitud de la descarga de sedimentos y su distribución en la zona costera de ambos países. (véase figura 4 en el encarte a color al final del presente artículo)

La figura 5 muestra la descarga del río Pánuco el cual sirve de límite entre los estados de Tamaulipas y Veracruz y desemboca en el Golfo de México junto al Tamesí. Esta descarga produce un impacto ecológico de importancia en la zona costera dado que el río Pánuco es el último tramo en el transporte de aguas negras procedentes de la Ciudad de México y de poblaciones asentadas a lo largo de sus afluentes: los ríos Tula y Moctezuma (véase figura 5 en el encarte a color al final del presente artículo)

c) Veracruz. El estado de Veracruz está localizado entre la Sierra Madre Oriental y la llanura costera del Golfo de México. La llanura costera está bordeada por un litoral bajo y con formación de médanos. Son numerosas las lagunas o albuferas y los esteros (e. g. Laguna de Tamiahua, Alvarado, Sontecomapan, y Ostión). Todos los ríos veracruzanos pertenecen a la vertiente del Golfo de México. Los principales ríos del estado son el Pánuco que desemboca junto con el Tamesí, el Tempoal y el Chicayán. Los ríos Tuxpan, Cazones Tecolutla, Nautla, Jamapa, Blanco, Papaloapan-San Juan, Coatzacoalcos y Tonalá, que forma la frontera con el estado de Tabasco. En particular, la cuenca del Papaloapan es una zona estratégica para los estados de Oaxaca y Veracruz. Como en los casos ilustrados previamente, la descarga de los ríos Papaloapan y Blanco a su paso a través de la laguna de Alvarado, transporta sedimento y contaminantes en la región. La figura 6 muestra, en tono verdoso, la magnitud de la descarga de estos ríos, localizados en la parte inferior de la imagen, durante el verano, cuando el caudal es importante a causa de las lluvias (véase figura 6 en el encarte a color al final del presente artículo).

d) Tabasco. El estado de Tabasco se localiza en la región sureste de la República. La zona costera del estado está en contacto con el Golfo de México. Los principales ríos tabasqueños son los de las partes bajas de las cuencas del Grijalva y el Usumacinta. Estos ríos nacen en la región de los Altos, en Guatemala. El Grijalva cruza el estado de Chiapas en dirección noroeste y penetra en la llanura tabasqueña por el sur. El cauce principal del Usumacinta también toma la dirección noroeste, forma límite entre Chiapas y Guatemala y luego, entre Chiapas y Tabasco, penetra la llanura tabasqueña por el sureste. El Grijalva y el Usumacinta se unen en las partes bajas de la llanura; sus cauces son muy inestables, de ellos se desprenden varios brazos que dan lugar a nuevos ríos que antes de desembocar en el Golfo de México forman islas fluviales; debido a la escasa inclinación del terreno y al gran volumen de las corrientes, aumentada por los afluentes que bajan de las sierras con un enorme caudal, los ríos, en la época de crecientes, inundan grandes extensiones de la llanura formando, en las partes más bajas, numerosas lagunas y popales (lagunas poco profundas cubiertas por vegetación acuática). El sistema Grijalva-Usumacinta contribuye con poco menos del 10% del total de la descarga de agua dulce en el golfo aunque para México representa el 33% (Carranza *et al.* 1993). La figura 7 es un ejemplo de la impresionante descarga del sistema Grijalva-Usumacinta durante el verano de 1976 (véase figura 7 en el encarte a color al final de este artículo).

Por otro lado, en los litorales tabasqueños se han formado playas bajas y arenosas con predominio de cordón litoral y, por lo mismo, con una serie de lagunas litorales: El Carmen, Pajonal, Machona, Tupilco y Mecoacán, entre otras. El transporte de arenas por el cauce de los ríos es propicio para la formación de islas sedimentarias mediante un proceso de acumulación. La figura 8 presenta un claro ejemplo de esto, en la vecindad de la desembocadura del río Grijalva (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo).

e) Campeche. El estado de Campeche se localiza en la parte occidental de la Península de Yucatán. Es una región que carece de relieve montañoso. Consiste en una planicie con lomeríos y pequeñas depresiones. La parte norte se conoce como La Sierrita. La escasa inclinación del terreno hacia el litoral continúa en la plataforma continental, con profundidades menores a 200 metros y anchura hasta de 200 km. Esta región es conocida como la Sonda de Campeche. Las zonas sur suroeste son las más bajas y formadas por depósitos de aluvión (el resto del estado son calizas). El litoral, un poco elevado en Campeche y Champotón, es bajo, arenoso y con zonas pantanosas en la región sur, en donde se encuentra la laguna de Términos, cerrada en parte por las islas del Carmen y Aguada.

Los principales ríos del estado están distribuidos en varias zonas. En la región suroeste, llamada de los ríos y lagunas, se encuentra el río San Pedro y San Pablo, afluente del Usumacinta y límite con Tabasco, y los que desembocan en la laguna de Términos: Palizada, Chumpán, Candelaria y el Mamantel. En la parte media del estado se encuentra el río Champotón. En la región oeste de la laguna de Términos hay varios sistemas lagunares que desaguan unos en otros (e. g. Pom, Atasta, del Corte y San Carlos). En la laguna de Términos se pueden observar con claridad procesos de erosión y acumulación. La laguna tiene dos bocas localizadas en la parte oriental y occidental de la Isla del Carmen. La boca oriental de la laguna, conocida como Puerto Real, presenta un proceso de erosión costera por la corriente litoral con un flujo neto al interior de la laguna, mientras que la boca occidental o Del Carmen, presenta cordones de playa formados por procesos de acumulación, a través de un flujo neto hacia fuera del cuerpo lagunar. La figura 9 muestra estos patrones dinámicos con claridad (véase figura 1 en el encarte a color al final del presente artículo).

f) Yucatán. El estado de Yucatán se localiza en la parte norte central de la península del mismo nombre. La costa del estado es baja, tiene de lado del mar un cordón litoral arenoso y amplio, depositado por las corrientes marinas que corren en dirección este-oeste a lo largo de la costa; presenta du-

nas relativamente altas. Entre el cordón y la tierra firme existe una península de aguas salobres, que se extiende a lo largo de gran parte del litoral, siendo notable por su extensión la porción conocida como Estero del río Lagartos al este. La mayor parte de las aguas de lluvia se filtra directamente en las rocas calizas características del lugar o penetra por las grietas. No hay aguas superficiales, todas las aguas circulan subterráneamente, ya sea dentro de conductos abiertos en la caliza por disolución de la misma, o hasta el manto de aguas subterráneas. A lo largo de la península de Yucatán el agua subterránea parece ser una fuente importante de agua dulce. La figura 10 muestra, en tono azul claro, el efecto de la surgencia dinámica de Yucatán, y de la descarga de las aguas subterráneas de la península (véase figura 10 en el encarte a color al final del presente artículo).

COMENTARIOS FINALES

Las imágenes de satélite son una herramienta poderosa en el análisis de impactos antropogénicos y de carácter natural en la zona costera. Con ellas es posible observar, de manera continua, la descarga de ríos, su amplitud en la desembocadura y, en su momento, evaluar el impacto ecológico que tienen sobre una región determinada. En el caso del Golfo de México es importante señalar que, dadas sus características físicas, químicas, geológicas, biológicas y económicas, es una región excelente para ser analizada con técnicas de percepción remota. Considero que el concurso de diferentes disciplinas científicas en el estudio del entorno del Golfo de México, traerá como resultado un mayor entendimiento de la región y ofrecerá, como consecuencia, posibles soluciones para los problemas que aquejan al sistema. La oceanografía por satélite es parte fundamental en este proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Gómez, R., R. Álvarez y O. Salmerón García 1999. Red tide evolution in the Mazatlán Bay area from remotely sensed sea surface temperatures. *Geofísica Internacional* 38(2): 63-71.
- Antoine, J. W. 1972. Structure of the Gulf of Mexico, en Rezak, R. y V. H. Henry (eds.). *Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A & M University Oceanographic Studies, vol. 3, pp: 1-34.
- Biggs, D. C., 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97(C2): 2143-2154.

- Carranza Edwards A., L. Rosales Hoz y A. Monreal, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology* 112: 257-269.
- Escobar, E. y L. Soto, 1997. Continental Shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*. 17: 585-604.
- Hernández Téllez, J., J. Aldeco y D. Salas de León 1993. Cooling and Heating due to latent and sensible heat over the Yucatan continental shelf. *Atmósfera* 64: 223-233.
- Herron, R. C., T. D. Leming y J. Li 1989. Satellite-detected fronts and butterflyfish aggregations in the northeastern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* 9(6): 569-588.
- Kao, C. Y., 1966. Tetrodotoxin, saxitoxin, and their significance in the study of excitation phenomena. *Pharmacological Review* 18: 997-1062.
- Molinari, R. L., J. F. Festa y D. H. Behringer 1978. The circulation in the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. *Journal of Physical Oceanography* 8: 987-996.
- Monreal Gómez, A, D. Salas de León, A. R. Padilla Pilotze y M. A. Alatorre Mendieta 1992. Hydrography and estimation of density currents in the southern part of the Bay of Campeche, Mexico. *Ciencias Marinas* 18(4): 115-133.
- Peláez, J. 1987. Satellite images of a red tide episode off southern California. *Oceanologica Acta* 10(4): 403-410.
- Soto, L. y E. Escobar 1995. Coupling Mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. En: Eleftheriou A, A. Ansell y J. Smith (eds.). *Biology and Ecology of shallow coastal waters*. Proceedings 28th European Symposium, International Symposium Series.
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1975, Current and waters of the upper 1200 meters in the southwestern Gulf of Mexico. M. Sc. Thesis, Texas A & M. University.
- Vukovich, F. M. y G. A. Maul 1985. Cyclonic eddies in the eastern Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography* 15(1): 105-117.

LA OBSERVACIÓN DE IMPACTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

Raúl Aguirre Gómez

Encarte a color

FIGURA 1. IMAGEN SEAWiFS TOMADA EL 24 DE ABRIL DE 1998

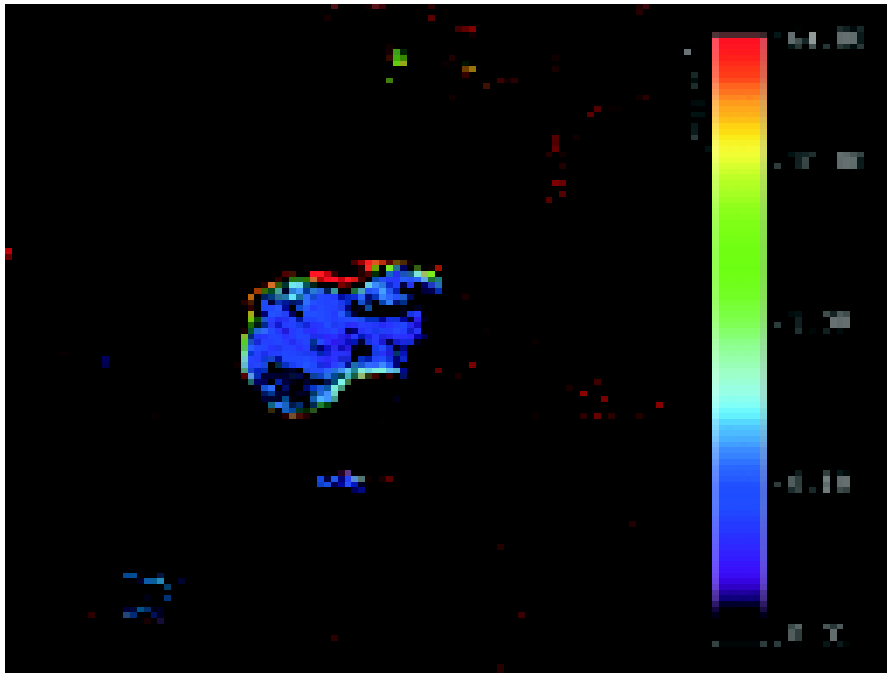


FIGURA 2. COMPUESTO DE TSM CORRESPONDIENTE AL MES DE FEBRERO DE 1998

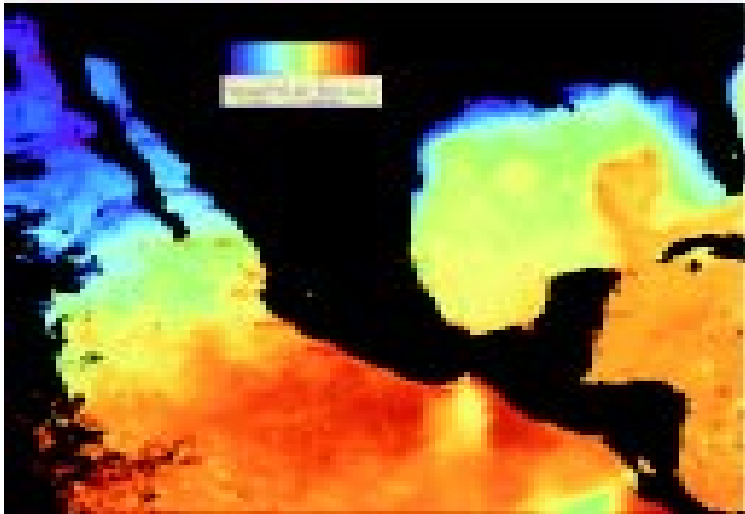


FIGURA 3. IMAGEN DE LA SSH MEDIDA CON TOPEX, EL 4 DE ABRIL DE 2000

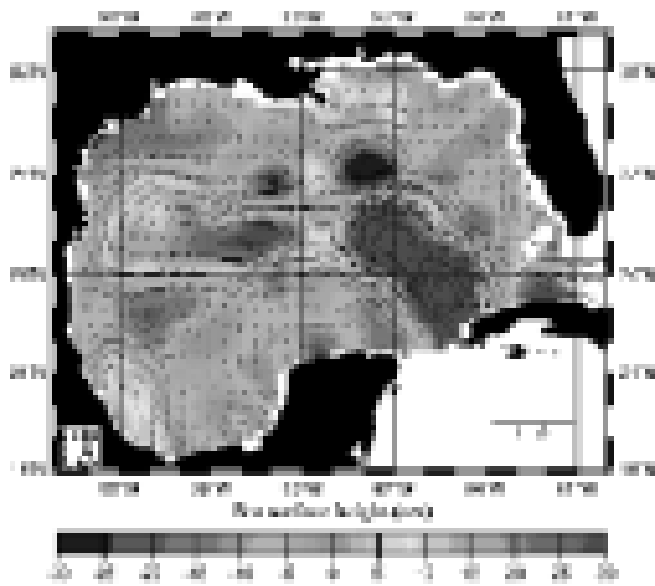


FIGURA 4. DESCARGA DEL RÍO BRAVO (IMAGEN LANDSAT 08/11/1972)



FIGURA 5. DESCARGA DE LOS RÍOS TAMESÍ-PÁNUCO Y TUXPAN (IMAGEN LANDSAT 08/11/1972)



FIGURA 6. DESCARGA DE LOS RÍOS BLANCO Y PAPALOAPAN (IMAGEN LANDSAT 26/08/1990)

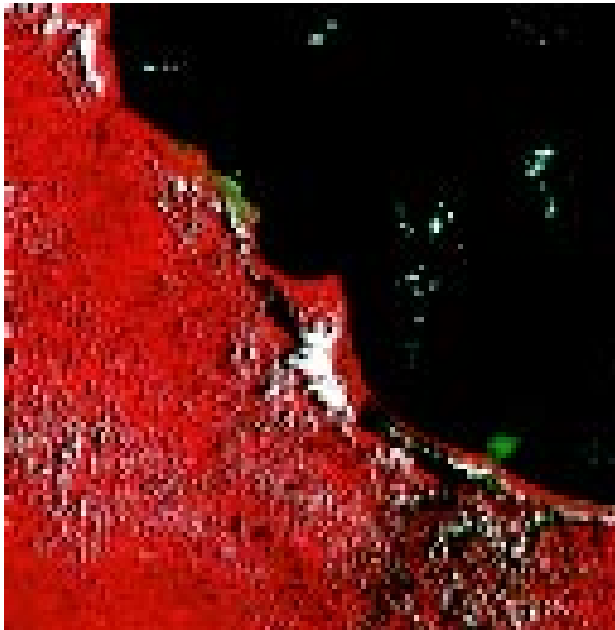


FIGURA 7. DESCARGA DE LOS RÍOS GRIJALVA-USUMACINTA

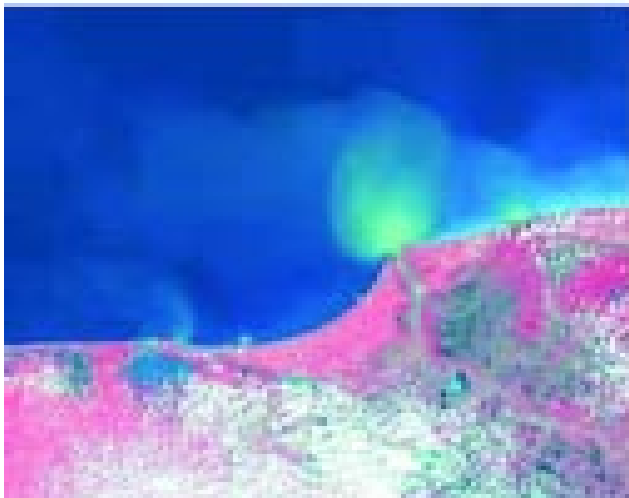


FIGURA 8. PRESENCIA DE ISLAS FLUVIALES (IMAGEN LANDSAT (FECHA: 16/09/1976))



FIGURA 9. PROCESOS DE EROSIÓN Y ACUMULACIÓN (IMAGEN LANDSAT: 01/14/1986)

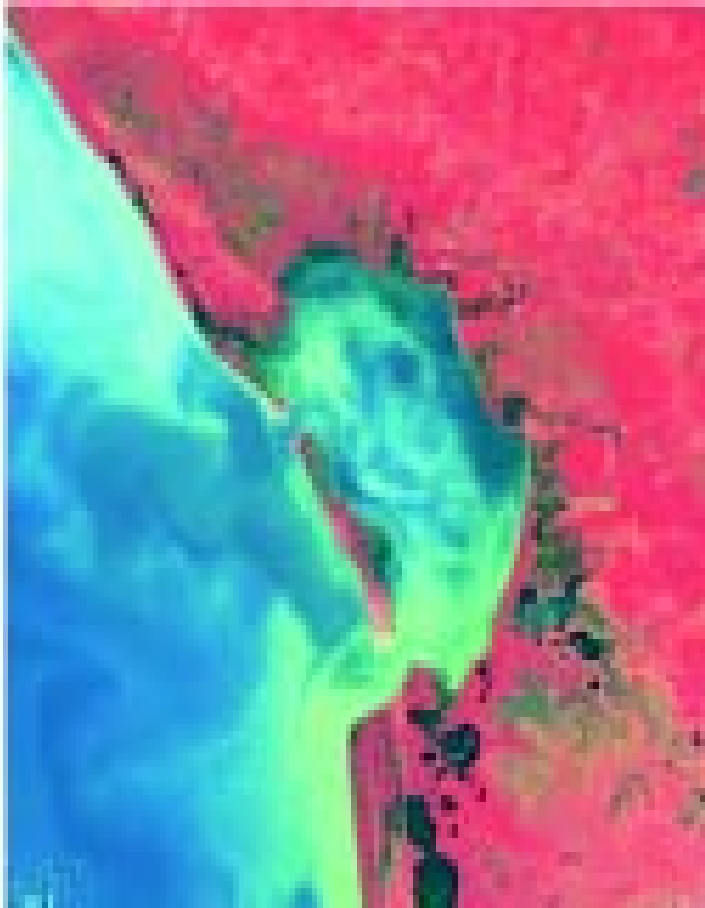
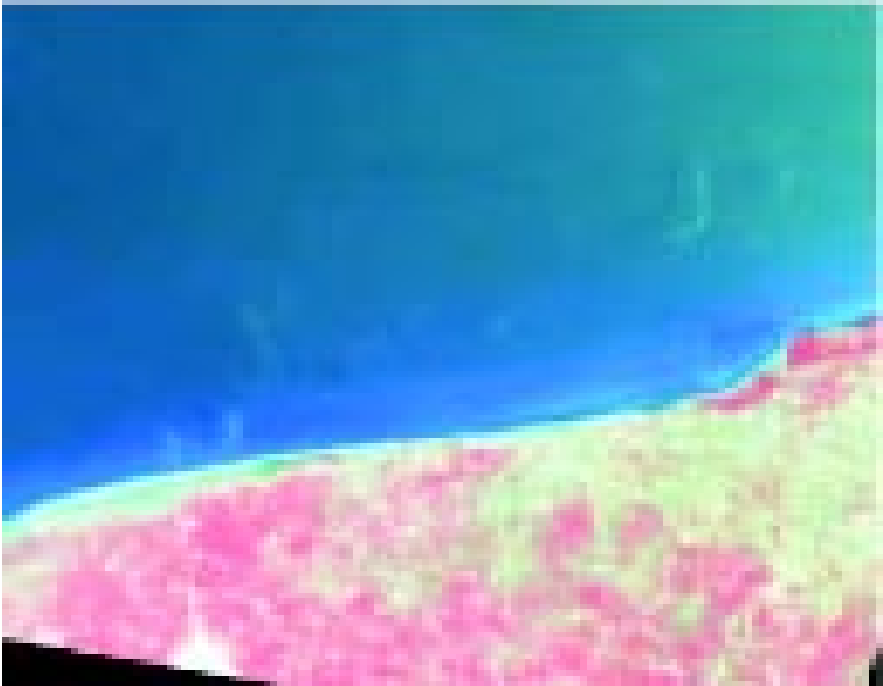


FIGURA 10. SURGENCIA DINÁMICA DE YUCATÁN (IMAGEN LANDSAT: 16/04/1990)



LINEAMIENTOS PARA EL PROGRAMA REGIONAL
DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA
DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

D. Zárate Lomelí, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez,
A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona
y S. Guevara Sada

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México tiene una superficie de 1,602,000 km² y es una unidad oceanográfica que forma parte de la región del Gran Caribe, considerada como la cuenca de aguas protegidas más grande del océano Atlántico. La Zona Económica Exclusiva de Estados Unidos de América, México y Cuba convergen en el Golfo. En el ámbito internacional, es considerado como uno de los 50 «grandes ecosistemas marinos» (*Large Marine Ecosystem*) que deben ser protegidos y utilizados de manera que se optimicen los recursos económicos y ambientales que resultan del aprovechamiento de sus recursos naturales (Zárate *et al.* 1999, Kumpf *et al.* 1999, Yáñez-Arancibia y Day 2003).

La zona costera mexicana del Golfo de México y el Caribe, tiene una longitud de 3,118.71 km (30 % del total nacional) y es compartida por los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, cuyos litorales enfrentan la gran frontera internacional hacia la «Cuenca del Caribe», donde México interactúa con 35 gobiernos o naciones.

México comparte en el Golfo de México una cuenca de drenaje de aguas continentales mayor a 5,180,000 km² y que involucra a cinco países, Canadá, Estados Unidos de América, México, Cuba y Guatemala. De esta superficie, 783,915 km² corresponden a México (Weber *et al.* 1992). La plataforma continental tiene una superficie de 480,000 km² (Zárate *et al.* 1999).

La zona costera y marina del Golfo de México y el Caribe representa una región de gran valor ecológico para México, por la gran diversidad de ecosistemas, hábitats, recursos naturales, especies vegetales y animales. Desde el punto de vista social y económico estos ecosistemas y recursos, ofrecen bienes y servicios que son estratégicos para el país porque permiten el desarrollo de importantes actividades económicas asociadas a la extracción, procesamiento y distribución de hidrocarburos, actividades industriales, portuarias y comerciales, actividades agropecuarias y turísticas entre las más importantes (Toledo 1996, Botello *et al.* 1996, Zárate *et al.* 1999 y 2003, Rivera y Zárate 2000). En los cuadros 1 y 2 se resume la importancia estratégica de la región, así como los bienes y servicios ambientales que proporcionan sus ecosistemas.

Los propósitos de este capítulo, son destacar el gran valor ecológico y socioeconómico de la zona costera del Golfo y Caribe mexicano, sus problemas ambientales críticos, los problemas y necesidades relacionadas con el marco legal e institucional y las políticas e instrumentos que se utilizan para su administración y manejo, con la intención de proponer los términos de referencia y los componentes principales para el establecimiento de un programa de manejo integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe.

PROBLEMAS AMBIENTALES CRÍTICOS

La zona costera de la región se encuentra expuesta directamente al impacto ambiental de las actividades humanas que se realizan en sus seis estados litorales, cuya superficie es de 318,828 km², (16.2% del total nacional) e indirectamente al impacto de las actividades humanas que se desarrollan en las cuencas hidrológicas que drenan hacia el litoral y que tienen una superficie de 783,915 km² que representa el 40 % del territorio nacional (Zárate *et al.* 1999 y 2001). En el cuadro 1 se presentan los principales problemas ambientales para la zona costera de la región. De éstos pueden considerarse como críticos por su magnitud los siguientes:

- Fragmentación y pérdida de ecosistemas, cobertura vegetal, biodiversidad y suelos, por el desarrollo poco planificado de actividades agropecuarias, urbanas e industriales (Botello *et al.* 1996, CONABIO 1998, Zárate *et al.* 1999 y 2003, Day *et al.* 2003). Actualmente sólo existe el 36% de la vegetación primaria en la superficie de los seis estados de la región que, como puede observarse en la figura 1, se encuentra muy fragmentada (Zárate *et al.* 2003). De mantenerse la tasa de cambio en la cobertura

CUADRO 1. VALOR ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA ZONA COSTERA MEXICANA
DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

Valor ecológico

- Incluye las cuencas hidrológicas con mayor descarga fluvial del país (62% a nivel nacional).
- El sistema Grijalva-Usumacinta es considerado como el sistema fluvial de mayor descarga del país ($59.4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$) y el tercero de todo Norteamérica después del Misisipi y el Atchafalaya.
- Existen al menos 37 ecosistemas lagunares y estuarinos con una superficie de 678,608 ha (43% del total nacional).
- Laguna de Términos, Campeche es considerada como el ecosistema lagunar-estuarino más importante del país por su superficie (200,108 ha), productividad natural y biodiversidad (más de 2,000 especies vegetales y animales).
- Existen 423,237 ha de manglar en la zona costera, que representan el 59 % en superficie, de todas las áreas de manglar del país.
- 1,229,231 ha de pantanos dulceacuícolas existen en su planicie costera.
- Los humedales asociados a laguna de Términos y Petenes en Campeche, más los humedales de Los Pantanos de Centla en Tabasco, tienen una superficie de 949,000 ha, que por su productividad y biodiversidad, son considerados como los más importantes de Mesoamérica.
- Más de 673 especies de aves, 249 especies de mamíferos terrestres, 24 mamíferos marinos y 329 especies de peces utilizan los humedales y lagunas costeras de la región como hábitats críticos dentro de sus ciclos de vida.
- Los arrecifes de Quintana Roo forman parte del Sistema Arrecifal Beliceño, considerado como el más importante de la región del Caribe y el segundo a nivel mundial.
- Los arrecifes de Chinchorro, Quintana Roo y Alacranes, Yucatán son considerados, como dos de los atolones más importantes del Caribe.
- Existen 19 áreas naturales protegidas a nivel federal con una superficie de 3,045,318 ha (54% porción continental y 46% porción marina).

Valor socioeconómico

- 14,756,759 personas habitan los estados costeros de la región.
- Se ubican dos de las mayores provincias petroleras del hemisferio occidental, la provincia Reforma-Tabasco y la Sonda de Campeche.
- De la zona costera y marina de la región se extraen diariamente 2.9 millones de barriles

(Continúa)

CUADRO 1. VALOR ECOLÓGICO, SOCIAL Y ECONÓMICO DE LA ZONA COSTERA MEXICANA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE

de petróleo y 4,790 millones de pies cúbicos de gas natural. Las reservas de hidrocarburos totales para la región son de 58 mil millones de barriles de petróleo, de las cuales el 58% son reservas probadas.

- Como infraestructura petrolera existe en la zona costera y marina: 313 campos en producción, 4,269 pozos de explotación, 167 plataformas marinas, 2 refinерías, 9 centros procesadores de gas y 6 complejos petroquímicos.
 - Se extraen anualmente más de 350 mil toneladas de recursos pesqueros demersales (26% a nivel nacional) y que tienen un valor aproximado de 240 millones de dólares. El 50% de la captura de camarón y el 90% del ostión a nivel nacional se pescan en el Golfo. Otros recursos pesqueros importantes son la almeja, langosta, jaiba, pulpo, meros, pargo, guachinango, corvina, róbalo, mojarra y tiburón.
 - En la actividad pesquera se involucran más de 90,000 personas.
 - 20 puertos pesqueros se localizan en la región, como los puertos de Tampico, Tamiahua, Tecolutla, Veracruz, Sánchez Magallanes, Frontera, Ciudad del Carmen, Lerma y Yucalpetén.
 - 54 puertos (13 de ellos son puertos de altura) pesqueros, turísticos, industriales y comerciales que se ubican en el litoral. Estos puertos tienen más de 75 mil metros lineales de atraque y registran un movimiento anual superior a los 1.5 millones de pasajeros y 133 millones de toneladas de carga (79% del total nacional).
 - Con fines de protección litoral existen 59,634 metros de rompeolas, escolleras, espigones y obras de protección marginal (46.4% del total nacional).
 - Existe una oferta turística de 1,794 establecimientos y 71,254 habitaciones que representan un 22% del total nacional.
 - De los cinco centros de playa íntegramente planeados que existen en el país, Cancún, (Q. Roo) posee el 66% (21,802 cuartos) de cuartos como oferta hotelera. El estado de Quintana Roo captó 2,809 millones de dólares (34% del total nacional) como divisas que ingresaron al país en el año 2000, por concepto de turismo.
-

Fuentes: Toledo 1996, INEGI-SEMARNAP 1999, Lara-Domínguez *et al.* 2003, Zárate *et al.* 1999 y 2003, PEMEX 2000.

CUADRO 2. BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES PROPORCIONADOS POR LOS PRINCIPALES ECOSISTEMAS DE LA ZONA COSTERA Y MARINA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE. VALOR ECONÓMICO Y ECOLÓGICO

VALOR ECOLÓGICO	VALOR ECONÓMICO								
	TIPOS DE ECOSISTEMAS COSTEROS								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Componentes</i>									
Recursos forestales	†	†	†		†			†	
Recursos pesqueros	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Recursos silvestres	†	†	†	†	†	†	†	†	†
Recursos hidrológicos	†	†	†	†	†	†		†	†
Recursos recreacionales	†	†	†	†	†	†	†	†	
<i>Funciones</i>									
Carga y recarga de acuíferos	‡	‡			‡				
Protección y estabilización litoral	‡			‡		‡	‡	‡	
Retención de sedimentos y nutrientes	‡	‡	‡		‡	‡			
Mantenimiento de la calidad del agua	‡	‡	‡		‡	‡	‡		
Soporte externo a ecosistemas y actividades humanas	‡	‡	‡		‡	‡	‡	‡	‡
Estabilización microclimática	‡	‡	‡						
Hábitat crítico	‡	‡	‡		‡	‡	‡	‡	‡
<i>Atributos</i>									
Biodiversidad	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶
Unicidad y Herencia	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶	¶

Simbología:

1. Pantanos costeros
2. Planicie costera
3. Deltas y sistemas lagunares-estuarinos
4. Costas abiertas, bahías y playas
5. Llanuras de inundación
6. Pastos marinos
7. Arrecifes coralinos
8. Barreras e islas
9. Plataforma continental.

†: Valor de uso directo. Bienes y servicios que tienen un precio en el mercado.

‡: Valor de uso indirecto. Bienes y servicios ambientales que no tienen asignado un precio en el mercado. Sin embargo tienen un valor económico y social que puede ser estimado.

¶: Valor sin uso/preservación. Atributos y bienes ambientales que no tienen asignado un precio de mercado, pero que tienen un valor económico y social que puede ser estimado.

vegetal y usos del suelo para los últimos 10 años, los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo habrán perdido la vegetación primaria que aún poseen en un periodo de 11, 55, 25, 32 y 28 años respectivamente, y con ello los bienes y servicios ambientales que proporcionan (Zárate y Alafita 2001). La pérdida de la cobertura vegetal con otros factores, ha inducido en los seis estados, procesos de desertificación, erosión hídrica y eólica en 314, 114 km², 316,114 km² y 308,148 km² de su superficie respectivamente (INEGI-SEMARNAP 1999).

La contaminación de la zona costera y marina. Diversos estudios con visión regional han destacado los niveles de contaminación en agua, sedimentos y organismos por hidrocarburos, agroquímicos, metales pesados y microorganismos, registrados en diferentes ecosistemas de la región, como críticos y rebasan los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad nacional e internacional (Botello *et al.* 1996, CONABIO 1998, Zárate *et al.* 1999, INE-SEMARNAP 2000, SEMAR 2002). Las principales causas son la falta de planeación ambiental, infraestructura sanitaria y servicios urbanos. Como ejemplo de lo anterior, puede mencionarse el caso del estado de Quintana Roo, donde sólo el 15% de la población tiene cobertura de alcantarillado sanitario, 15% de cobertura de tratamiento de aguas residuales y 8% cobertura de rellenos sanitarios (GSTP 2002). Esta situación es muy similar para el resto de los estados de la región. En suma, el nivel y tendencias de la contaminación de los ecosistemas costeros de la región son críticos y de mantenerse, puede poner en serio riesgo su estabilidad y persistencia.

Afectaciones a población, infraestructura y actividades económicas por fenómenos y riesgos naturales. La región se caracteriza por presentar una serie de procesos y fenómenos naturales como son: a) la subsidencia por acumulación y compactación de sedimentos en zonas deltáicas, b) la depositación y erosión litoral, c) la salinización de suelos y aguas continentales, d) la incidencia de fenómenos hidrometeorológicos y e) los efectos globales del cambio climático y ascenso en el nivel medio del mar (Ortíz *et al.* 1996). Estos procesos son considerados muy pocas veces en la planeación de actividades productivas, asentamientos humanos e infraestructura, lo que ha implicado la pérdida de vidas humanas, de infraestructura y de importantes recursos económicos. En las figuras 2 y 3 se presentan ejemplos de áreas de riesgo por ascenso en el nivel medio del mar para algunos sitios de la zona costera del Golfo de México y el Caribe.

CUADRO 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

FUENTES Y TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES	TAM	VER	TAB	CAM	YUC	QR
<i>Actividades petroleras</i>						
Contaminación de aire, agua, suelos y biota por derrames accidentales de hidrocarburos y la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos derivados de la extracción, procesamiento, transporte y distribución de hidrocarburos	‡	¶	¶	¶	†	‡
Alteraciones hidrológicas y fragmentación de ecosistemas por la construcción de canales, ductos, terracerías, vías de comunicación, puentes y otras estructuras	‡	¶	¶	¶	†	‡
Fragmentación de ecosistemas y cambios en los usos del suelo por la construcción de infraestructura	¶	¶	¶	¶	†	†
Consumo y contaminación de agua en procesos productivos	‡	¶	¶	†	†	†
<i>Actividades portuarias e industriales</i>						
Contaminación de agua, sedimentos y biota por la generación de residuos líquidos y sólidos generados en puertos, marinas y zonas industriales	¶	¶	†	‡	†	†
Alteración física de sedimentos, ecosistemas estuarinos y marinos, así como alteraciones en la calidad del agua marina por actividades de dragado y navegación	‡	‡	†	‡	†	†
Cambios en usos del suelo y fragmentación de ecosistemas	‡	‡	†	‡	†	‡
Consumo y contaminación de agua en procesos productivos	‡	¶	¶	†	†	†
<i>Actividad acuícola y pesquera</i>						
Alteración mecánica y física de sedimentos y vegetación sumergida en plataforma continental adyacente por actividades de pesca de arrastre	‡	‡	‡	¶	‡	†
Sobreexplotación de recursos	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Contaminación orgánica y eutrofización de lagunas y estuarios	†	†	‡	‡	‡	†
Introducción de especies exóticas	¶	¶	‡	‡	‡	†
<i>Urbanización y turismo</i>						
Conversión de suelos y fragmentación de ecosistemas-vegetación por la construcción de infraestructura urbana y turística	‡	¶	‡	‡	‡	¶

(Continúa)

CUADRO 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

FUENTES Y TIPOS DE IMPACTOS AMBIENTALES	TAM	VER	TAB	CAM	YUC	QR
Contaminación de agua, aire, suelos y biota por la generación de residuos líquidos, gaseosos y sólidos generados en zonas urbanas y turísticas	¶	¶	¶	¶	¶	¶
Alteración hidrológica y fragmentación de ecosistemas por la construcción de canales, vías de comunicación, puertos y otra infraestructura	‡	¶	¶	¶	‡	‡
Problemas de salud pública por contacto y consumo de agua y recursos contaminados	‡	‡	‡	‡	‡	‡
Consumo de agua	‡	‡	‡	‡	‡	‡
<i>Actividades agrícolas, ganaderas y forestales</i>						
Conversión de suelos, fragmentación de ecosistemas y vegetación por la expansión de la frontera agropecuaria y forestal	¶	¶	¶	¶	¶	‡
Contaminación de suelos, agua y biota por el uso de agroquímicos	¶	¶	¶	¶	†	†
Erosión y pérdida de suelos por deforestación	†	‡	†	‡	‡	†
Alteración hidrológica por canalización y trabajos de irrigación. Salinización de tierras	¶	‡	¶	¶	†	†
<i>Fenómenos y procesos naturales que inducen riesgo</i>						
Problemas de erosión y acumulación litoral por fenómenos hidrometeorológicos.	†	‡	†	†	¶	¶
Áreas de riesgo y vulnerabilidad de inundación e intrusión salina por ascenso en el nivel medio del mar.	†	‡	¶	¶	‡	‡
Subsidencia por acumulación y compactación de sedimentos	†	‡	¶	¶	†	‡
<i>Actividades transfronterizas</i>						
Contaminación de agua, litoral, biota y recursos pesqueros por hidrocarburos y residuos sólidos generados fuera del país y transportados por corrientes y deriva litoral.	†	‡	‡	‡	‡	‡

Tam: Tamaulipas. Cam: Campeche. Ver: Veracruz. Yuc: Yucatán. Tab: Tabasco.

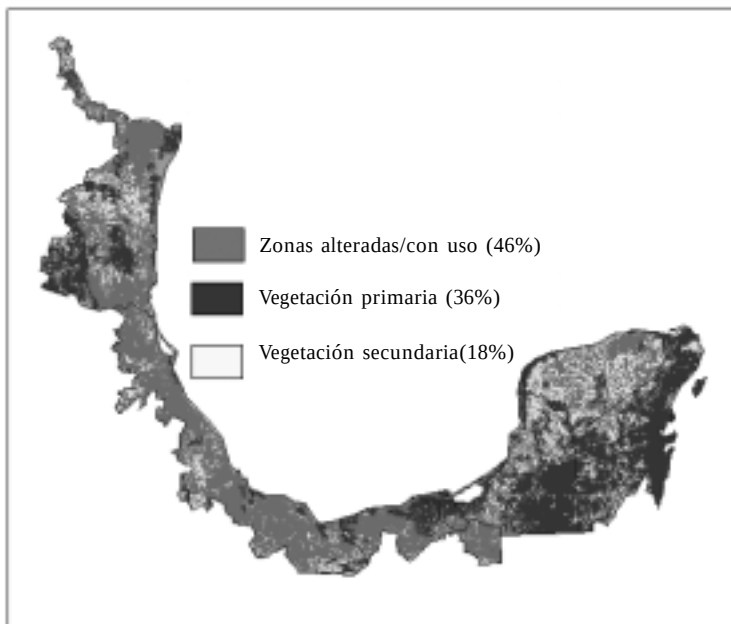
QR: Quintana Roo.

†: impacto poco importante

‡: impacto importante

¶: impacto muy importante

FIGURA 1. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ESTADOS DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE



Fuente: Zárate *et al.* 2003.

Como puede apreciarse en el anexo 1 y en el cuadro 4, existe un gran cúmulo de instrumentos legales y jurídicos a nivel federal y estatal que inciden directa e indirectamente sobre el manejo y gestión de la zona costera y sus recursos; sin embargo, su limitada aplicación y cumplimiento por todos los sectores involucrados, así como la falta de normatividad con visión ecosistémica, de vigilancia y gestión, han contribuido al creciente deterioro de la zona costera y marina de la región y pérdida de importantes recursos naturales.

Además del marco jurídico nacional, México ha participado y se ha comprometido en un gran número de acuerdos y tratados internacionales relacionados con la gestión y el manejo de la zona costera y marina (anexo 2), sin embargo los resultados y el cumplimiento de tales compromisos han sido muy limitados.

FIGURA 2. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DELTÁICA DEL RÍO PAPALOAPAN POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR.

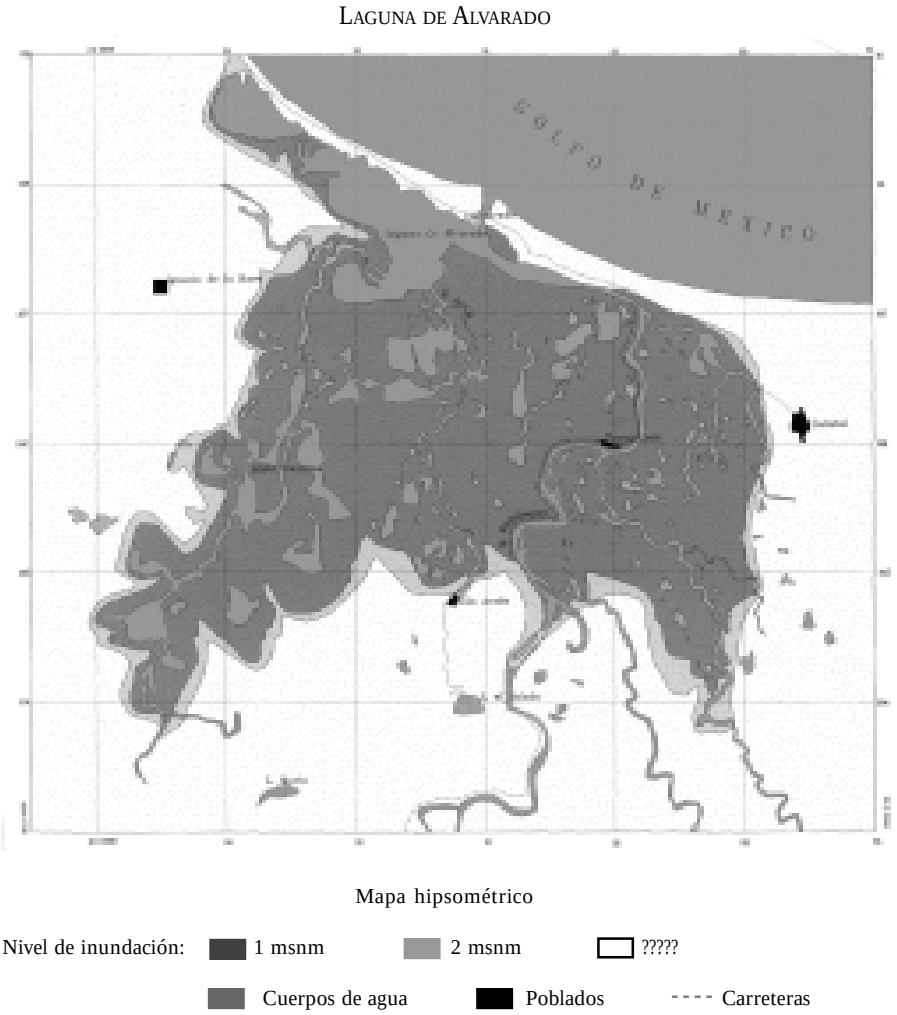
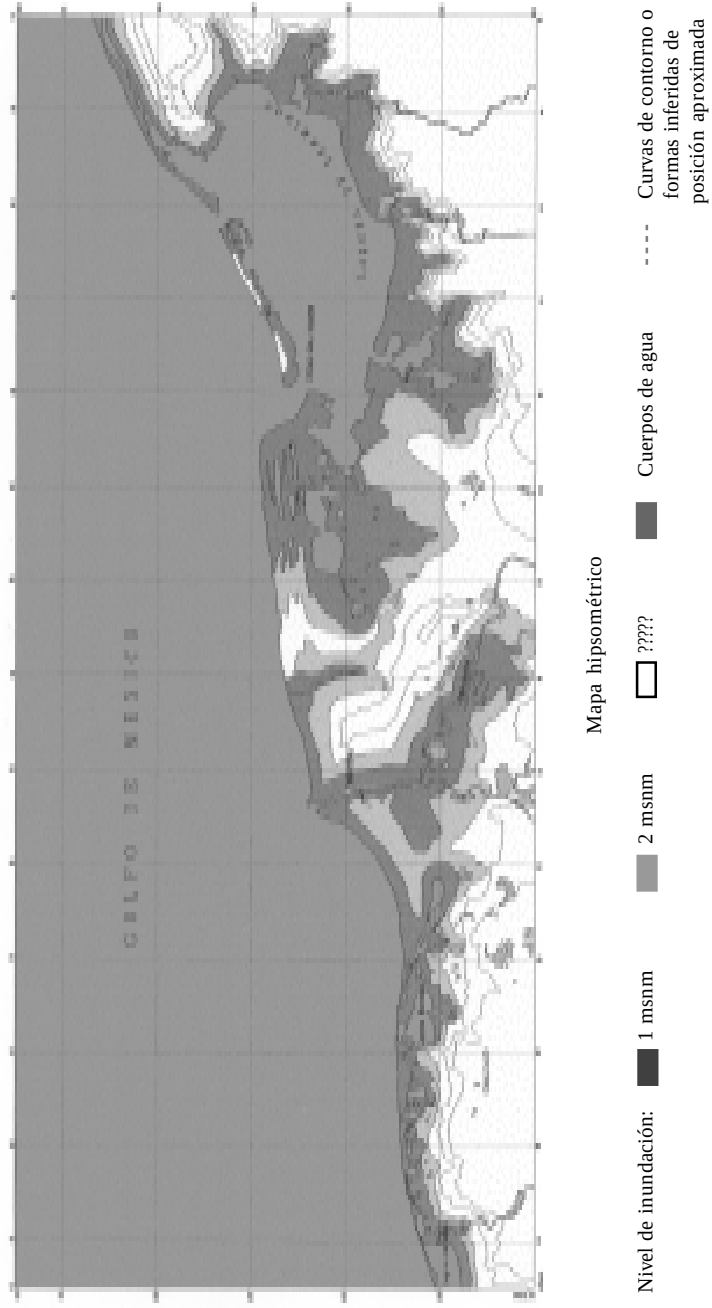


FIGURA 3. ÁREAS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD DE INUNDACIÓN E INTRUSIÓN DE LA CUÑA SALINA EN LA ZONA DEL COMPLEJO DELTAÍCO DEL SISTEMA GRUJALVA-USUMACINTA POR ASCENSO EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR



Por lo anterior y considerando la gran diversidad de recursos, ecosistemas, problemas, usuarios y sectores involucrados con las zonas costeras de la región y el país, es urgente visualizar dos escenarios: a) adecuar, fortalecer y complementar el marco jurídico-normativo actual aplicable a la zona costera y b) definir un instrumento legal específico para este espacio ecogeográfico como puede ser una ley para el Manejo de la zona costera. Ambos escenarios deben estar orientados a integrar y armonizar las diferentes leyes y reglamentos, así como las responsabilidades y atribuciones de las instituciones de la administración pública en los diferentes niveles de gobierno y en general de todos los actores involucrados en el uso, gestión y manejo de la zona costera y sus recursos (Zárate *et al.* 1999).

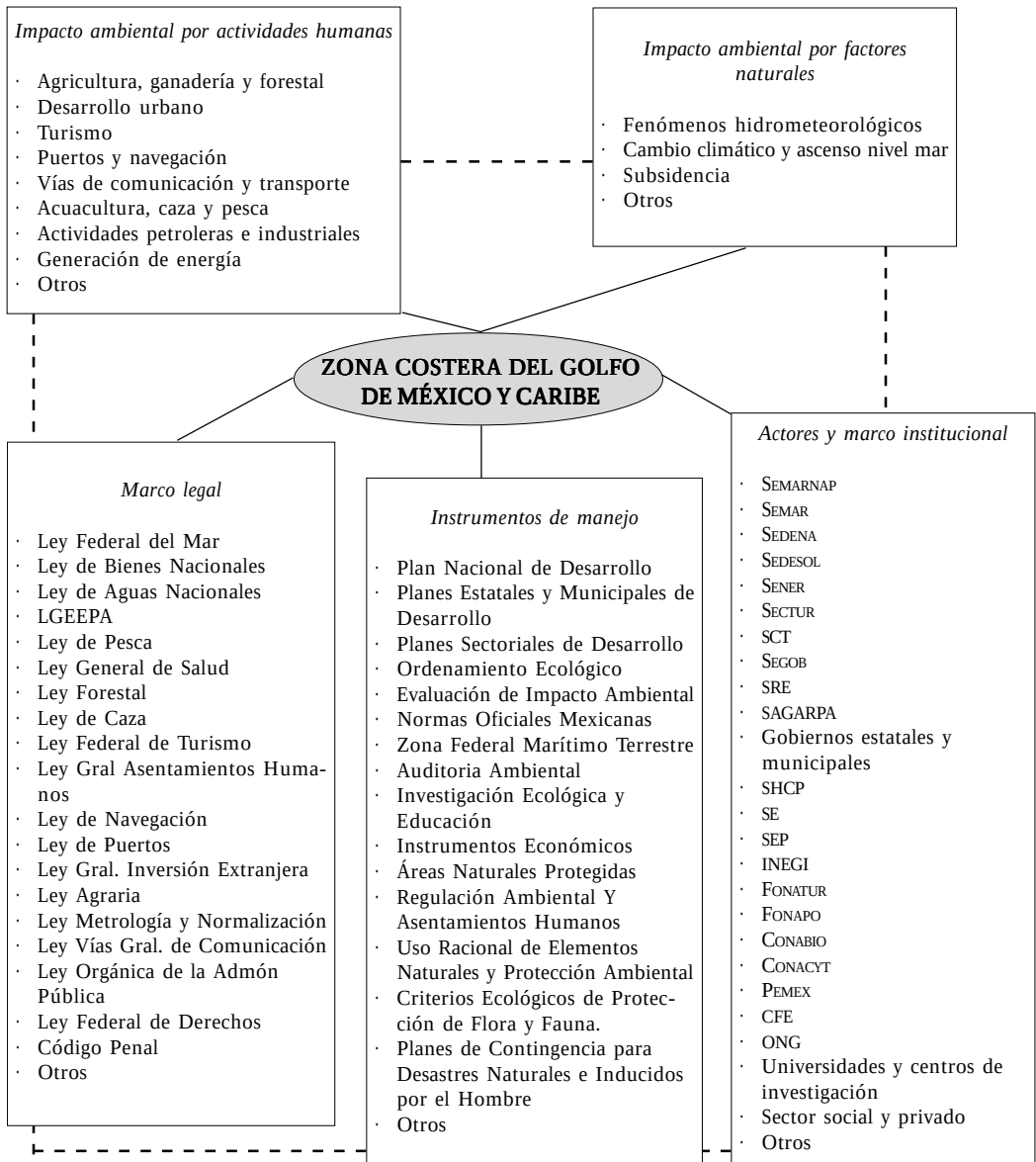
Marco institucional

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) es la dependencia responsable de las políticas y programas ambientales en el país y por lo tanto del manejo y gestión de su zona costera. Sin embargo, en el uso y manejo de la zona litoral intervienen un sin número de dependencias a nivel federal, estatal y municipal (figura 4). Desde el punto de vista institucional existen tres problemas importantes para el uso y manejo eficiente de la zona costera a nivel nacional y regional (Zárate 2003):

- La SEMARNAT no ha definido una política, programa o instrumento de carácter nacional o regional que oriente el desarrollo hacia un manejo integrado de la zona costera de la región.
- Los diferentes sectores públicos a nivel federal, estatal y municipal que inciden en el uso y gestión de recursos costeros, por regla general, definen sus políticas y programas de desarrollo sin considerar criterios ambientales y mucho menos la importancia estratégica y fragilidad que tienen los ecosistemas costeros de la región. Esto ocasiona problemas ambientales severos, traslapes de funciones y conflicto de intereses.
- Algunos sectores de desarrollo han realizado esfuerzos institucionales por abordar la problemática de la zona costera, desafortunadamente han sido planteados con visiones sectoriales y sin vinculación aparente.

Por lo anterior y por el creciente deterioro ambiental, es urgente que la SEMARNAT defina una estrategia o instrumento para el manejo integral de la

Figura 4. Factores a instrumentos que inciden en la gestión y el manejo de la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe (Zárate *et al.*, 1999).



zona costera (MIZC), que considere por una parte el fortalecimiento la capacidad institucional de la Secretaría para la atención de la problemática ambiental, y por la otra conformar y consolidar un grupo interdisciplinario de coordinación, planeación y seguimiento para el MIZC.

INSTRUMENTOS DE POLÍTICA AMBIENTAL

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO

Los problemas de la zona costera en México, han sido abordados históricamente en la gestión pública de manera desvinculada. Aunque existen esfuerzos institucionales para manejar de forma integral este espacio eco-geográfico, que han sido planteados desde visiones sectoriales (SEMARNAT 2001).

El *Programa de medio ambiente 2001-2006* reconoce la importancia estratégica que tiene la zona costera del país en términos de ecosistemas, recursos, bienes y servicios ambientales (SEMARNAT 2001). Sin embargo, no considera la definición de una política, programa estratégico o instrumento de planeación y gestión ambiental a nivel nacional que oriente su manejo con un enfoque integral y multisectorial.

La falta de un instrumento *ad hoc* que permita la integración de políticas y programas que inciden directa o indirectamente en la zona costera, ha ocasionado en ella efectos negativos como el traslape de atribuciones, conflicto de intereses e incompatibilidad entre los diferentes sectores de desarrollo a nivel federal, regional, estatal y municipal, así como altos costos económicos e impactos ambientales significativos (Zárate 2003). Por lo tanto, es evidente la urgente necesidad de definir e implementar en el corto plazo un Programa Nacional de Manejo Integrado para la Zona Costera y en el caso particular de la región sujeto del presente análisis, un Programa de Manejo Integral de la Zona Costera del Golfo de México y el Caribe, que permita una integración real de políticas, así como una planeación multisectorial con enfoque de ecosistemas (Zárate *et al.* 1999 y 2003, Yáñez-Arancibia y Day 2003, Zárate y Yáñez-Arancibia 2003).

ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

No obstante que el Ordenamiento Ecológico (OE), es uno de los principales instrumentos de política ambiental para la planeación a diferentes escalas, sólo existen decretados para la región seis programas de OE, todos ellos en el

estado de Quintana Roo, con una superficie de 6,347.2 km². Esta pequeña área equivale al 1.75% de la superficie de los seis estados de la región. Al comparar este porcentaje y observar la figura 1, se concluye que el esfuerzo por planear y ordenar ambientalmente la zona costera de la región es mínimo, en comparación con el crítico grado de fragmentación en que se encuentran los ecosistemas y recursos que son estratégicos para el país.

Las áreas que actualmente cuentan con programas de OE tienen el problema de que su delimitación y zonificación carecen de criterios administrativos, científicos, legales y técnicos acordes con la estructura y dinámica de los ecosistemas y recursos costeros, lo que restringe el manejo integrado. Así mismo, los modelos de uso del suelo y el manejo de ecosistemas y recursos no consideran la capacidad de carga que éstos tienen en términos de extracción de recursos, pérdida de cobertura vegetal y generación de residuos líquidos y sólidos, entre otros aspectos. La inexistencia de mecanismos de evaluación y monitoreo regional permanente que permitan la retroalimentación y actualización de los modelos de uso de ecosistemas y recursos definidos en los OE decretados en la región es otra limitante importante de su aplicación (Zárate 2003).

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es otro de los principales instrumentos de política ambiental en el país. No obstante su importancia, presenta una serie de limitaciones y debilidades para su aplicación en proyectos costeros, las principales son: a) la definición de la zona de influencia de los proyectos, b) la identificación y evaluación de los impactos en bienes y servicios ambientales, c) la falta de evaluación económica y social del impacto ambiental, d) escasa valoración de riesgos naturales, e) la identificación y evaluación de impactos acumulativos, sinérgicos y de tipo regional, y f) la definición y ejecución de programas de monitoreo y supervisión ambiental (Yáñez-Arancibia *et al.* 1996, Zárate *et al.* 1996 y 1999).

En el país, la EIA de planes, políticas y programas de desarrollo mejor conocida como Evaluación ambiental estratégica (EAE), no está contemplada en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, por lo que se planifica e implementa por el sector público o privado que los desarrolla (Zárate *et al.* 1996). Esta situación es delicada, pues no se evalúan las implicaciones ambientales de la multiplicidad de proyectos en la zona costera, que se caracterizan por ser de consecuencias ambientales a nivel regional.

Como ejemplo pueden mencionarse los recientes programas de Petróleos Mexicanos para la exploración y extracción de aceite y gas en la zona costera y marina del Golfo de México. La reflexión sobre estos programas es si han evaluado las implicaciones ambientales en sus zonas de influencia, los impactos de carácter regional, acumulativos, sinérgicos y transfronterizos, así como las respectivas medidas regionales para su mitigación. En caso contrario para este y otros programas y políticas de desarrollo es prioritario acordar y realizar las EAE respectivas.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Las áreas naturales protegidas (ANP) representan una de las herramientas más sólidas de la política ambiental del país, por conformar un instrumento indispensable para la protección y conservación de ecosistemas y recursos. Actualmente, existen decretadas a nivel federal para la región un total de 19 ANP, las cuales suman una superficie total 2,977,610 ha, que representan el 9.3% de toda la superficie protegida de los seis estados involucrados (cuadro 4). Aunque es una superficie importante, no refleja la necesidad actual de proteger, conservar y utilizar de manera sustentable áreas o ecosistemas costeros en buen estado de conservación y gran biodiversidad que aún existen en la zona costera de la región sin ser decretados y manejados como ANP a nivel federal o estatal (figura 1).

Las principales limitaciones de las ANP costeras de la región son que : a) en algunos casos los criterios con que han sido delimitadas y zonificadas, no corresponden al manejo estructural y funcional de los ecosistemas costeros involucrados, b) la escasa planeación del desarrollo urbano existente en áreas costeras protegidas incrementa la presión de uso por generación de residuos, pérdida de cobertura vegetal y construcción de infraestructura, así como la aplicación *a posteriori* de medidas de mitigación, c) la presión demográfica industrial y turística sobre estas áreas, d) el desorden y ausencia de regulación en el acceso de recursos marinos y costeros, e) la contaminación por fuentes puntuales y no puntuales, f) los conflictos de intereses entre usuarios (Pemex, turismo, puertos, industria pesquera), g) la limitada implementación de programas de monitoreo ambiental, h) los limitados recursos para su operación, entre las más importantes (CONANP 2003).

**CUADRO 4. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN LA ZONA COSTERO-MARINA
DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE**

CATEGORÍA	ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS/ ESTADOS INVOLUCRADOS	SUPERFICIE (HA)
Reservas de la biosfera	Arrecifes de Sian Ka'an (Quintana Roo)	34,927
	Banco Chinchorro (Quintana Roo)	144,360
	Los Tuxtlas (Veracruz)	155,122
	Pantanos de Centla (Tabasco)	302,707
	Ría Lagartos (Yucatán)	60,347
	Sian Ka'an (Quintana Roo)	528,148
	Los Petenes (Campeche)	282,858
	Ría Celestum (Yucatán y Campeche)	81,482
	<i>Subtotal</i>	1,589,951
Parques nacionales	Arrecife Alacranes (Yucatán)	333,767
	Arrecifes de Cozumel (Quintana Roo)	11,988
	Arrecifes de Puerto Morelos (Quintana Roo)	9,067
	Isla Contoy (Quintana Roo)	5,126
	Isla Mujeres, Cancún y Punta Nizuc (Quintana Roo)	8,673.06 52,239
	Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz)	664
	Tulum (Quintana Roo)	17,949
	Arrecifes de Xcalac (Quintana Roo)	439,473.06
Áreas de protección de flora y fauna	<i>Subtotal</i>	
	Laguna de Términos (Campeche)	705,016
	Uaymil (Quintana Roo)	89,118
	Yum Balam (Quintana Roo)	154,052
	<i>Subtotal</i>	948,186
	<i>Total</i>	2,977,610
	117 áreas protegidas a nivel nacional	12,731,109

Fuente: INEGI-SEMARNAP 1999, CONANP 2003.

ZONA FEDERAL MARÍTIMO TERRESTRE

La zona costero-marina del país ha sido definida legalmente para su administración y manejo en la parte continental como la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT) y en la parte marina como Mar Territorial (MT) y la Zona Económica Exclusiva (ZEE).

La aplicación de los límites administrativos definidos por la ZOFEMAT, MT y ZEE para fines de un manejo integral, tienen el inconveniente de no reflejar la extensión y límites naturales de la zona costero-marina. En el caso de la ZOFEMAT, la zona costera puede extenderse más allá de los límites fijados por esta y en la zona marina a una distancia menor de los límites establecidos por el MT y ZEE. Por lo anterior y para efectos de un MIZC para la zona costera de la región, es necesario ajustar los límites administrativos actuales o proponer otros acorde con la estructura y dinámica de la zona costera, como pueden ser las fronteras naturales en el continente y el mar, donde los procesos continentales y marinos, respectivamente, tienen influencia espacial y temporal (Zárate *et al.* 1999).

OTROS INSTRUMENTOS

En el uso, manejo y administración de la zona costera del país participan directa o indirectamente otros instrumentos previstos por la LGEEPA como instrumentos de política ambiental: a) normas oficiales mexicanas, b) auditoría ambiental, c) investigación ecológica y educación, d) instrumentos económicos, e) de regulación ambiental y asentamientos humanos, f) uso racional de elementos naturales y protección ambiental, y g) criterios ecológicos de protección de flora y fauna. Todos estos instrumentos carecen de una visión que permita atender integral y eficazmente los problemas ambientales y necesidades de manejo de los ecosistemas y recursos naturales de la zona costera del Golfo de México y el Caribe.

ESFUERZOS SOBRE MIZC GOLFO/CARIBE

ANTECEDENTES

Desde 1990 se han desarrollado diversos foros y reuniones técnicas a nivel nacional, regional e internacional, con el fin de analizar los problemas ambientales prioritarios de la zona costera del Golfo de México y el Caribe, y

para la definición de acciones y medidas orientadas hacia su gestión y manejo integrado (cuadro 5).

En el ámbito regional y bilateral los 11 estados que limitan con el Golfo de México (Florida, Alabama, Misisipi, Louisiana, Texas, Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) conformaron en 1995 el instrumento denominado Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Desde entonces, este instrumento, a través de conferencias anuales, reúne a funcionarios a nivel federal y estatal, empresarios, inversionistas, científicos y ciudadanos para trabajar en la definición de acuerdos y proyectos orientados hacia el desarrollo sustentable de la región.

En el ámbito federal, la SEMARNAT ha integrado recientemente un Grupo de Seguimiento para Mares y Costas para armonizar criterios, sincronizar acciones y coordinar el desarrollo de una estrategia común de corto y mediano plazo. Los objetivos de este grupo son: a) fortalecer la capacidad institucional para la atención de la problemática ambiental de la zona costera, b) consolidar un grupo intersectorial de coordinación y seguimiento de los asuntos relacionados con mares y costas, c) sentar las bases de una estrategia de gestión ambiental integrada y de los mecanismos para su desarrollo y d) construir los ejes ambientales de una política nacional para mares y costas (Martínez y Lacy 2003).

Reconociendo lo anterior, así como: a) la gran importancia ecológica, social, económica y geopolítica que tiene la zona costera del Golfo de México y el Caribe para el país y a nivel regional (Gran Caribe), b) los graves problemas de contaminación, impacto y riesgo ambiental que enfrenta y que están comprometiendo seriamente su integridad ecológica, y c) la urgente necesidad de implementar estrategias e instrumentos de planeación, manejo y gestión integral, el Instituto de Ecología A. C. a través del Programa de Recursos Costeros implemento en el 2001, el instrumento denominado Panel Manejo Integral de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe (Panel MIZC Golfo/Caribe).

PANEL MIZC GOLFO/CARIBE

El Panel es un instrumento técnico-científico de carácter regional y permanente para opinar, analizar y recomendar lo pertinente hacia la planeación, gestión, y toma de decisiones sobre el MIZC del Golfo de México y el Mar Caribe (figura 5).

El Panel esta conformado por los principales actores y protagonistas que inciden en el uso, manejo y gestión de la zona costera de la región a nivel federal, estatal y municipal. También participan importantes actores de los

CUADRO 5. REUNIONES Y TALLERES TÉCNICO-CIENTÍFICOS DESARROLLADOS PARA LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

1990	Primer Simposio USA-México, El Estatus Económico y Ambiental del Golfo de México. New Orleans LA, Diciembre.
1992	Diplomado, Economía Ecológica en Ecosistemas Costeros del Golfo de México. Campeche México, Febrero.
1992	Asamblea Delta, Preservación del Ambiente Global y Desarrollo de una Visión Compartida para el Golfo de México. New Iberia LA, Marzo.
1992	Segundo Simposio USA-México, El Golfo de México un Mar Compartido. Tarpon Springs FL, Diciembre.
1993	Simposio EUA-México, Manejo Ambiental de Mares Costeros Protegidos, El Golfo de México EMECS'93. Baltimore MD, Noviembre.
1995	Tercer Simposio USA-México, El Golfo de México Navegando Hacia el Futuro. Corpus Christi TX, Marzo.
1995	Primera Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Campeche, Campeche. México, Mayo.
1995	1ra Reunión Mesa de Salud, Ecología y Medio Ambiente. Conferencia Gobernadores Golfo de México. Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Ver. Septiembre.
1995	4to Simposio EUA-México, El Golfo de México Gran Ecosistema Marino, Evaluación, Sustentabilidad y Manejo. St. Petersburg FL, Septiembre.
1996	Segunda Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Mobile, Alabama, USA. Mayo
1998	Taller, TEMA Redes del Gran Caribe en Gestión Integrada de Áreas Costeras IOCARIBE. Cartagena Colombia, Septiembre.
1998	Tercera Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Tampa, Florida.
2000 (febrero)	Conferencia, Perspectivas de Norte América y Europa sobre Política Oceánica y Costera COSU. Cancún México, Noviembre.
2000	Cuarta Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Villahermosa, Tabasco. México. Agosto.
2000	Taller, Estrategia Ambiental para la Gestión Integrada de la Zona Costera de México, Retos para el Desarrollo Sustentable. INE-Semarnat, México DF, Noviembre.

(Continúa)

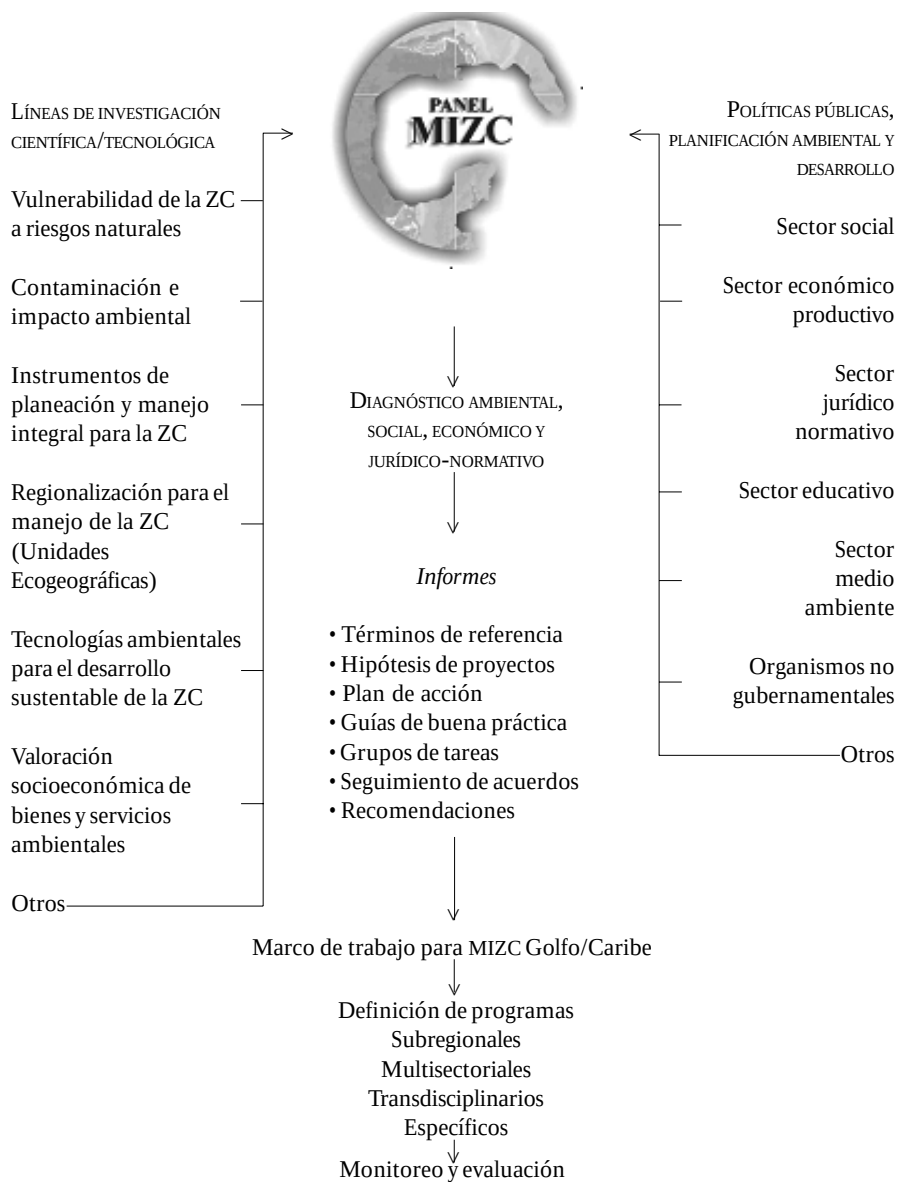
CUADRO 5. REUNIONES Y TALLERES TÉCNICO-CIENTÍFICOS DESARROLLADOS PARA LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE.

2001	Primer Panel, Necesidades para la Gestión y Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Ecología A.C., Semarnat, Xalapa Ver, Noviembre.
2002	Quinta Conferencia del Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México. Boca del Río, Veracruz. México, Enero.
2002	Taller, Cartografía de Regiones Ecológicas Estuarinas y Marino Costeras de América del Norte CCA. Charleston, USA. Marzo.
2002	Taller, La Sustentabilidad Costera, Comité Nacional Preparatorio Johannesburgo'02. Campeche Campeche, México. Julio.
2002	Primer Taller GIWA Evaluación Global de Aguas Internacionales, Subregión-2 Golfo de México GIWA. Veracruz, Veracruz, México. Agosto.
2003	Segundo Panel, Necesidades para la Gestión y Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Ecología A.C., Semarnat, Xalapa Veracruz, Marzo.
2003	Segundo Taller GIWA. Evaluación Detallada. Análisis de Cadena Causal. Análisis de Opciones de Política. Evaluación Global de Aguas Internacionales, Subregión-2 Golfo de México GIWA. Xalapa, Veracruz, México. Junio.
2003	Seminario Internacional Prácticas Ambientales en las Actividades de Exploración y Producción Costa Afuera. Pemex – Semarnat. Veracruz, Veracruz. México. Abril.
2003	Acuerdo de los Estados del Golfo de México. Reunión de Mesas de Trabajo. Agenda Salud, Ecología y Medio Ambiente. Mérida Yucatán, México. Octubre.

Estados Unidos de América y diversas instituciones y ONG internacionales. Los objetivos del Panel MIZC Golfo/Caribe son (Yáñez-Arancibia y Zárate 2001, Zárate y Yáñez-Arancibia 2003):

- Identificar y evaluar los principales problemas ambientales, sociales, económicos y normativos que enfrenta la zona costera del Golfo y Caribe y que dificultan y/o favorecen el proceso de su desarrollo sustentable.

FIGURA 5. PANEL MANEJO INTEGRAL DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE (PANEL MIZC GOLFO/CARIBE)



CUADRO 3. PROBLEMAS Y ASUNTOS ESTRATÉGICOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS
POR EL PANEL MIZC GOLFO/CARIBE

Problemas ambientales prioritarios

- Fragmentación y pérdida de ecosistemas, cobertura vegetal, biodiversidad y suelos por el aumento de la frontera agropecuaria, urbana e industrial.
- Contaminación de acuíferos, suelos, ríos y zona costera, por el vertido de aguas residuales urbanas, agrícolas e industriales, entre otros.
- Contaminación de agua y suelo por residuos sólidos urbanos e industriales, entre otros.
- Contaminación atmosférica.
- Problemas de salud pública derivados por la contaminación de agua, suelo y organismos.
- Sobreexplotación y agotamiento de recursos.
- Afectaciones a población, infraestructura y actividades económicas por fenómenos y riesgos naturales.
- Erosión y acreción litoral por infraestructura portuaria/industrial y aumento en la frontera agropecuaria en las cuencas medias y altas.

Asuntos estratégicos para el MIZC

- Ausencia de un marco legal-administrativo y de un instrumento de coordinación intergubernamental e intersectorial, que permita el MIZC del Golfo/Caribe.
 - Carencia de un diagnóstico ambiental regional actual, consensuado a nivel federal y estatal.
 - Carencia de un sistema de información ambiental para el MIZC.
 - Resolución limitada de conflictos entre sectores.
 - Limitada aplicación de criterios ambientales y de sustentabilidad en la planeación sectorial.
 - Urbanización costera no planificada, con limitada infraestructura y servicios básicos.
 - Acceso limitado a tecnologías ambientales.
 - Limitada coordinación entre la definición y aplicación de los instrumentos de política ambiental con visión de ecosistema y cuencas.
 - Ausencia de programas de difusión, capacitación y educación ambiental orientados hacia el MIZC.
 - Limitada participación corresponsable de la sociedad en la planeación ambiental y toma de decisiones, así como en el aprovechamiento y conservación de recursos.
 - Promoción del fortalecimiento a la gestión estatal y municipal.
 - Cumplimiento y fomento de acuerdos internacionales, regionales y bilaterales.
-

Fuente: Zárate y Yáñez-Arancibia 2003.

- Coadyuvar en la definición de acciones y metas prioritarias para la gestión y el manejo integrado de la zona costera del Golfo y Caribe.
- Establecer un grupo de trabajo transdisciplinario e intersectorial para orientar agendas hacia el MIZC de la región.
- Proponer y definir los términos de referencia para el Programa MIZC-Golfo/Caribe.

El Panel MIZC Golfo/Caribe como instrumento técnico-científico, interactúa con la Semarnat, el Acuerdo de Gobernadores del Golfo de México y demás actores involucrados en el uso y manejo de recursos de la región, para coadyuvar en la armonización de criterios, sincronización de acciones y desarrollo de una estrategia común de corto, mediano y largo plazo hacia el MIZC.

Como resultado de dos reuniones técnicas, el Panel MIZC Golfo/Caribe ha identificado y consensuado como problemas ambientales prioritarios y asuntos estratégicos para ser atendidos por estrategias de MIZC, los presentados en el cuadro 3 (Yáñez-Arancibia y Zárata 2001, Zárata y Yáñez-Arancibia 2003).

PROPUESTA DEL PROGRAMA MIZC GOLFO/CARIBE

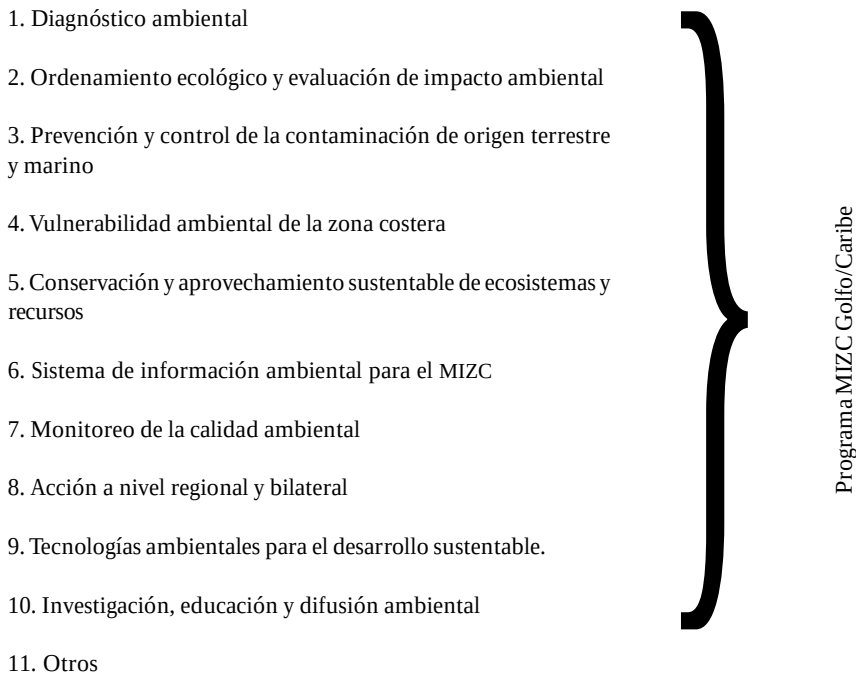
En congruencia con lo anteriormente planteado, el Panel trabaja en la elaboración de una propuesta para el Programa de Manejo Integral de la Zona Costero-Marina del Golfo de México y el Caribe (Programa MIZC Golfo/Caribe). Los objetivos y funciones que propone para este programa son (Zárata y Yáñez-Arancibia 2003):

- Preservar y proteger la productividad, biodiversidad y el funcionamiento básico de los ecosistemas costeros.
- Promover y garantizar el desarrollo sustentable de actividades económicas y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
- Contener, prevenir y revertir la contaminación y el deterioro de la zona costera desde las actividades desarrolladas en tierra y mar.
- Restaurar y rehabilitar áreas, ecosistemas y procesos ecológicos críticos dañados.
- Reducir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, infraestructura y actividades productivas a los riesgos naturales.
- Promover la integración y elaboración de políticas con consenso social para el desarrollo regional sustentable.

- Fortalecer y armonizar el manejo sectorial de la zona costera.
- Institucionalizar el Programa MIZC con una perspectiva de largo plazo.
- Definir y operar planes y estrategias de MIZC a nivel bilateral y regional para atender eficazmente los asuntos y problemas ambientales estratégicos del Golfo de México y Caribe.

El Panel propone que, como agenda de primera generación, el Programa MIZC Golfo/Caribe, esté conformado por diez subprogramas, los cuales se muestran en la figura 6. Los objetivos, proyectos y acciones que el Panel propone para cada uno de los subprogramas del Programa MIZC Golfo/Caribe se resumen en el cuadro 4.

FIGURA 6. COMPONENTES PRINCIPALES DEL PROGRAMA MIZC GOLFO/CARIBE PROPUESTOS POR EL PANEL MIZC GOLFO/CARIBE (ZÁRATE Y YÁÑEZ-ARANCIBIA, 2003; ZÁRATE ET AL., 2003).



CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	COMPONENTES Y OBJETIVOS
1. Diagnóstico ambiental para la Zona Costera del Golfo/Caribe	· Estado actual de los ecosistemas, recursos y territorio a nivel regional y estatal. · Identificación y evaluación de las principales fuentes de contaminación e impacto ambiental. · Evaluación de riesgos naturales. · Recursos, ecosistemas y regiones con problemas ambientales críticos. · Criterios para la delimitación de la zona costera hacia el MIZC. · Limitaciones y necesidades de los instrumentos de política ambiental para su aplicación en la zona costera. · Programas y proyectos sectoriales que inciden en la zona costera. · Tecnologías ambientales aplicables a la zona costera. · Criterios de manejo por ecosistemas tipo de la zona costera.
2. Ordenamiento Ecológico y Evaluación de Impacto Ambiental de la Zona Costera.	· Aceptación del OE como un instrumento base para la planeación a nivel regional, sectorial, estatal y municipal. · Aceptación de la EIA y EAE como instrumento para la determinación de la viabilidad de actividades, proyectos, planes, programas y políticas de desarrollo. · Definición y realización de Ordenamientos Ecológicos Regionales con visión integral de ecosistemas y manejo de cuencas. · Definición de estrategias integrales para la articulación entre instrumentos de política ambiental (Evaluación de Impacto Ambiental, Áreas Naturales Protegidas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros, Ordenamientos Urbanos). · Definición de pautas y criterios de manejo integral por ecosistemas y sectores productivos.
3. Prevención y Control de la Contaminación de Origen Terrestre y Marino.	· Identificación de fuentes terrestres. Inventario regional de fuentes terrestres y marinas de contaminación Sistema de información geográfica (SIG). · Determinación de niveles y estudios de base sobre la contaminación de agua, suelos, organismos y ecosistemas. · Definición y aplicación de medidas técnicas, legales y administrativas para la prevención y control de la contaminación. Programa de Manejo Integral de Residuos Líquidos y Sólidos.

CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	Evaluación y remediación de recursos y ecosistemas dañados. COMPONENTES Y OBJETIVOS
4. Vulnerabilidad Ambiental de la Z. C. del Golfo/Caribe.	- Definición de parámetros intercalibrados para el monitoreo y seguimiento. - Definición de proyectos de inversión para el control y prevención de la contaminación. - Evaluación de los efectos en la zona costera por cambio climático, ascenso en el nivel medio del mar, fenómenos hidrometeorológicos, subsidencia, depositación y erosión costera, marea roja, otros. - Atlas de riesgos naturales y áreas amenazadas. - Sistema de Información Ambiental para la Evaluación de Riesgos. - Coordinación del programa para la actualización de ordenamientos urbanos costeros y ZOFEMATAC.
5. Conservación y Aprovechamiento Sustentable de Ecosistemas y Recursos	- Protección y manejo de ecosistemas y recursos costeros críticos. - Promoción del manejo sustentable de recursos, especialmente la eficiencia en el uso del agua y la energía. - Desarrollo sustentable de acuacultura y pesquerías con perspectiva ambiental (protección de hábitats críticos). - Participación corresponsable de grupos sociales en la conservación y aprovechamiento sustentable de recursos. - Evaluación, restauración, remediación y rehabilitación de ecosistemas y recursos deteriorados.
6. Sistema de Información Ambiental para el Manejo Integral de la Zona Costera.	- Cartografía e inventarios actuales de ecosistemas, recursos, problemas/oportunidades. - SIA-MIZC para fortalecer la planeación, gestión ambiental y toma de decisiones con la mejor información disponible, así como para la difusión, intercambio y consulta.
7. Monitoreo Calidad Ambiental de la Zona Costera.	- Definición de índices e indicadores de calidad ambiental para la zona costera. - Definición del sistema de monitoreo con base en la coordinación de bases de datos sectoriales y académicos. - Elaboración periódica de informes electrónicos.

CUADRO 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE

SUBPROGRAMA	COMPONENTES Y OBJETIVOS
8. Acción a nivel regional y bilateral	· Mecanismos para el fortalecimiento e implementación de acuerdos internacionales. · Definición e implementación de acuerdos bilaterales para el manejo de recursos estratégicos y la atención a problemas prioritarios. · Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para la prevención y manejo de la contaminación.
9. Programa Tecnologías ambientales para el desarrollo sustentable	· Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para el aprovechamiento sustentable de recursos costeros. · Identificación y aplicación de tecnologías ambientales para el desarrollo de infraestructura costera y de tecnologías para la generación de energía renovable.
10. Programa de investigación, educación y difusión ambiental	· Promover procesos de educación, capacitación, comunicación y fortalecimiento de la participación ciudadana relativos a la protección de la zona costera y el aprovechamiento sustentable de recursos. · Promover proyectos de investigación con carácter orientado y transdisciplinario, para la protección, aprovechamiento y manejo de ecosistemas y recursos costeros. · Elaborar libros, manuales y guías sobre el MIZC, así como guías y materiales de difusión y capacitación ambiental.

Fuente: Zárate y Yáñez-Arancibia, 2003; Zárate *et al.*, 2003.

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Marco legal federal

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 25 a 27, 73 y 115)

Ley de Planeación

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

- Reglamento en Materia de Impacto Ambiental
- Reglamento en Materia de Ordenamiento Ecológico
- Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera
- Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos
- Reglamento para la Protección del Ambiente contra la Contaminación Originada por la Emisión de Ruido

Ley General de Bienes Nacio-nales

Ley de Aguas Nacionales

- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales

Ley de Pesca

- Reglamento de la Ley de Pesca

Ley Forestal

- Reglamento de la Ley Forestal

Ley de Vías Generales de Comunicación

- Reglamento del Artículo 124 de la Ley de Vías Generales de Comunicación

Ley Federal del Mar

- Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo-Terrestre y Terrenos Ganados al Mar
- Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Ley Minera

Ley de Vida Silvestre

Ley Federal de Caza

Ley Agraria

Ley Federal de Turismo

- Reglamento para la Prestación del Servicio Turístico de Buceo
- Reglamento de la Ley Federal de Turismo

Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Ley General de Asentamientos Humanos

Ley de Conservación del Suelo y Agua

Ley General de Salud

Ley de Navegación

- Reglamento de la Ley de Navegación

Ley de Puertos

- Reglamento de la Ley de Puertos

Ley General de Asentamientos Humanos

Ley General de Inversión Extranjera

Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Ley Orgánica de la Administración Pública

Ley Federal de Derechos

Código Penal Federal

Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo-Terrestre y Terrenos Ganados al Mar

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Reglamento de Parques Nacionales e Internacionales

Reglamento del Registro Público de la Propiedad

Reglamento Interior de la Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental

Reglamento para la Determinación de Coeficientes de Agostadero

Decretos de Áreas Naturales Protegidas Federales

- Reservas de la Biosfera (6)
- Parques Nacionales (7)
- Áreas de Protección de Flora y Fauna (3)
- En Recategorización (1)

Normas Oficiales Mexicanas

- NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-059-ECOL-1994, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

-
- NOM-002-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
 - NOM-006-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de todas las especies de langosta en las aguas de Jurisdicción Federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico incluyendo el Golfo de California.
 - NOM-008-PESC-1993, para ordenar el aprovechamiento de las especies de pulpo en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
 - NOM-009-PESC-1993, que establece el procedimiento para determinar las épocas y zonas de veda para la captura de las diferentes especies de la flora y fauna acuáticas, en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
 - NOM-011-PESC-1993, para regular la aplicación de cuarentenas, a efecto de prevenir la introducción y dispersión de enfermedades certificables y notificables, en la importación de organismos acuáticos vivos en cualesquiera de sus fases de desarrollo, destinados a la acuicultura y ornato en los Estados Unidos Mexicanos.
 - NOM-013-PESC-1994, para regular el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.
 - NOM-015-PESC-1994, para regular la extracción de las existencias naturales de ostión en los sistemas lagunarios estuarinos del Estado de Tabasco.
 - NOM-016-PESC-1994, para regular la pesca de lisa y liseta o lebrancha en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe, así como del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California.
 - NOM-017-PESC-1994, para regular las actividades de pesca deportivo- recreativa en las aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos.
 - NOM-023-PESC-1996, que regula el aprovechamiento de las especies de túnidos con embarcaciones palangreras en aguas de jurisdicción federal del Golfo de México y Mar Caribe.
 - NOM-EM-001-PESC-1999, Que establece los requisitos y medidas para prevenir y controlar la introducción y dispersión de las enfermedades virales denominadas mancha blanca white spot baculo virus (WSBV) y cabeza amarilla yellow head virus (YHV).
 - NOM-022-SEMARNAT-2003, que estable las especificaciones para la preservación, conservación, aprovechamiento sustentable y restauración de humedales costeros en zonas de manglar.

(Continúa)

ANEXO 1. LEGISLACIÓN E INSTRUMENTOS JURÍDICOS APLICABLES A LA ADMINISTRACIÓN Y MANEJO
DE LA ZONA COSTERO-MARINA DE MÉXICO

Marco legal estatal

Constituciones Políticas de los Estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche,
Yucatán y Quintana Roo

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Tamaulipas

Ley Estatal del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Veracruz

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Tabasco

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Campeche

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Yucatán

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Quintana Roo

· Reglamento de Impacto Ambiental

· Reglamentos municipales

Fuente: Zárate *et al.* 1999 y 2001.

ANEXO 2. TRATADOS E INSTRUMENTOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR MÉXICO
RELACIONADOS CON LA ZONA COSTERA Y MARINA

Tratados e instrumentos globales

Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar
Convención sobre Alta Mar
Convención sobre Mar Territorial y la Zona Contigua
Convención sobre la Plataforma Continental
Convenio Internacional sobre Salvamento Marítimo
Convenio Internacional sobre la Búsqueda y Salvamentos Marítimos
Convenio sobre la Responsabilidad Nacida de Reclamaciones de Derecho Marítimo
Convenios Internacionales sobre Contaminación por Hidrocarburos, Vertimiento de Desechos y otras Sustancias Nocivas al Mar
Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Cumbre de la Tierra
Agenda 21. Capítulo 17. Protección de los Océanos y de los Mares de Todo el Mundo, incluidos los Mares Cerrados, Zonas Costeras y Protección Racional y Desarrollo de sus Recursos Vivos.
Código de Conducta para la Pesca Responsable
Convención Internacional para la Reglamentación de la Caza de la Ballena
Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos en Alta Mar
Programa Internacional para la Conservación de los Delfines
Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención de RAMSAR)
Convenio Internacional para prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)
Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos
Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias
Convenio Internacional sobre Responsabilidad Civil por Daños Causados por la Contaminación de las Aguas del Mar por Hidrocarburos.
Convenio Internacional relativo a la Intervención en Alta Mar en casos de Accidentes que causen una Contaminación por Hidrocarburos

(Continúa)

ANEXO 2. TRATADOS E INSTRUMENTOS INTERNACIONALES FIRMADOS POR MÉXICO
RELACIONADOS CON LA ZONA COSTERA Y MARINA

Protocolo relativo a la intervención en Alta Mar en Casos de Contaminación del Mar por Sustancias Distintas de los Hidrocarburos.
Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible Johannesburgo 2002.

Tratados e instrumentos regionales

Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACCAN) y la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte. Gobiernos de los Estados Unidos de Mexicanos, de Canadá y los Estados Unidos de América
Convenio Constitutivo de la Organización Latinoamericana de Desarrollo Pesquero (OLDEPESCA)
Centro para los Servicios de Información y Asesoramiento sobre la Comercialización de los Productos Pesqueros en América Latina y El Caribe (INFOPESCA)
Convenio Constitutivo de la Asociación de Estados del Caribe.
Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe y el Protocolo de Cooperación para combatir los derrames de Hidrocarburos en la Región del Gran Caribe
Plan de Acción del Sistema Arrecifal del Caribe Mesoamericano.

Tratados e instrumentos bilaterales

Acuerdo para el Reconocimiento Provisional de Fronteras Marítimas (USA-MEXICO)
Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre la Contaminación del Medio Marino por Derrames de Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas

BIBLIOGRAFÍA

- Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- CONABIO 1998. *Regiones marinas prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad., México. 198 pp.
- CONANP 2003. Áreas naturales protegidas en el Golfo de México y Mar Caribe. Documento presentado en el Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. INECOL A. C.-SEMARNAT, marzo 2003.
- Day, J. W., J. F. Martin, L. Cardoch y P. H. Templet 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems in the Gulf of Mexico. *Coastal Management* 25 : 115-153.
- GSTP-SEDUMA 2002. Programa estatal de desarrollo urbano. Grupo de Servicios, Ingeniería y Proyectos S. A. de C. V., Gobierno del Estado de Quintana Roo. Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. 718 pp. Tomo I y 2 + anexos.
- INEGI-SEMARNAP 1999. *Estadísticas del medio ambiente*. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México. Vol I y II.
- INE-SEMARNAP 2000. Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera de México. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Propuesta (Documento de Trabajo). 40 pp.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman 1999. *The Gulf of Mexico large marine ecosystem. Assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. 704 pp.
- Lara-Domínguez, A. L., A. Yáñez-Arancibia, P. Sánchez-Gil, D. Zárate Lomelí, J. W. Day y E. Reyes 2003. Dynamic estuarine patterns of ecological processes and functional structure in the Gulf of Mexico: application to coastal management. *Ocean & Coastal Management*. Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem, Elsevier.
- Martínez Arroyo, A. y R. Lacy Tamayo 2003. Iniciativa de restauración ecológica y unificación de políticas ambientales en el Golfo de México. Documento presentado en el Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. INECOL A. C.-SEMARNAT, marzo 2003.
- Ortiz Pérez, M. A., C. Valverde y N. P. Pzuty 1996. The impacts of sea-level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. En: *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica.

- PEMEX 2000. *Anuario estadístico 2000*. Petróleos Mexicanos, México. 63 pp.
- Rivera-Arriaga, E. y D. Zárate Lomelí 2000. Where we are and where we should go in coastal management in Mexico. En: Cicin-Sain, B. y E. Rivera-Arriaga (eds.). *International Conference on Coastal and Ocean Space Utilization. North American and European Perspectives on Ocean and Coastal Policy. Building Partnerships and Expanding the Technological Frontier*. Proceedings Volume 1. 168 pp.
- SEMARNAT, 2001. *Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 170 pp.
- Toledo Ocampo, A. 1996. Caracterización ambiental del Golfo de México. En: Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Weber, M., R. T. Townsend y R. Bierce 1992. *Environmental Quality in the Gulf of Mexico a Citizen's Guide*. Center for Marine Conservation and U. S. Environmental Protection Agency. 132 pp.
- Secretaría de Marina. Página en internet: www.semarnat.gob.mx. 2002.
- Yáñez-Arancibia, A., D. Zárate Lomelí y V. Santiago Fandiño 1996. La evaluación de impacto ambiental en la región del Gran Caribe. En: Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. Benítez y D. Zárate Lomelí (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Yáñez-Arancibia, A. y D. Zárate Lomelí 2001. Conclusiones Primer Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. Instituto de Ecología A. C.-SEMARNAT. 12 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y J. W. Day, 2003. Coastal management in the Gulf of Mexico: towards an integration of ICM with LME management. *Ocean & Coastal Management*. Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Elsevier.
- Zárate, L. D. 2003. Instrumentos para la gestión y el manejo de la zona costera de México. En: Rivera Arriaga, E., G. Villalobos Zapata, F. Rosado May e I. Azuz Adeath (eds.). *El manejo costero en México. Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México*. SEMARNAT, México.
- Zárate, L. D., J. L. Rojas Galavíz, T. Saavedra Vázquez 1996. La evaluación del impacto ambiental en México: recomendaciones para zonas costeras. En: Botello, A. V., J. L. Rojas Galavíz, J. A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (eds.). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica.
- Zárate, L. D., T. Saavedra Vázquez, J. L. Rojas Galavíz, A. Yáñez-Arancibia. E. Rivera-Arriaga 1999. Terms of reference towards an integrated management policy in the

- coastal zone of the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Ocean and Coastal Management*, 42: 345-368.
- Zárate, L. D., y H. Alafita V., 2001. Diagnóstico ambiental de la región SSE de México. Implicaciones del Plan Puebla Panamá. Informe Técnico. Instituto de Ecología A. C. 64 pp.
- Zárate, L. D., A. Yáñez-Arancibia, E. Rivera Arriaga, P. Sánchez Gil, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, L. Hernández Martínez, H. Alafita Vásquez y S. Guevara Sada 2001. Diagnóstico ambiental y necesidades para el manejo integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe. Informe Técnico. Primer Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. 21 a 23 de noviembre, Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México. 69 pp.
- Zárate, L. D. y A. Yáñez-Arancibia, 2003. Conclusiones Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe. Instituto de Ecología A. C.-SEMARNAT. 37 pp. + anexos.
- Zárate, L. D., A. Yáñez-Arancibia, R. Lacy Tamayo, A. Martínez Arroyo, H. Alafita Vásquez, E. Rivera Arriaga y J. W. Day, 2003. Términos de referencia para el Programa de Manejo Integral de la zona costera del Golfo de México y Caribe. Informe Técnico. Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Caribe, 6-7 marzo 2003. INECOL A. C.-SEMARNAT. 37 pp.

ENTRE LA CIENCIA Y LA POLÍTICA.
INTEGRANDO LOS COMPONENTES MARINOS, COSTEROS
Y CONTINENTALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Alejandro Toledo

UNA VISIÓN A PARTIR DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL OCÉANO,
LAS COSTAS Y LOS RÍOS

La aventura de la vida en nuestro planeta se inició en el mar. Hasta hace unos 450 millones de años, toda la vida era marina. Millones de años antes, sin embargo, los ecosistemas marinos proveían ya una larga, compleja y variada gama de funciones ambientales que hicieron posible, en el Paleozoico medio, el surgimiento de la vida en ambientes terrestres. Existen evidencias geoquímicas de que hace aproximadamente 2.2 billones de años, el oxígeno de la Tierra alcanzó niveles comparables a los que se encuentran en la atmósfera actual como consecuencia de la oxigenación fotosintética de las algas marinas unicelulares (fitoplancton). Desde entonces, los cambios en la producción primaria oceánica, ligados a cambios en los ciclos bioquímicos globales, han influenciado profundamente a la geoquímica de la Tierra (Falkowski *et al.* 1998, Field 1998).

En el océano contemporáneo, la fijación fotosintética del carbono por el fitoplancton marino es el factor decisivo para la formación de aproximadamente 45 gigatonnes de carbono orgánico por año. Estos procesos se encuentran estrechamente ligados con los niveles de carbono atmosférico a través de los intercambios atmósfera-océano, de tal modo que los flujos entre el

océano y la atmósfera influyen y controlan las mezclas en las aguas profundas, en los flujos de nutrientes hacia y dentro del océano, en la estructura de las cadenas alimenticias y, por ende, en la propia ubicación de las regiones pesqueras más importantes para la satisfacción de la demanda de alimentos para la población humana (Fasham *et al.* 2001).

En diferentes escalas de tiempo dos mecanismos influyen en la concentración de CO_2 en sus diferentes reservorios: los patrones de circulación oceánicos y la productividad de la biomasa marina. Estos complejos mecanismos marinos físicos y biológicos son los responsables básicos del mantenimiento de la vida oceánica y de los equilibrios globales que hacen posible la vida en la Tierra. Esto es así porque la tierra, el océano y la atmósfera forman parte de un mismo sistema. Son subsistemas acoplados, que se afectan recíprocamente, de tal modo que los desequilibrios en uno tienen un alto potencial de efectos sobre los otros.

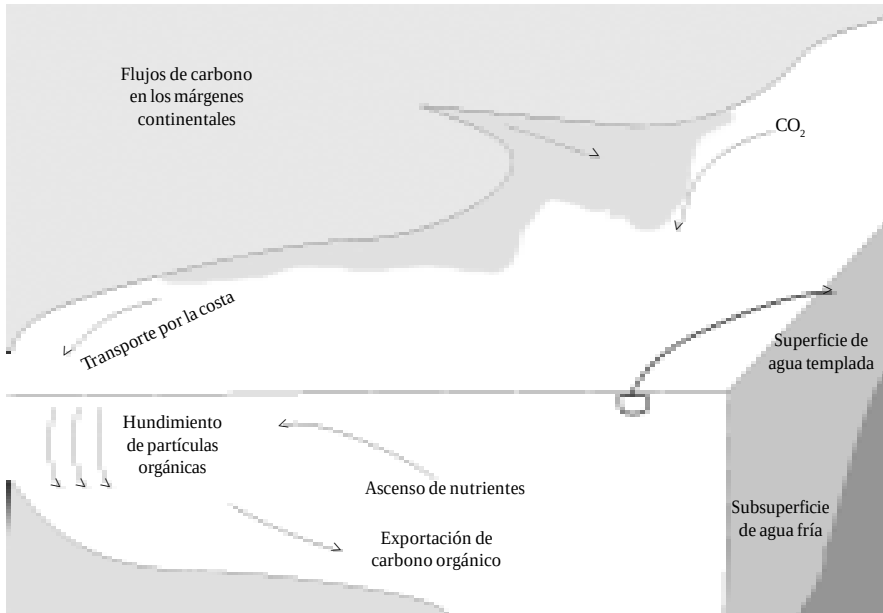
Un amplio número de procesos físicos –corrientes geostróficas, giros ciclónicos y anticiclónicos, surgencias y mareas, corrientes fluviales– controlan el transporte de nutrientes y materiales en el océano desde las aguas superficiales hasta las capas más profundas y los sedimentos del piso oceánico, jugando un papel decisivo en sus ciclajes en formas orgánicas e inorgánicas. Ninguna gota de agua del océano queda al margen de la influencia de estos procesos. Estos mecanismos de transporte y distribución se conocen como “la bomba física” (Vidal *et al.* 1985).

Estrechamente conectado con estos procesos físicos se encuentra “la bomba biológica”, por el cual la vida oceánica controla la concentración atmosférica del bióxido de carbono (CO_2). Hoy se sabe que el nivel de CO_2 en la atmósfera (700 mil millones de toneladas métricas) se mantiene gracias a los intercambios con los grandes reservorios marinos (35 mil billones de toneladas métricas). Con 50 veces más carbono que la atmósfera, el océano contiene el más grande reservorio de carbono activamente circulando en la biosfera (Fasham *et al.* 2001, figura 1).

El hecho es que sin la acción de estas funciones y servicios ecológicos, el nivel del carbono atmosférico liberado por el océano podría incrementarse dramáticamente de dos a tres veces sobre su valor presente. Es sólo la acción de estos grandes procesos físicos y biológicos lo que evita que esto pueda ocurrir (Norse 1993).

Dos factores controlan la productividad marina: la tasa de renovación de nutrientes y los montos de luz disponibles. Puesto que ambos varían marcadamente en el espacio y el tiempo, la productividad primaria del océano está lejos de ser uniforme. Las aguas bien iluminadas en el centro de las cuencas oceánicas generalmente tienen baja productividad primaria por-

FIGURA 1- PROCESOS BIOFÍSICOS GLOBALES Y FLUJOS DE NUTRIENTES EN LA ZONA COSTERA Y LITORAL



Fuente: Fashan *et. al.* 2001

que los materiales ricos en nutrientes se sumergen por debajo de la zona eufótica y sus nutrientes no son reemplazados con rapidez, lo que los vuelve productivamente pobres. Las concentraciones de nutrientes son mucho más altas en las plataformas continentales, donde hay abundantes fuentes de nutrientes y vigorosas mezclas verticales conocidas como surgencias (ver fig. 1).

Estos poderosos mecanismos físicos de fertilización de las aguas marinas que son las surgencias ocurren generalmente cuando los vientos dirigen las aguas superficiales hacia las costas, entonces las aguas frías subsuperficiales ricas en nutrientes reemplazan a las aguas superficiales. Las surgencias retornan nutrientes a la zona fótica cuando éstos son liberados por la descomposición de la materia orgánica hacia las aguas profundas. El resultado es

una alta productividad primaria, cinco a diez veces mayor que la del océano abierto. No solamente la productividad primaria es alta en las zonas de surgencias, sino que por su corta y eficiente cadena de alimentos el rendimiento pesquero es mucho mayor por unidad de producción primaria. Por ello muchas de las mayores pesquerías se localizan en las plataformas continentales o en áreas de surgencias. Aunque estas zonas cubren solamente el 0.1% del océano, contribuyen con una tercera parte de las capturas en el mundo, volviéndolas excepcionalmente importantes para la productividad oceánica. Por ello, las costas y las áreas de surgencias, que constituyen una pequeña fracción del reino marino, son en cambio desproporcionadamente importantes para la población humana y otros animales que requieren de densas concentraciones de peces para alimentarse. Paradójicamente, estas enormes agregaciones de peces en áreas restringidas hacen a la vida marina especialmente vulnerable a la sobreexplotación y a cualquier otra clase de alteración física o química (Norse *op. cit.*).

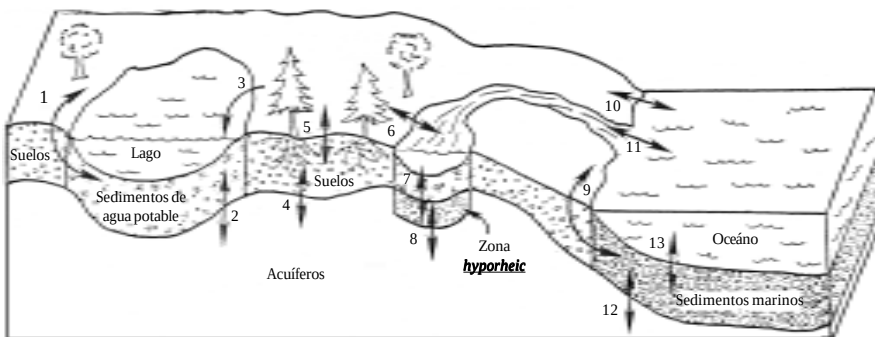
Los ritmos periódicos de inmersión y emersión de las mareas controlan la vida en el litoral marino (Britton y Morton 1989). Las mareas proveen de agua y nutrientes esenciales que hacen posible la rica y variada vida en los estuarios, planicies de inundación y humedales, que son las zonas más productivas de la costa. Junto con los vientos, las olas y las mareas son los mecanismos físicos responsables de la formación de los múltiples habitats costeros. Todos los ritmos de la vida costera están regulados por sus servicios ambientales. Salvo en las zonas de las plataformas de la Florida y Texas-Luisiana, donde las mareas son mixtas, prácticamente en todas las otras áreas del Golfo de México prevalecen las mareas diurnas. En la Sonda de Campeche se reportan mareas semidiurnas. Relativamente tranquilo en relación con otras áreas marinas del continente americano, el Golfo recibe la influencia de mareas cuyas oscilaciones no son mayores de 30 a 60 cm. Este rango relativamente pequeño ejerce, sin embargo, efectos decisivos sobre los ambientes vitales del litoral. A lo largo de la línea costera del Golfo de México existen numerosas bahías, estuarios, humedales y planicies que no tienen una conexión directa con el mar, sino a través de canales activados por el movimiento de las mareas. Diariamente las mareas permiten el flujo y el reflujo de masas de agua, de nutrientes y materiales desde los humedales y manglares que bordean el litoral hasta las zonas de producción como praderas de pastos marino, arrecifes y otros hábitats críticos de la costa y viceversa. Estos movimientos hacen posible la migración de millones de organismos hacia las zonas de alimentación, reproducción, crianza o refugio. Gracias a esta función de las mareas la vida se

mantiene en el complejo organismo que es el Golfo de México.

No obstante que sólo representan el 7% de la superficie terrestre, las costas se encuentran entre los más valiosos y vulnerables hábitats del planeta (Jickells 1998). Sus numerosas funciones y servicios ambientales son insustituibles para la existencia humana. Grandes concentraciones de nutrientes llegan a esta zona de transición entre la tierra y el mar por diferentes vías: desde las zonas continentales, por los ríos; desde los mantos subterráneos continentales, por la incorporación de partículas que fluyen a las zonas de intercambio de masas de aguas saladas y dulces; desde la plataforma continental, por procesos de sedimentación, respiración y denitrificación y desde las aguas oceánicas, a través de las corrientes, mareas y otros fenómenos meteorológicos, como producto de la respiración en los procesos fotosintéticos desencadenados en los mares adyacentes (figura 2).

La zona comprendida entre la plataforma continental oceánica, la costa y la tierra se caracteriza por una alta variedad de gradientes y ecotonos

FIGURA 2. ZONAS DE TRANSICIÓN CRÍTICAS



Fuente: ???

regulados por cuatro tipos básicos de procesos: físicos, biogénicos, climáticos y fisicoquímicos. Los procesos físicos (mareas, olas y surgencias, entre los mayores) establecen ecotonos paralelos a la línea costera. Biogénicamente,

los gradientes se producen por la interacción de organismos vivos con estructuras físicas, formando hábitats marinos, costeros y terrestres característicos, como arrecifes coralinos, pastos marinos, humedales costeros, zonas estuarinas y planicies de inundación. Los gradientes climáticos son responsables de las diferentes respuestas de los organismos a cambios físicos en los ambientes terrestres y marinos de una región hidrológica, cuyas escalas temporales varían de minutos hasta cientos de años, finalmente, los gradientes fisicoquímicos establecen condiciones de oxigenación, salinidad y temperatura, capaces de regular y controlar los desplazamientos espaciales y temporales de los organismos en los distintos hábitats.

Estos gradientes se expresan en complejas jerarquías de ecosistemas, cada uno con asociaciones bióticas características: biomas marinos, biomas litorales, biomas de mareas, biomas de planicies costeras y biomas de montañas. A escala del paisaje hidrológico regional, los ambientes marinos y costeros presentan las mayores diversidades de formas de vida del planeta. Ellos albergan la más alta diversidad de vertebrados de todos los niveles taxonómicos: 3 clases, 50 órdenes, 445 familias y aproximadamente 22,000 especies. Una alta proporción vive en la plataforma continental marina, pero aproximadamente 8,500 especies (el 40%) son de aguas dulces. De las 13,200 especies marinas, casi el 80% son habitantes del litoral costero (Ray 1991).

Existen, pues, interacciones críticas y recíprocas entre los ambientes terrestres, costeros y marinos. La biomasa y los nutrientes (nitrógeno, fósforo, carbono y micronutrientes) derivados del mar son exportados a las aguas dulces y a las áreas continentales y viceversa. Estos subsidios refuerzan la productividad global, estableciendo ligas entre el océano, las aguas dulces de las planicies costeras y las cuencas altas de los ríos, sosteniendo una compleja e intrincada cadena de alimentos que intersecta horizontalmente a la tierra y el mar. Cada año, y en diferentes estaciones, miles de millones de peces migran de las zonas marinas a los estuarios, a las planicies de inundación y a las zonas altas de los ríos y estuarios a desovar, crecer, alimentarse y buscar refugio (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, Yáñez-Arancibia y Day 1988, Polis *et al.* 1995, Polis 1996, Polis *et al.* 1997, Wilson *et al.* 1998).

Las interconexiones entre el océano, la costa y el continente se extienden más allá de los sistemas acuáticos, abarcando la zona poco conocida de los suelos y sedimentos terrestres, dulceacuícolas, costeros y marinos. Recientemente la ciencia ha logrado reunir información para probar que los sedimentos de los lagos, ríos, humedales, estuarios, lagunas costeras, litorales y del piso oceánico integran un continuum de ecosistemas estrechamente

interconectados. Existen conocimientos que nos hacen percibir que las funciones, los servicios y las ligas entre estos habitats son esenciales para el sostenimiento de la vida en la Tierra (Brussard 1997). Una amplia cadena de funciones y servicios hace de los sedimentos un centro crítico y dinámico de procesos ecosistémicos globales como el reciclaje de nutrientes, liberación de nutrientes hacia las plantas y algas, formación y descomposición de materia orgánica, fijación de nitrógeno, producción y consumo de metano, formación y estabilización de suelos, oxigenación de suelos y sedimentos, producción de ácidos orgánicos, descomposición de rocas, transporte y degradación de contaminantes, fuente de alimentos para una enorme cantidad de organismos y provisión de agua limpia. Los suelos y sedimentos oceánicos son los mayores almacenes de carbono en forma de materia orgánica de la Tierra. Los sedimentos de los cuerpos dulceacuícolas filtran el agua y la hacen disponible para los seres humanos, manteniendo los más bajos niveles de carbono en comparación con los ecosistemas litorales y oceánicos a los que se encuentran conectados. Los suelos continentales aeróbicos contienen dos veces más materia orgánica que la que se encuentra en la vegetación terrestre (Wall *et al.* 1997, Wall 1999, Snelgrove 1999, Groffman y Bohlen 1999).

Todos los materiales y minerales que se procesan en el mar proceden originalmente de los continentes (Cifuentes *et al.* 1986). En jornadas de miles de millones de años los ríos han prestado servicios ambientales vitales a la Tierra transportando hacia el océano los productos de la erosión (sedimentos, minerales y nutrientes) causada por los diluvios y las lluvias torrenciales que se han precipitado a lo largo de las épocas geológicas (Jonson *et al.* 1995). Hoy se estima que la lluvia y los ríos aportan al océano unos 80 millones de toneladas de nitrógeno orgánico en forma de amoníaco y nitrato, aunque presumiblemente sólo 10 millones llegan hasta el fondo del mar en forma de nitrógeno orgánico y poco se sabe acerca de las rutas y los paraderos de los volúmenes restantes.

Estas estrechas relaciones entre las funciones y los servicios ecológicos del mar y la vida en la Tierra se han acentuado en el transcurrir del tiempo geológico y biológico; y han terminado por transformarse en una dependencia crítica en el tiempo histórico humano.

Hoy nos resulta muy claro que la población humana necesita en un alto grado de los productos marinos para satisfacer sus requerimientos básicos de alimentación. El 16% de todas las proteínas animales consumidas por la población humana provienen del océano. El valor total de las pesquerías del mundo se estima en 80 mil millones de dólares al año. Estas actividades

vinculadas con la explotación de los recursos marinos proporcionan empleos directos a una población estimada entre 15 y 20 millones de pescadores que en 90% son ribereños, a los que hay que agregar unos 180 millones de empleos indirectos generados por la actividad pesquera (FAO 1997, USA 1998), y otro porcentaje considerable de los productos del mar que se utiliza para la elaboración de fertilizantes agrícolas, alimentos para la ganadería y con propósitos medicinales, que representan fuentes de empleo e ingresos adicionales para la población humana.

Lo que resulta menos evidente es la dependencia de la población humana de una compleja red de servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas oceánicos, costeros y fluviales. Sin embargo, cada vez en mayor medida, la humanidad necesita para sobrevivir de estos servicios ecológicos. Es hasta hace poco que se ha llamado la atención sobre estos valores indirectos poniendo el acento en la estimación de su valor económico (al parecer la única manera de llamar la atención de los dirigentes y planificadores de un sistema de producción y de vida basado en las valoraciones del mercado), situándolos en 5.2 billones de dólares anuales para los del océano abierto y en 11.7 trillones de dólares para los servicios proporcionados por los ecosistemas costeros (Costanza *et al.* 1997).

En nuestros días ya no podemos pensar en los problemas ecológicos del océano, las costas y las cuencas fluviales terrestres como cuestiones separadas, por más que una tradición académica basada en las disciplinas nos hayan educado en esta creencia. La mayoría (si no es que todas) las perturbaciones de los ecosistemas marinos, aun las del mar profundo, tienen su origen a miles de km en las cuencas altas, donde la destrucción de bosques y otros cambios en los usos del suelo desencadenan procesos que repercuten en la calidad de los flujos que se descargan al mar (Swanson *et al.* 1998). Es un grave error, entonces, pensar en planes de manejo de ambientes costeros o marinos sin tomar en cuenta las estrategias que se utilizan tierra adentro.

Por ello una estrategia orientada al uso sostenible de los mares patrimoniales de México debe basarse en el conocimiento y la protección de sus grandes servicios ambientales y en la consideración del papel que juegan estos servicios en el mantenimiento del capital ecológico del país.

EL GOLFO DE MÉXICO: UN ECOSISTEMA ALTAMENTE INTEGRADO, FRÁGIL Y VULNERABLE

El Golfo de México es de los sistemas ambientales más diversos y ricos de la

Tierra. Por sus dimensiones y características de cuenca semicerrada es el gran mar interior del Atlántico tropical. En una cuenca de tan sólo $1.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, que almacena cerca de $2.3 \times 10^6 \text{ km}^3$ de agua, se suceden una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que hacen del Golfo un sistema altamente acoplado de ecosistemas marinos, costeros y continentales. Tales procesos y la naturaleza de sus interconexiones hacen del Golfo un enorme almacén de energía del sistema tierra- atmósfera- océano. Esta gigantesca bomba física es accionada por un complejo mecanismo constituido por grandes corrientes marinas y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos, surgencias, tormentas tropicales, mareas y flujos continentales. La acción de estos procesos hidrodinámicos lo dotan de una variada gama de ecosistemas marinos, costeros y fluviales. En pocos lugares de la Tierra se puede encontrar la gran diversidad de ecosistemas templados, subtropicales y tropicales que caracterizan al Golfo de México.

La gran Corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos asociados constituyen los mecanismos primarios que movilizan y distribuyen las masas de agua en el Golfo. Estos enormes flujos – cientos de veces mayores que los de las descargas fluviales continentales – juegan un papel decisivo en la circulación y en la renovación de sus masas de agua, en sus balances térmicos y salinos, en su climatología, en la dinámica de sus procesos costeros y en los equilibrios de los sistemas marinos y continentales (Monreal y Salas 1997, De la Lanza 1991).

La Corriente del Lazo transporta aguas caribeñas, nutrientes y organismos, hacia el Golfo Oriental a través de los estrechos de Yucatán y de la Florida, en volúmenes estimados entre $29\text{-}33 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, en tanto que los anillos que se desprenden de esta gigantesca corriente movilizan hacia el interior de la cuenca (norte, occidente y sur) volúmenes estimados entre $8\text{-}10 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esta gigantesca bomba física determina no sólo la productividad local, sino que también influye sobre la estirpe y la diversidad de especies de toda la cuenca del Golfo. La alta diversidad de especies en los sedimentos marinos profundos del Golfo se encuentra estrechamente asociada a estos procesos hidrodinámicos (Flores Coto *et al.* cit. por Arriaga *et al.* 1998).

La influencia de esta bomba física determina un gradiente de productividad y biodiversidad altamente correlacionada con las descargas de los ríos (Lara-Domínguez *et al.* 2002). Sin embargo, los mecanismos con los que opera la bomba biológica en las regiones de alta productividad son todavía muy deficientemente conocidos. Se sabe que al menos una parte de las aguas oceánicas del Golfo de México son áreas oligotróficas y biológicamente pobres. Las cuantificaciones de clorofila, nitratos, fosfatos y productividad

primaria en los centros de la Corriente del Lazo y sus anillos (más del 50% del área total del Golfo, durante más de 6 meses del año), parecen confirmar esta situación. Las aguas superficiales de los centros de los anillos, a profundidades de más de 100 m muestran bajos niveles de nitratos y los stocks de clorofila son igualmente bajos (20 mg/m), la productividad primaria tiene registros de $0.4 \text{ mg Cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$. Los niveles de la biomasa zooplanctónica son de 4 ml por cada 100 m^{-3} durante la noche en la capa superior a los 200 m. Lo que revela una situación relativamente pobre (Biggs 1992).

En otras regiones, como las plumas de los ríos Misisipi y Grijalva-Usumacinta, en la Plataforma de Luisiana-Texas y en la Plataforma de Yucatán, así como en las fronteras de la Corriente del Lazo y de sus anillos, se presentan elevadas concentraciones de nutrientes y la biomasa fitoplanctónica es muy alta. Por ejemplo, en las costas de Luisiana-Texas y en las del sureste de México, se han reportado productividades primarias de $250\text{-}500 \text{ mg Cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$. En estas zonas se producen fenómenos de surgencias y cascadas (Bogdanov *et al.* 1968).

La distribución de larvas de algunas de las pesquerías más importantes del Golfo han sido asociadas con los bordes de la Corriente del Lazo. Las fronteras de esta Corriente son zonas altamente dinámicas, con meandros y fuertes convergencias y divergencias, capaces de concentrar grandes volúmenes de organismos planctónicos, incluyendo huevecillos y larvas. En estas áreas, (Richards *et al.* 1989) registraron el desplazamiento de altos volúmenes de plancton con promedios de $87 \text{ ml} \times 1,000 \text{ m}^{-3}$ y altas densidades de larvas con promedios de $458 \text{ ml} \times 1,000 \text{ m}^{-3}$.

Geohidrológicamente, el Golfo de México es una provincia distributiva integrada por un área sedimentaria del orden de $5.4 \times 10^6 \text{ km}^2$ y por 159,890 km de ríos entre los que sobresalen dos de los mayores hidrosistemas de Norteamérica: el sistema Misisipi-Atchafalaya, en los Estados Unidos de América; y el Grijalva Usumacinta, en México. El 36% del área total de la provincia es agua y el 64% restante son formaciones continentales. En total, 38 grandes ríos descargan un volumen global de alrededor de $1,110 \times 10^9 \text{ m}^3$ año de aguas dulces al Golfo, acarrear 775 millones de toneladas de detritos y alrededor de 208 millones de toneladas de materiales disueltos (Moody 1967).

Del total de aguas dulces descargadas al Golfo por sus ríos, $866 \times 10^9 \text{ m}^3$ año, corresponden a las cuencas estadounidenses (con excepción del río Bravo), $229 \times 10^9 \text{ m}^3$ año provienen de los ríos mexicanos y $12 \times 10^9 \text{ m}^3$ año corresponden a las descargas estimadas del río Bravo. El Misisipi y el

Atchafalaya contribuyen con el 55% del total. El Grijalva-Usumacinta contribuye solamente con el 10%. El río Bravo cubre una cuenca de drenaje de 472,000 km², la segunda más grande del Golfo. A pesar de la amplitud de esta área de drenaje, el río Bravo tiene una de las más pequeñas tasas de descarga de flujos al Golfo, aproximadamente $0.03 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Solís y Powell 1999).

La modificación de los patrones naturales de drenaje de los ríos por las actividades humanas ha alterado dramáticamente los flujos de agua dulce, sedimentos y nutrientes que se exportan hacia el Golfo, privando a este sistema de uno de sus mayores servicios ecológicos. Los cambios en la cantidad, los períodos de descarga y la calidad de los flujos de aguas dulces hacia el Golfo de México han sido drásticos en los últimos años. Las presas en las cuencas altas, obras de canalización y desviación de cauces, construcción de carreteras y otras vías de comunicación, ocupación de pantanos por asentamientos humanos y por el reclamo de tierras para usos agrícolas y urbanos, han alterado profundamente los patrones de circulación del agua.

El represamiento de los mayores sistemas fluviales en la región del Golfo de México ha sido un evento cataclísmico en la vida de estos hidrosistemas (Gup cit. por Ligon *et al.* 1995). Para estos dinámicos ambientes, la interrupción de sus flujos naturales ha significado la eliminación de algunas de sus más vitales funciones y servicios. El hecho es que el hábitat físico es críticamente importante para estos hidrosistemas y puede cambiar más fácil y rápidamente que en otros ecosistemas. Cuando se construye una presa, se presenta de inmediato una alteración de los flujos de agua, sedimentos y nutrientes, lo que propicia cambios en las estructuras físicas, hidráulicas y biológicas de toda la región hidrológica a la que el río pertenece. Visibles o no, estos cambios son generalmente dramáticos y desastrosos.

Pero prácticamente cualquier actividad humana (los asentamientos humanos, las obras portuarias, la construcción de vías de comunicación, la ocupación de bosques por las actividades agrícolas, especialmente en zonas de laderas) en las cuencas hidrológicas que vierten sus aguas al mar, exponen el suelo a la erosión e incrementan dramáticamente el acarreo de sedimentos y contaminantes de la tierra a las corrientes fluviales y finalmente hacia el mar. Así los ecosistemas marinos se encuentran hoy amenazados por los usos del suelo que se llevan a cabo a cientos y hasta miles de kilómetros en las cuencas altas (Clark 1996, Escobar 2002).

Los sedimentos suspendidos, especialmente las partículas finas, impiden la respiración de organismos, obstruyen los órganos alimenticios de la fau-

na litoral y marina y reducen la disponibilidad de la luz para la fotosíntesis. A menudo estas descargas cubren las áreas donde se lleva a cabo la fotosíntesis, sepultan los organismos bénticos y vuelven al sustrato rocoso y coralino imposible para la colonización. La deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas y la erosión resultante han degradado estuarios, bancos de pastos marinos y arrecifes coralinos en diferentes regiones del Golfo de México (Zárate-Lomelí *et al.* 1999).

Los casos de los sistemas Misisipi-Atchafalaya y del Grijalva-Usumacinta son ejemplos típicos de esta situación (Reyes *et al.* 2002).

El río Misisipí se encuentra entre los diez mayores ríos del mundo en términos de su capacidad de descarga de aguas dulces y sedimentos continentales (Millman y Meade 1983). Es, de lejos, la fuente dominante de flujos de sedimentos, nutrientes y contaminantes al Golfo de México: el Misisipi descarga sus aguas hacia los humedales costeros adyacentes y hacia el océano, donde forma un enorme estuario extendido y una pluma que penetra en una amplia extensión del océano abierto. Estos flujos contribuyen al sostimiento de las mayores y más productivas pesquerías estadounidenses ((Pennock *et al.* 1999).

Los flujos del sistema Misisipi-Atchafalaya hacia el Golfo, estimados en 577 km³ año, han cambiado sus rutas de un modo significativo en la última centuria. Históricamente estos flujos se incorporaban al Golfo a través de dos vías: el agua pasaba por un complejo sistema de bahías y una amplia planicie costera y por el canal principal del río Misisipi. Hoy, debido a las obras de nivelación y canalización en la corriente principal y en su planicie de inundación adyacente, el 65% de los flujos se realizan de un modo directo hacia la plataforma continental. Lo que ha cambiado drásticamente la manera en que los nutrientes y sedimentos se incorporaban a los distintos hábitats costeros y marinos (Turner y Rabalais 1996 y 2003).

Las concentraciones de nitrato-nitrógeno en los flujos del río Misisipi se incrementaron dramáticamente a lo largo del siglo XX y especialmente a partir de la década de 1950, conforme se intensificaron las actividades agrícolas en el Alto Misisipi y se incrementaron las descargas urbanas a lo largo del río (Turner y Rabalais 1991, Bianchi *et al.* 1999). En la última centuria se han cuadruplicado las concentraciones de nitratos descargados por el río al Golfo. Estos incrementos en las descargas de nutrientes han degradado la calidad del agua y propiciado el crecimiento del fitoplancton y de macroalgas, incluyendo algunas especies anóxicas y tóxicas. Esto ha provocado incrementos en la turbidez de las aguas, el agotamiento del oxígeno de las aguas costeras, la

pérdida de hábitats, la alteración de la estructura y funcionamiento de ecosistemas de la plataforma continental adyacente y el decrecimiento de la biodiversidad marina. Los cambios en los niveles de nitrógeno y fósforo han exacerbado la eutrofización de las aguas costeras, favorecido la proliferación de algas tóxicas (mareas rojas, verdes y cafés), agravado los niveles de oxígeno hasta la hipoxia y la anoxia y alterado la estructura de las redes alimenticias marinas (Rabalais *et al.* 2002, Turner y Rabalais 2003).

La eutrofización de las aguas costeras es uno de los mayores problemas globales que afectan hoy a las aguas de grandes regiones del Golfo de México y cuyas causas directas son los intensos usos agropecuarios de las cuencas vertientes, el incremento de los centros urbanos y portuarios en áreas críticas de los estuarios y lagunas costeras. Las actividades humanas han alterado los ciclos globales del nitrógeno y del fósforo y han incrementado la disponibilidad de estos dos nutrientes en los ecosistemas marinos (Mitsch *et al.* 2001, Rabalais *et al.* 2002, Peierls *et al.* 1991)

En el caso del Grijalva-Usumacinta, aunque menos estudiado que el Misisipi, las alteraciones también han sido drásticas a partir de los intensos procesos de deforestación de sus cuencas altas, del sistema de presas construidos sobre el río Grijalva (las mayores de México), de la ocupación de sus planicies de inundación por actividades ligadas a la agricultura comercial de plantación y la ganadería de bovinos, del explosivo crecimiento de la población asentada en sus planicies y la ocupación humana de sus pantanos, estuarios y lagunas costeras y de los intensos desarrollos portuario-industriales vinculados con sus actividades petroleras. Por sus características geomorfológicas y climáticas, se trata de un hidrosistema integrado por ríos rápidos y dinámicos.

El Grijalva-Usumacinta posee un enorme valor ecológico en términos de sus servicios ambientales: destaca entre éstos su altísimo potencial de acarreo de sedimentos y nutrientes hacia las zonas bajas, costeras y marinas. Este poderoso dinamismo originado por la cercanía de los sistemas montañosos que atraviesan por el oriente al territorio mexicano y se unen a las cordilleras centroamericanas, y por la magnitud de la precipitación pluvial (una de las más altas en el mundo: su media anual es de 2,143 mm, dos veces el promedio nacional; en la Sierra de Chiapas y en la de la Lacandonia, las precipitaciones sobrepasan los 4,000 mm y llegan en algunas partes hasta los 5,000 mm), lo dotan de una alta capacidad para la formación de planicies aluviales. Comparativamente, esta capacidad de formación de planicies es seis veces mayor que la del sistema del Misisipi y diez veces más alta que la

del río Bravo (Moody 1967).

Existe una íntima, delicada y compleja conexión entre sistemas acuáticos continentales, costeros y marinos. Los flujos continentales enriquecen con sedimentos y nutrientes los pisos de la Sonda de Campeche. Esta descargas del sistema Grijalva-Usumacinta y las grandes lagunas costeras y humedales adyacentes, convierten al área en un habitat ideal de especies demersales y de una rica y variada fauna litoral. Los análisis en períodos largos de las pesquerías en el sur del Golfo de México y en la Sonda de Campeche realizados por Soberón-Chávez y Yáñez-Arancibia (1985), cuantifican y demuestran la alta correlación entre las capturas y las descargas fluviales ($r = 0.758$, para Tabasco; $r = 0.932$, para Campeche y $r = 0.922$, para Tabasco + Campeche). Las correlaciones entre capturas y extensión de las lagunas costeras y vegetación costera resultaron igualmente estrechas.

Las actividades humanas emprendidas en las últimas décadas han afectado el patrón natural de flujos del sistema Grijalva-Usumacinta y sus mecanismos de transferencias energéticas y de materiales. Las presas construidas con propósitos múltiples como controlar inundaciones en las cuencas bajas, y generar energía (en las cuencas altas) interfirieron con su potencial de acarreo de sedimentos, afectando su capacidad de formación de suelos y obstruyendo sus funciones y servicios ecológicos críticos de transportación de nutrientes y minerales hacia las planicies de inundación, las costas y la Sonda de Campeche. Los niveles de sólidos en suspensión descendieron dramáticamente a partir de 1974 (Casco Montoya 1979). Estos desequilibrios se reflejaron con el tiempo en los balances de la zona fluvio-marina y en la estabilidad del frente costero. La dinámica acción de las corrientes litorales y las tormentas tropicales prevalecieron sobre las acciones compensadoras de las descargas fluviales. Playas y barreras arenosas han sufrido intensos procesos erosivos y se encuentran en franco estado de regresión, afectando a pesquerías litorales, como las del ostión de las lagunas costeras tabasqueñas, en otros tiempos poseedoras de los bancos naturales más importantes de esta región del Golfo de México (Ortiz-Pérez 1988).

Entre sus patrimonios naturales, el Golfo de México cuenta con uno de los más ricos, extensos y productivos ecosistemas, no sólo del Hemisferio Occidental, sino de toda la Tierra: sus humedales costeros. Aún hoy, después de pérdidas significativas de este irremplazable patrimonio ecológico, más de 14,000 km² bordean los estuarios y lagunas costeras del Golfo. De este total, aproximadamente 476,841 ha son bosques de manglar y 974,500 ha son marismas herbáceas. La Península de la Florida es dominada por

unas 219,610 ha de manglar. Virtualmente todo el litoral costero mexicano se encuentra ocupado por humedales, especialmente la región de la Laguna de Términos, que contiene una extensión de bosques de manglar mayor que todas las que poseen las costas estadounidenses del Golfo de México (unas 250 mil ha) (Bianchi *et al.* 1999).

El Golfo de México es también una de las zonas estuarinas más importantes de la Tierra. Más del 50% de los litorales del Golfo están constituidos por estuarios. A su número y a sus notables extensiones se agregan el variado rango de sus características climáticas (de tropicales a templadas y de húmedas a áridas) y la alta complejidad que presentan sus interconexiones marinas y fluviales (Contreras 1988, Deegan *et al.* 1986).

La bomba física que moviliza el potencial energético del Golfo de México—corrientes marinas, fuerzas hidrológicas continentales, la acción de los vientos y las mareas— es la reponsable directa e indirecta de las propiedades que hacen de los estuarios las áreas biológicamente más productivas, los sistemas más importantes de soporte de las pesquerías y las más grandes zonas de refugio de la fauna silvestre del litoral costero del Golfo de México. 39 grandes zonas estuarinas bordean desde la Florida a Yucatán el litoral costero del Golfo.

Su alta diversidad de factores ambientales, hábitats, conexiones internas e interacciones con los ambientes adyacentes (ríos, planicies de inundación y plataforma continental), dotan a estos ecosistemas de una elevada riqueza biótica. La productividad primaria neta de los ecosistemas lagunares-estuarinos se ha estimado entre 500 y 4,000 g peso seco/m²/año (Yañez-Arancibia 1986).

Se estima en más 300 especies la ictiofauna que habita temporal o permanentemente los estuarios mexicanos, de los cuales más del 50% son eurihalinas del componente marino, alrededor del 25% son estenohalinas marinas y el resto son temporales y permanentes estuarinas (Reséndez-Medina y Kobelkowsky-Díaz 1991).

Las funciones, los procesos y los servicios ambientales proporcionados por estos ecosistemas han sido profundamente afectados por las actividades humanas. En el Golfo Oriental, los desarrollos urbanos y la conversión de los humedales a los usos residenciales y recreativos han alterado la cantidad y la calidad de agua descargada a los estuarios especialmente en la costa oeste de la Florida. En el Golfo Norte se ha incrementado la erosión y la contaminación química de los estuarios y zonas cada vez más amplias del mar abierto sufren fenómenos de anoxia e hipoxia, causando grandes mortandades de peces de

alto valor alimenticio, especialmente en las áreas de influencia del río Misisipi. En el Golfo Noroccidental, hacia el sur de Texas, los ríos han sido regulados, y la pérdida de aportaciones de aguas dulces al Golfo se ha reflejado en la alteración de las cadenas de alimentos y en la producción pesquera. En el Golfo Sudoriental, especialmente en los extensos y ricos ecosistemas marinos, costeros y continentales de la región del Grijalva-Usumacinta, estos habitats han sufrido los efectos de tres actividades humanas: los usos hidroeléctricos y agropecuarios de las cuencas, la ocupación de humedales y la explotación petrolera en las cuencas y costafuera.

Los cuatro mayores sistemas fluviales que descargan al Golfo de México (los ríos Pánuco, Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta) muestran severos deterioros de sus funciones y servicios ambientales. Los desarrollos portuario-industriales en la cuenca baja del Pánuco han producido serios problemas de contaminación de suelos, aguas superficiales, subterráneas y sedimentos en sus planicies, estuarios y lagunas costeras. En la cuenca baja del Papaloapan se han detectado concentraciones de plaguicidas, como el DDT, en sedimentos en niveles de 60.7 ppb, considerados los más altos registrados en el país; en peces (2,477.6 ppm: *Oreochromis niloticus*) y en crustáceos (1,383 ppm: *Penaeus* sp.). En la cuenca del río Coatzacoalcos se han registrado niveles de hidrocarburos 680 ppm, diez veces superiores a las normas de la UNESCO para aguas no contaminadas (70 ppm). Altos niveles de hidrocarburos también se han detectado en los sedimentos de la laguna de Mecoaacán, en Tabasco, con registros de 88 ppm; y en laguna de Términos, en Campeche, con concentraciones de 85 ppm. Los niveles de hidrocarburos detectados en las aguas superficiales de la Sonda de Campeche, (48 ppb), son los más altos del Golfo de México (Botello *et al.* 1996)

POR UNA POLÍTICA CIENTÍFICA ORIENTADA AL USO SOSTENIBLE DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Hoy las actividades humanas tienen la capacidad de producir en forma simultánea cambios globales, regionales y locales. La sustentabilidad ambiental del Golfo de México se encuentra seriamente amenazada por estos cambios.

Los problemas ambientales a nivel global, regional y local afectan en la actualidad funciones y servicios ambientales críticos del Golfo de México, poniendo en peligro sus contribuciones a la sustentabilidad de la biosfera y la población humana que depende directamente de sus recursos. Sus soluciones requieren de nuevas estrategias en la generación y aplicación de los conocimien-

tos en distintos campos de las ciencias marinas, costeras y terrestres. Estas estrategias están íntimamente conectadas con los servicios globales del Golfo, el mantenimiento de su biodiversidad y el manejo sostenible de sus servicios ambientales. Estos tres campos requieren de conocimientos generados a partir de ejercicios interdisciplinarios y transdisciplinarios que comprendan tres escalas diferentes en el espacio y en el tiempo: local, regional y global.

Una nueva visión sobre el Golfo, concibiéndolo como un gran organismo con ecosistemas marinos, costeros y terrestres altamente acoplados, tiene que partir de la capacidad de la comunidad científica para integrar, sintetizar y hacer disponible la información sobre los procesos globales y los que ocurren especialmente en las interfases entre la tierra, la costa y el mar. Una información de síntesis es crucial para entender la conectividad entre estas grandes unidades ambientales críticas. El establecimiento de una nueva conexión entre las disciplinas volverá al conocimiento ecológico más accesible a los grandes sectores de la población, a los planificadores de la política científica y tecnológica y a los tomadores de decisiones.

Una estrategia basada en el conocimiento de las interconexiones entre las cuencas hidrológicas, la costa y el mar, para el Golfo de México se apoya en dos cuestiones fundamentales: su elevada contribución al conocimiento básico de las funciones y los procesos que determinan y controlan su productividad y hacen posible sus servicios ambientales, y su alto valor estratégico para el manejo sustentable de una de las regiones más ricas de la biosfera.

Ligar nuestros conocimientos en los tres dominios – tierra, costa y mar – poniendo énfasis en sus funciones, procesos, servicios ambientales y sus interconexiones, requiere de cambios en nuestras actuales estructuras científicas, hoy orientadas hacia las disciplinas y hacia los conocimientos parciales. Se trata de mejorar nuestras capacidades para responder a cuestiones críticas, tales como: ¿Qué procesos gobiernan los servicios ambientales del Golfo y de qué naturaleza son estos servicios? ¿Cómo responden estos servicios a las tensiones derivadas de las actividades antropogénicas? Investigaciones inter y transdisciplinarias serán necesarias en una variedad de escalas temporales y espaciales, a fin de generar nuevos métodos capaces de integrar la ecología, la economía, otras ciencias sociales y técnicas que permitan conservar con el mínimo de intervenciones sistemas ecológicos autosuficientes, restaurar ecosistemas cuyos servicios ambientales sean esenciales para el funcionamiento de la biosfera y aprovechar de un modo sostenible los múltiples servicios brindados por estos ecosistemas. Estas tareas sólo podrán ser exitosas si son organizadas de un modo coherente y si obedecen

a una política científica y tecnológica con objetivos claros de corto, mediano y largo plazos. Una política de esta clase nos permitirá encontrar respuestas adecuadas a cuestiones cruciales como las siguientes:

- . ¿Cuáles son las interrelaciones entre patrones de usos del suelo y la calidad del agua, a nivel local, regional y global, en la cuenca del Golfo de México?
- . ¿Cuáles son los efectos de la fragmentación de los paisajes del Golfo (marinos, costeros y terrestres), sobre la diversidad biológica local, regional y global?
- . ¿Cómo afectan hoy y cómo lo harán en el futuro, los cambios en el tamaño y la ubicación de las poblaciones humanas a los servicios ambientales del Golfo?
- . ¿Cuáles son las consecuencias a largo plazo sobre los servicios ambientales del Golfo de las políticas de utilización intensiva de sus recursos naturales, incluidos los de sus diferentes ambientes: terrestres, costeros y marinos?
- . ¿Qué clase de políticas científicas y tecnológicas nos permitirán contar en un tiempo relativamente breve con un conjunto básico de indicadores del estado de los servicios ambientales del Golfo y de sus respuestas al estrés antropogénico?

Tales respuestas darían un mínimo de claridad y coherencia a las acciones de manejo y usos sostenibles de los ecosistemas marinos, costeros y terrestres de la región del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, C. L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar 1998. *Regiones prioritarias marinas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad, México. 198 pp.
- Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley. 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries: Implications for Management. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. Pp.: 407-421.
- Biggs, D.C. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warmcore ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 97(2): 2143-2154.
- Botello, A., V; J. L. Rojas-Galaviz; J. A. Benitez y D. Zárate (eds) 1996. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Serie Científica.

- Epomex*, Universidad Autónoma de Campeche. 666p.
- Bogdanov, D.V.; V.A. Sokolov y N.S. Khromov 1968. Regions of high biological and commercial productivity in the Gulf of Mexico. Academy of Sciences of the URSS. Scripta Technica Inc. for the American Geophysical Union. *Oceanology* 8(3):371-381.
- Britton J.C. y B. Morton. 1989. *Shore Ecology of Gulf of Mexico*. University of Texas Press, EE.UU. 387p.
- Brussard, L. 1997. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio* 26(8): 563-569.
- Casco, M. R. 1979. *El manejo del agua en un ecosistema tropical: el caso de la Chontalpa*. Centro de Ecodesarrollo, México. 69 pp.
- Cifuentes, J.L., P. Torres-García y M. Frías 1993. *El océano y sus recursos*. Vol. II. Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química. Serie: La ciencia desde México/12. SEP-FCE-CONACYT. México. 170 pp.
- Clark J.R. 1996. *Coastal Zone Management Handbook*. Lewis Publisher. Boca Raton, Florida, EE.UU. 694 pp.
- Contreras, F. 1988. *Las lagunas costeras mexicanas*. Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de Pesca. 263 pp.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton y M. Van den Belt 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Deegan, L.A., J.W. Day Jr., J.G. Gosselink, A. Yáñez-Arancibia, G.S. Chávez y P. Sánchez-Gil 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries. En: D.A. Wolfe (ed.). *Estuarine variability*. Academic Press, EE.UU.
- De la Lanza, G. (comp.) 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor, S.A. México.
- Escobar, J. 2002. *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL-ECLAC. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Serie Recursos Naturales e Infraestructura. 50. Santiago de Chile. Chile. 67 pp.
- Falkowski, P.G. R.T. Barber y V. Smetacek 1998. Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. *Science*. A special issue devoted to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281: 201-206.
- FAO. 1997. FAO Marine Resources Service, Fishery Resource Division. Review of the state of world fishery resources: marine fisheries. FAO. Fisheries Circular. No. 920. FAO, Roma.
- Fasham, M.J.R., B.M. Baliño y M.C. Bowles (eds.) 2001. A New Vision of Ocean Biogeochemistry After a Decade of the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS).

- Ambio*. Special Report 10: 4-27.
- Field, C. B., M. J. Behrenfeld, J.M. Randerson y P. Falkowski 1998. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*. A special issue devoted to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281: 237-240.
- Groffman, P.M y P.J. Bohlen 1999. Soil and Sediment Biodiversity. Cross-system comparisons and large-scale effects. *BioScience*. Vol. 49, No.2:139-148.
- Jickells, R. 1998. Nutrient Biogeochemistry of the Coastal Zone. *Science*. A special issue devoted to Chemistry and Biology of the Oceans. Vol. 281:217-222.
- Johnson, B.L., W.B. Richardson y T.J. Naimo 1995. Past, Present, and Future Concepts in Larger River Ecology. How rivers function and how human activities influence river processes. *BioScience* 45(3):134-141.
- Jordan, T.E. y D.E. Weller 1996. Human contributions to terrestrial nitrogen flux. *BioScience* 46: 655-664.
- Lara-Domínguez, A.L., A. Yáñez-Arancibia, P. Sánchez-Gil, D. Zárate-Lomelí, J.W. Day y E. Reyes 2002. Dynamic estuarine patterns of ecological processes and functional structure in the Gulf of México: Applications to coastal management. Joint ECSA-ERF Symposium at the University of Sonora. 28 de abril a 2 de mayo de 2003. San Carlos, Sonora, México.
- Ligon, F.K., W.E. Dietrich y W.J. Trush 1995. Downstream Ecological Effects of Dams. A geomorphic perspective. *BioScience* 45(3): 183-192.
- Millman, J.D. y R.H. Meade 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geo.* 91: 1-21.
- Mitsch, W.J., J.W. Day Jr., J.W. Gilliam, P.M. Groffman, D.L. Hey, G.W. Randall y N. Wang 2001. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River Basin: Strategies to counter a persistent ecological problem. *BioScience* 51: 373-388.
- Monreal G., A. y D.A. Salas 1997. *Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana.
- Moody, C.L. 1967. Gulf of Mexico distributive province. *Am. Assoc. Pet. Geo. Bull.* 51: 179-199.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41:199-219.
- Norse, E.A. 1993. Global Marine Biological Diversity. A Strategy for Building Conservation into Decision Making. Center for Marine Conservation. World Conservation Union (IUCN). World Wildlife Fund. United Nations Environment Programme. World Bank. Island Press, Washington, DC. 382 pp.
- Ortiz-Pérez, M.A. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante análisis de imágenes aéreas. En: *Ecología y conservación del delta del río Usumacinta*

- y Grijalva. INIREB-Tabasco-Gob. del Edo. de Tabasco. México.
- Peierls B., N. Carasco, M. Pace y J. Cole 1991. Humane influence on river nitrogen. *Nature* 350: 386-387.
- Pennock, J.R., J.N. Boyer, J.A. Herrera-Silveira, R. L. Iverson, T.E. Whittedge, B. Mortazavi y F.A. Comin. Nutrient Behavior and Phytoplankton Production in Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Blanchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc.
- Polis, G.A. 1996. Linking marine and terrestrial food webs: Allochthonous input from the ocean supports high secondary productivity on small islands and coastal land communities. *American Naturalist* 147: 396-423.
- Polis, G. A., R.D. Holt, B.A. Menge y K.O. Winemiller 1995. Time, space, and life history: Influences on food webs. En: Polis, G.A and K.O. Minemiller (eds.). *Food Webs: Integration of Patterns and Dynamics*. New York: Chapman & Hall. EE.UU.
- Polis, G.A. W.B. Anderson y R.D. Holt 1997. Towards an integration of landscape and food web ecology: The dynamics of spatially subsidized food webs. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28: 289-316.
- Rabalais, N., R.E. Turner, D. Justic, Q. Dortch, W.J. Wiseman, Jr. y B.K. Sen Gupta 1996. Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf. *Estuaries* 19: 386-407.
- Rabalais, N., R.E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond Science in Policy: Gulf of Mexico Hypoxia and the Mississippi River. *BioScience* 52(2): 129-142.
- Ray, C.G. 1991. Coastal-Zone Biodiversity Patterns. *Bioscience* 41(7): 490-498.
- Reséndez-Medina, A. y A. Kobelkowsky-Díaz. Ictiofauna de los sistemas lagunares costeros del Golfo de México. *Universidad y Ciencia* 6 (15): 91-110.
- Reyes, E., J.W. Day, J.F. Martin, P. Kemp, A.L. Lara-Domínguez, D. Zárate-Lomelí, A. Yáñez-Arancibia y P. Sánchez-Gil 2002. Assessing coastal management plans using watershed spatial models for the Mississippi delta, USA, and the Usumacinta/Grijalva delta, México.
- Richards, W.J., T. Lemin, M.F. McGowan, J.T. Lamkin y S. Kelley-Fraga 1989. Distribution of fish larvae in relation to hydrographic features of the Loop Current boundary in the Gulf of Mexico. *Rapp. P.v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 191: 169-176.
- Snelgrove, P.V.R. 1999. Getting to the Bottom of Marine Biodiversity: Sedimentary Habitats. *BioScience* 49(2): 129-138.
- Soberón-Chávez, G., y A. Yáñez-Arancibia 1985. Control ecológico de los peses demersales: Variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos pesqueros. En: A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Recursos Pesqueros Potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Inst. Nal. de Pesca. UNAM. México. Pp:

339-486.

- Solís, R.S. y G.L. Powell 1999. Hydrography, Mixing Characteristics, and Residence Times of Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc.
- Swanson, F.J., S.L. Johnson, S.V. Gregory y S. A. Acker. 1998. Flood Disturbance in a Forested Mountain Landscape. Interactions of land use and floods. *BioScience* 48(9): 681-687.
- Turner, R.E. y N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality in this century. *BioScience* 41: 140-147.
- 1999. Suspended Particulate and Dissolved Nutrient Loadings to Gulf of Mexico Estuaries. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. 423 pp.
- 2003. Linking Landscape and Water Quality in the Mississippi River Basin for 200 Years. *BioScience*. Vol. 53. No. 6: 563-572.
- USA 1998. *Year of the Ocean. Ensuring the sustainability of ocean living resources*.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal y A.F. Hernández 1990. *Atlas oceanográfico del Golfo de México*. Vol. II. Grupo de Estudios Oceanográficos. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 2. 691 pp.
- Wall, F. D. 1999. Biodiversity and Ecosystem Functioning. A special issue devoted to belowground biodiversity in soils and freshwater and marine sediments. *BioScience*. 49(2): 107-108.
- Wall, F. D., Blackburn, T.H., Brussaard, L., Hutchings, P., Palmer, M.A. y P.V.R. Snelgrove 1997. Linking biodiversity and ecosystem functioning of soil and sediments. *Ambio* 26(8): 556-562.
- Wilson, M.F., S.M. Gende y B.H. Marston 1998. "Fishes and the Forest" *BioScience* Vol. 48 No. 6: 455-462.
- Yáñez-Arancibia A., P. Sánchez-Gil, G. Villalobos y R. Rodríguez 1985. Distribución y abundancia de las especies dominantes en las poblaciones de peces demersales de la Plataforma Continental Mexicana del Golfo de México. En: A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. Progr. Univ. de Alimentos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Inst. Nal. de Pesca. UNAM, México. 748 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y J. Day Jr. (eds.) 1988. Ecología de los ecosistemas costeros en el Sur del Golfo de México. La región de la Laguna de Términos. UNAM-GEA, México. 518 pp.
- Zárte-Lomelí, T., Saavedra, J.L., Rojas-Galaviz, A. Yáñez-Arancibia y E. Rivera 1999. Terms of reference towards an integrated management policy in the coastal zone of the Gulf of Mexico and the Caribbean. *Ocean & Coastal Management* 42: 345-368.

LOS IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL PETRÓLEO Y EL GAS EN LA DISMINUCIÓN DE LOS HUMEDALES COSTEROS DEL DELTA DEL MISISIPÍ

Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot

INTRODUCCIÓN

El delta del Misisipi incluye el área más grande de humedales costeros en los Estados Unidos de América, y sostiene uno de los desarrollos de extracción de petróleo más extensos de cualquier área costera en el mundo. La zona costera de Luisiana, (figura 1) que comprende la mayor parte del delta del Misisipi, ocupa aproximadamente 3.8 millones de hectáreas. La zona incluye cuerpos de agua, marismas (dulces, intermedias, salobres y saladas) humedales boscosos, vegetación subacuática, planicies de lodo, playas, y hábitats terrestres sobre diques naturales con bosques, agricultura y desarrollos urbanos. Las marismas comprenden aproximadamente el 63% de la tierra de la zona costera y Luisiana contiene cerca del 60% de los estuarios y marismas del Golfo de México (Lindstedt *et al.* 1991). Los humedales costeros son vitales para proteger las áreas desarrolladas del oleaje de las tormentas, proveen a la vida silvestre y los peces de hábitats y mejoran la calidad del agua (Mitsch y Gosselink 1993). Desde principios del siglo XX, La zona costera ha experimentado una multitud de impactos ecológicos causados por la actividad humana como la construcción de diques en el río Misisipi, la desecación de humedales a gran escala, deterioro de la calidad del agua, contaminación, y alteración generalizada de la hidrología.

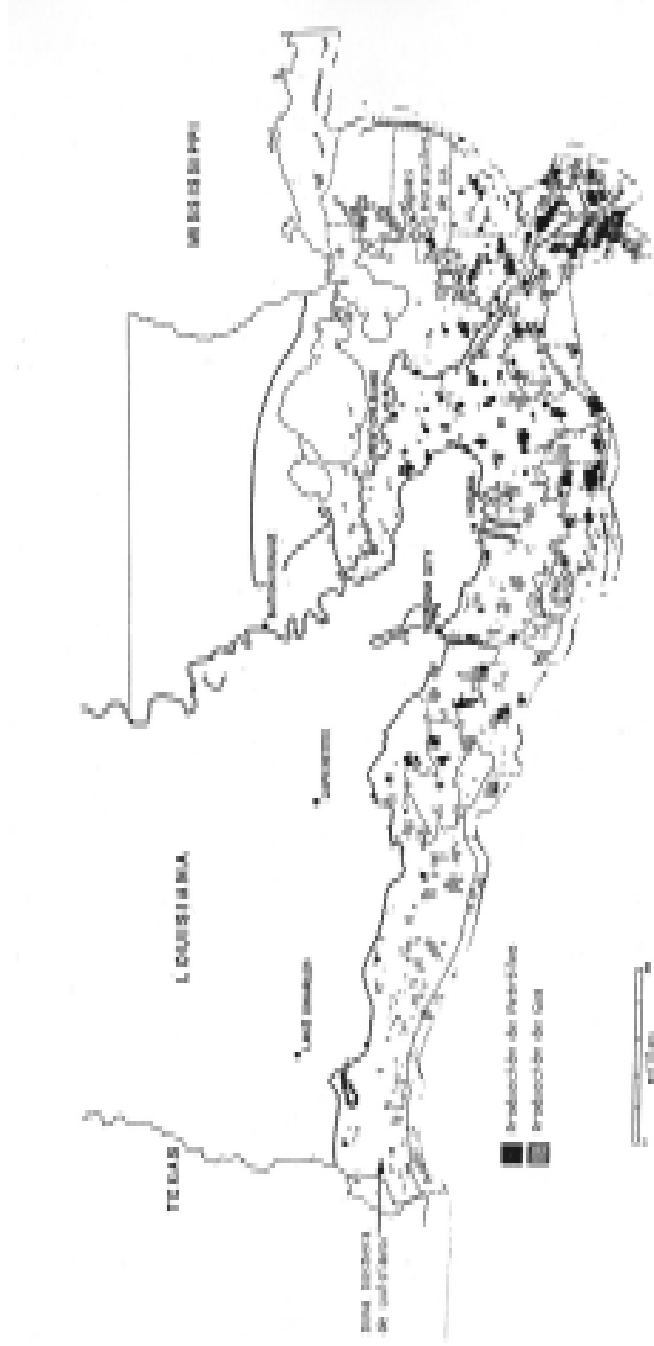
El petróleo crudo es una mezcla principalmente de hidrocarburos y de compuestos orgánicos de azufre, nitrógeno y oxígeno. Geológicamente, la materia orgánica fue transformada en petróleo por el calor y la presión (Lindstedt *et al.* 1991), acumulándose durante la era Cenozoica en rocas areniscas, rocas sedimentarias y esquistos. La cuenca del Golfo de México tuvo un régimen térmico favorable para la maduración óptima de materia orgánica en hidrocarburos y formó trampas estratigráficas estructurales por medio de fallas y movimientos de sal. En Luisiana, la producción de petróleo y gas proviene de formaciones del Mioceno, Plioceno y Pleistoceno (Lindstedt *et al.* 1991).

Históricamente Luisiana ha sido el segundo estado más importante en producción de petróleo y gas, después de Alaska. La producción de petróleo en Luisiana empezó en 1902 y la explotación en la zona costera inició en 1926. La zona costera produjo más de la mitad del petróleo del estado durante los años 50 y alcanzó un máximo anual de quinientos trece millones de barriles en 1970. Desde 1920 hasta 1989, el 58% de la producción total de petróleo del estado de Luisiana y el 47% de la producción de gas natural total del estado provino de la zona costera.

La producción de gas alcanzó su máximo en 1969 con siete punto ocho billones de pies cúbicos y para 1990, la zona costera de Luisiana tenía más de 500 campos de petróleo y gas. Para 1987, el estado había otorgado más de 13 000 concesiones para desarrollos de explotación de gas y petróleo, y más de la mitad de ellas estaban en la zona costera (Lindstedt *et al.* 1991). Aproximadamente el 20% del petróleo crudo y el 33% del gas natural de los Estados Unidos fluye a través de la zona costera de Luisiana (Davis y Guidry 1996). En el año 2000, la recaudación sólo por regalías de mineral fue de 354 millones de dólares, y aproximadamente un millón ochocientos mil empleos en Luisiana están asociados con la industria generadora de energéticos (**LADNR** 2001). De 1926 a 1983 se recaudaron más de doce mil millones de dólares por las concesiones y la producción en la zona costera. Cuarenta por ciento de la capacidad de refinación está localizada dentro de la región de la zona costera del Golfo de México (Lindstedt *et al.* 1991). Por lo tanto, los riesgos de derrames petroleros han sido altos; por ejemplo en 1994, se reportaron 3,471 derrames en aguas y tierras de Luisiana, principalmente debido a errores humanos o a problemas mecánicos (Davis y Guidry 1996).

Los ecosistemas costeros, incluyendo los humedales, han experimentado una multitud de consecuencias ecológicas debidas al desarrollo petrolero, incluyendo la exploración, preparación de campos de explotación, acceso a

FIGURA 1. LA DISTRIBUCIÓN DE CAMPOS DE PETRÓLEO Y GAS EN LA ZONA COSTERA DE LUISIANA EN 1981.



Fuente: Lindstedt *et al.* 1991: 53. Usado con permiso de la Louisiana Geological Survey.

los campos, perforación, producción, instalación de ductos, control de derrames, limpieza y clausura de campos (Cahoon 1989). La ecología de la costa es sensible a las actividades petroleras por varias razones: (1) Los diques artificiales, canales y represas alteran el régimen hidrológico natural del delta del Misisipi y como consecuencia afectan la salud de las plantas y las dinámicas de sedimentación; (2) la despresurización por la producción de petróleo y gas favorece el hundimiento; (3) la construcción de ductos que transportan petróleo y gas desde la zona costera y la plataforma continental exterior, tiene un efecto directo sobre el régimen hidrológico natural y lo trastoca; (4) los derrames de petróleo deterioran los hábitats vegetales; (5) los derrames de petróleo y agua de desecho estresan a los consumidores estuarinos al incrementar la turbidez e introducir toxinas, etc., y (6) la reducción del área de humedales debido a impactos directos o indirectos reduce las zonas de crianza de los consumidores estuarinos (como peces y camarones) y disminuye su valor económico. En este capítulo nos ocupamos específicamente del impacto de las actividades petroleras y de producción de gas sobre la reducción de humedales costeros en el delta del Misisipi.

La zona central del norte, no es la única región del Golfo de México que produce petróleo. Hay áreas importantes de producción en el oeste y en el sur del Golfo, especialmente las asociadas al delta del Grijalva-Usumacinta y a la región de la laguna de Términos. Por lo tanto, la información obtenida del delta del Misisipi, sobre el impacto de las actividades petroleras y sobre las maneras de mitigarlas, será valiosa para estas otras áreas.

EL CICLO DEL DELTA Y LA PÉRDIDA DE HUMEDALES EN EL DELTA DEL MISISIPÍ

EL CICLO DEL DELTA

Para entender los factores relacionados a la pérdida de humedales, es necesario entender el ciclo del delta del Misisipi. El nivel del mar se estabilizó cerca de su nivel actual después de la última glaciación entre 5,000 y 7,000 años (Milliman y Emery 1968). Desde entonces, variaciones de localización del delta del Misisipi han creado una serie de lóbulos deltáicos que se traslapan y que en el presente forman la planicie del delta del Misisipi de Luisiana (Scruton 1960, Roberts 1997). Las variaciones de localización del delta, suceden cada 1,000 años aproximadamente, y resultan en nuevos puntos nodales de sedimentación y desarrollo de marismas. El desarrollo rápi-

do de tierra firme ocurre en los lóbulos activos del delta, mientras que el hundimiento y la pérdida de humedales sucede en los lóbulos abandonados. El río Atchafalaya es el canal más reciente en el proceso de variación del delta. La expresión subaérea del nuevo delta del Atchafalaya empezó en 1973. Esta área presenta actualmente una ganancia neta de humedales (Van Heerden y Roberts 1980, Barras *et al.* 2003).

Así, el proceso de construcción del delta es un balance entre las fuerzas que promueven el crecimiento de la masa terrestre del delta y las que causan su deterioro. El río Misisipi es la principal fuerza que promueve el crecimiento de tierra. Las inundaciones de los bancos, el ensanchamiento de grietas y la remodelación de las arenas, han formado el esqueleto del marco de diques naturales y barreras insulares dentro del cual se ha formado el delta (Kesel 1988, 1989, Kesel *et al.* 1992, Davis 2000). El ensanchamiento de grietas ocurre donde las inundaciones de los bancos se concentran en canales bien definidos con suficiente capacidad de barrido para erosionar rupturas en los diques, de modo permanente o semipermanente.

La deposición de sedimentos de grano fino o grueso formó inicialmente (como en el delta del Atchafalaya que está emergiendo) nuevos humedales y ayudó a mantener los existentes. Los sedimentos que entran en suspensión nuevamente durante las tormentas también son importantes para mantener las marismas. Gran parte de los sedimentos depositados en la superficie de las marismas costeras en el delta del Misisipi, entran en suspensión nuevamente desde el fondo de las bahías durante los huracanes y el paso de frentes climáticos o son transportados desde el área cerca de la orilla (Baumann y Day 1984, Reed 1989, Cahoon *et al.* 1995). Una vez que se forma un humedal, un mecanismo importante que mantiene las marismas costeras es la formación de suelo orgánico por las plantas de los humedales (DeLaune *et al.* 1979).

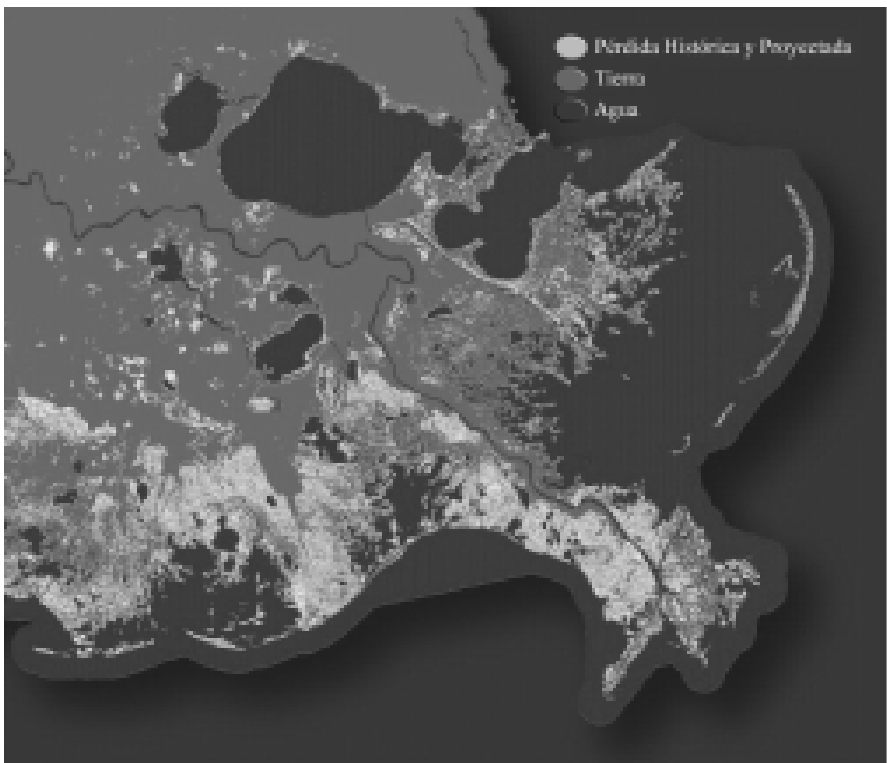
PÉRDIDA DE HUMEDALES EN EL DELTA DEL MISISIPI DURANTE EL SIGLO XX

Durante el siglo XX se revirtió drásticamente el crecimiento neto del delta del Misisipi, que tuvo lugar durante los últimos milenios (Day *et al.* 2000). Se registraron altos índices de disminución de tierra que llegaron a 100 km² al año (Craig *et al.* 1979, Gagliano *et al.* 1981), y alcanzaron un total de 3 900 km² de humedales costeros perdidos entre los años 1930 y 1990 (Boesch *et al.* 1994). Los índices más altos de disminución de tierras se registraron durante los años 1960 y 1970 y han declinado desde entonces, aunque permanecen

altos (Chabreck y Palmisan 1973, Baumann y Turner 1990, Britsch y Dunbar 1993). Durante la última década (1990-2000) los índices de disminución de tierra costera fueron cercanos a 65 km² por año (Barras *et al.* 2003, figura 2).

Muchos factores han sido asociados a la disminución de tierras costeras, incluyendo la eliminación de aportes fluviales a la mayor parte de la zona costera debido a la construcción de diques para controlar las inundaciones a lo largo de río Misisipi y el cierre de brazos del delta; la alteración de la hidrología por la construcción de canales y represas; la intrusión de agua salada; la erosión por oleaje en partes expuestas de la línea costera; el declive

FIGURA 2. TENDENCIAS DE LA PÉRDIDA DE HUMEDALES EN LA COSTA DE LUISIANA



Fuente: modificado de Barras *et al.* 2003.

de sedimentos suspendidos en el río Misisipi; fallas geológicas, y alto incremento relativo del nivel del mar (IRNM = incremento eustático del nivel del mar más el hundimiento; para una revisión de estos temas ver Turner 1987, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 2000, Morton *et al.* 2002). La mayoría de los investigadores han concluido que la pérdida de tierra costera se debe a una interacción compleja de estos factores que actúan a diferentes escalas de espacio y tiempo (por ejemplo, Turner y Cahoon 1987, Kesel 1988, 1989, Day y Templet 1989, Boesch *et al.* 1994, Day *et al.* 1995, 1997, 2000).

En condiciones naturales, el deterioro de humedales es causado por dos fuerzas principales, el hundimiento y la erosión de las olas a lo largo de la línea costera. El hundimiento geológico es causado por la compactación, el desecamiento y la consolidación de sedimentos. El hundimiento en los deltas conduce a un índice de IRNM que frecuentemente es mucho mayor que el incremento eustático del nivel del mar. Por ejemplo, mientras el índice de incremento eustático actual es de 1 a 2 mm al año, el IRNM en el delta del Misisipi es mayor a 10 mm por año. Así, el incremento eustático contribuye sólo del 10% al 15% del total del IRNM. Si los humedales en los deltas no se acumulan verticalmente a un ritmo igual al índice de IRNM, se estresarán debido a factores como el encharcamiento, la anoxia, la toxicidad de sulfuros, y la salinidad, y en última instancia desaparecerán (Mendelssohn y McKee 1988, McKee y Mendelssohn 1989, Mendelssohn y Morris 2000). Por ejemplo, Mendelssohn y McKee (1988) encontraron que la toxicidad de los sulfuros y los periodos extensos de metabolismo anaeróbio de las raíces, son factores importantes en la disminución en la producción de semillas y en la muerte de brotes nuevos en las áreas con suelos encharcados y alta salinidad, lo que resulta en una disminución significativa de biomasa sobre el suelo y de la densidad de los tallos de plantas de agua dulce de las marismas (como, *Panicum hemitomom*, *Sagittaria lancifolia*, y *Leersia oryzoides*) (McKee y Mendelssohn 1989). Dado que la acumulación vertical es estimulada tanto por el aporte de sedimentos externos como por formación de suelo orgánico *in situ*, una reducción del aporte de sedimentos o el aumento de estrés para las plantas, puede ocasionar la disminución de los índices de acumulación, y la reducción de la estabilidad de la estructura del suelo y la consecuente pérdida de humedales.

La erosión por el oleaje a lo largo de las líneas costeras expuestas es también una causa de disminución de humedales. Esta erosión no es un factor importante en las marismas interiores, pero ha causado grandes reducciones a lo largo de las costas de grandes lagos y bahías y a lo largo de barreras

insulares. El índice de erosión costera es alto durante los huracanes (Penland 1993). Los huracanes también pueden causar altos índices de disminución de marismas flotantes. Se piensa que los huracanes son parcialmente responsables de los altos índices de disminución de tierra en el delta Birdfoot (Day *et al.* 2000, Barras 2003). Durante la última década (1990-2002), la erosión por el oleaje ha causado una proporción creciente de disminución de tierra (Barras *et al.* 2003).

En suma, la disminución de los humedales costeros en Luisiana ha sido causada por una reducción en las fuerzas que contribuyen al aumento y mantenimiento de tierras, y a un aumento de las fuerzas que contribuyen a su disminución. La construcción de diques a lo largo del río, ha aislado a la mayor parte del delta del Misisipi de las inundaciones del río. La densa red de canales ha ocasionado un alto grado de alteración y aislamiento hidrológicos que ha reducido el aporte a los humedales de sedimentos que entran en suspensión nuevamente y ha aumentado la intrusión de agua salada. Ambas fuerzas han incrementado el estrés de las plantas y la pérdida de humedales (McKee y Mendelsohn 1989). Ahora consideraremos cómo contribuyen las actividades petroleras de perforación y dragado al problema de la pérdida de tierra.

EFFECTOS DE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS EN LOS HUMEDALES COSTEROS

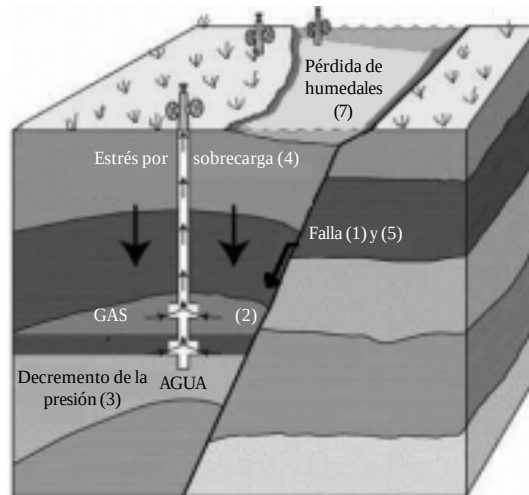
Las actividades relacionadas con la producción de petróleo en las costas de Luisiana han tenido varios impactos, directos e indirectos, que han contribuido a la pérdida de humedales en el delta del Misisipi. Estos factores incluyen el hundimiento inducido por la extracción de fluidos subterráneos y modificaciones hidrológicas causadas por actividades de dragado. Nos ocuparemos de cada uno de estos temas a continuación.

HUNDIMIENTO

Como se comentó, el índice de hundimiento geológico de la región en el delta del Misisipi es de unos 10 mm por año. Este índice se debe a la compactación, a la desecación y consolidación de sedimentos. Morton *et al.* (2002) mostraron que el índice local de hundimiento en campos petroleros y de gas es considerablemente más alto que el promedio regional (con máximos de 23 mm por año). Concluyeron que el patrón de incremento y poste-

rior decremento en la disminución de tierra en el sur y el centro de Luisiana, es atribuible en parte al incremento y posterior decremento en la extracción de petróleo y gas. Los decrementos de la presión en los poros subterráneos asociados con la extracción, fueron suficientemente grandes para que las fallas tensionadas se reactivaran, provocando un hundimiento rápido en el lado hundido de la falla y un mayor estrés por anegamiento de las plantas (figura 3). Cuando la extracción cesó en un campo, Morton *et al.* (2002) se plantearon la hipótesis de que el hundimiento acelerado debería decrecer hasta niveles de preexplotación, y que los altos índices de hundimiento podrían ser temporales.

FIGURA 3. LA PRODUCCIÓN PROLONGADA O RÁPIDA DE PETRÓLEO Y GAS (2) CAUSA LA DECLINACIÓN DE FUERZAS DE FORMACIÓN SUBTERRANEA (3) LAS PRESIONES DISMINUIDAS (3) INCREMENTAN EL ESTRÉS EFECTIVO DE LA SOBRECARGA (4), LO QUE CAUSA LA COMPACTACIÓN DE LAS ROCAS DE LA RESERVA Y PUEDE CAUSAR QUE SE REACTIVEN (5) FALLAS (1). YA SEA LA COMPACTACIÓN DE LOS ESTRATOS O LA SUSTITUCIÓN HACIA ABAJO A LO LARGO DE LAS FALLAS, PUEDE CAUSAR EL HUNDIMIENTO DE TIERRA SUPERFICIAL (6). DONDE OCURRE EL HUNDIMIENTO Y LA REACTIVACIÓN DE FALLAS, LOS HUMEDALES TÍPICAMENTE SE SUMERGEN Y SE CONVIERTEN EN AGUA ABIERTA (7). LA FIGURA NO ESTÁ A ESCALA D ABAJO; U ARRIBA



CANALES Y BANCOS

Se han construido canales en los humedales costeros de Luisiana desde que los europeos llegaron a la región por primera vez a principios del siglo XVIII (Kidder 2000). Durante casi dos siglos, estos canales fueron dragados principalmente para la navegación, como protección contra las inundaciones y para el drenado. Después de 1930, sin embargo, el descubrimiento de campos petroleros y de gas en la zona costera condujo a un incremento rápido en la construcción de canales relacionados con la producción de hidrocarburos (por ejemplo, rutas de ductos y acceso a los sitios de perforación). Por ejemplo en 1984, entre el 70% y 80% de los permisos para construir canales se otorgaron para actividades relacionadas con la explotación de petróleo y gas (US EPA 1987). Para mediados de los años 80, había más de 15,000 km de canales (LA DNR 1996), el área superficial de los canales era equivalente a 2.3% del área de los humedales, y el área total de diques de los bancos de desechos de los canales más la superficie de canales constituía el 9.5% del área de humedales (Turner 1987).

Cuando los canales son dragados, el material excavado se deposita a lo largo de los lados del canal, creando un banco elevado (llamado banco de desechos). Los bancos de desechos consisten generalmente, de suelo orgánico de la marisma. Los bancos de desechos se asientan y desecan y la materia orgánica se oxida, lo cual crea diques que corren paralelos al canal (figura 4). Los bancos de desechos asociados con los campos petroleros y de gas, conducen a la disminución de aportes de sedimentos y a una menor formación de suelos orgánicos en los humedales adyacentes, exacerbando los déficits de acumulación de sedimentos. Los canales y sus bancos de desechos asociados, alteran la hidrología natural de dos maneras principalmente. Primero, la mayoría de los canales son profundos y rectos, lo cual contrasta con los canales naturales que son someros y sinuosos. Consecuentemente, los canales dragados tienden a captar el flujo de los canales naturales. Se ha demostrado que conforme se incrementa la densidad de canales en el área, la densidad de canales naturales decrece (Turner 1987). Si los canales son suficientemente largos y profundos (por ejemplo los canales para la navegación que van desde el Golfo hasta el agua dulce tierra adentro), pueden causar una intrusión significativa de agua salada (Wang 1988) y la muerte de humedales de agua dulce. Dos ejemplos notables de esto son la salida del río Misisipi al Golfo, que causó la muerte de grandes extensiones de humedales de cipreses al sureste de Nueva Orleans, y el canal marítimo de

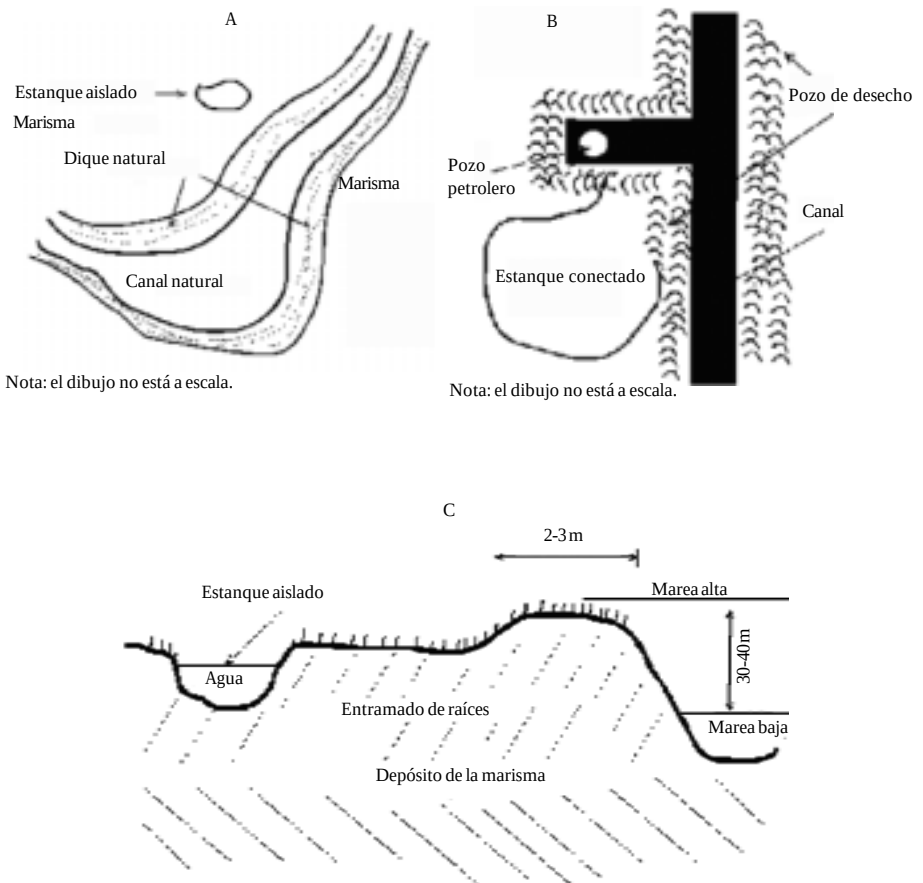
Calcasieu, que condujo a la pérdida de grandes extensiones de marismas de pastizales al suroeste de Luisiana (Day *et al.* 2000). Los canales también contribuyen al deterioro de la calidad del agua. Normalmente, la mayoría de las fuentes puntuales y no puntuales de nutrientes y sedimentos tierra adentro que desaguan por el río Misisipi, lo hacen lentamente de manera natural, a través de humedales que asimilan los nutrientes y los sedimentos (Reddy *et al.* 1993). Los canales que cortan a través de estos flujos pueden contribuir a la eutroficación de los cuerpos de agua abiertos (Craig *et al.* 1979, Hopkinson y Day 1980).

En contraste con los canales que aceleran el flujo de agua, los bancos de desechos reducen el intercambio de agua. El flujo de agua en los humedales ocurre principalmente como una capa de agua delgada que fluye sobre la superficie de la marisma (por ejemplo las inundaciones con flujo laminar). La hidrología de flujo laminar es extremadamente importante en el control de la mayoría de los procesos bioquímicos y ecológicos en los humedales, incluyendo las transformaciones químicas, transporte de sedimentos, salud de las plantas y migración de organismos (Asano 1995, GascuelOdux *et al.* 1996, Day *et al.* 1989). Los bancos de desechos reducen e incluso eliminan las inundaciones. Debido a la presencia de bancos de desechos, las áreas parcialmente represadas tienen menos periodos de inundaciones, pero más prolongados, lo que reduce el intercambio de agua respecto de las marismas no represadas (Swenson y Turner 1987). Si los canales están asociados a los campos de petróleo y gas, el hundimiento se acelera debido a la despresurización, como se señaló arriba. Frecuentemente se desarrollan charcos a 2 ó 3 km de los canales y bancos de desechos y la pérdida de humedales se asocia con las áreas de cambios hidrológicos profundos (Turner y Rao 1990).

Las corrientes de mareas son más fuertes en los canales dragados que en los canales naturales. Esto, aunado a la energía de las olas de las estelas de las embarcaciones, ocasiona la erosión de los bancos. Craig *et al.* (1982) encontraron que los canales se ensanchan a un ritmo de entre 2% y 14% al año, con un tiempo de duplicación del ancho de entre 5 y 60 años. Johnson y Gosselink (1982) propusieron la hipótesis de que el ritmo de ensanchamiento de los canales se incrementaría enormemente una vez que los bancos de desechos se erosionaran totalmente. Los canales se dragan generalmente a una profundidad de 2.5 metros, y varían entre 20 y 40 metros de ancho y entre 100 y 1,000 metros o más de largo (Turner *et al.* 1994).

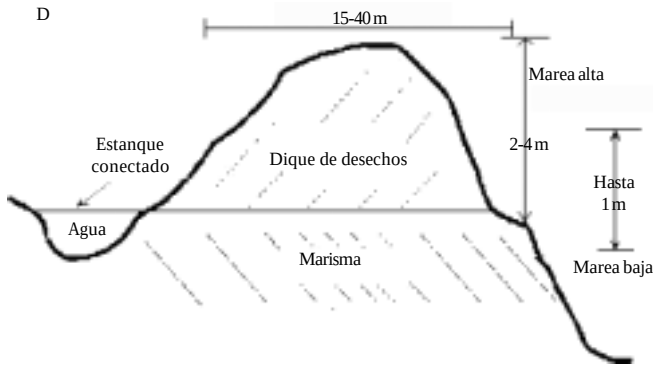
Una manera de restablecer los humedales que sufren del impacto negativo de la construcción de canales y bancos de desecho, es rellenar los canales.

FIGURA 4. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL IMPACTO DEL DRAGADO DE CANALES EN LAS MARISMAS COTERAS: (A) VISTA SUPERIOR QUE MUESTRA UN CANAL NATURAL Y UN DIQUE NATURAL; (B) VISTA SUPERIOR DE UN CANAL DRAGADO EN LÍNEA RECTA CON BANCO DE DESECHOS; (C) CORTE DE UNA MARISMA NATURAL. NÓTENSE EL DIQUE NATURAL DEL LADO DE LA CORRIENTE, EL CANAL SOMERO Y QUE LA MAREA ALTA ES MÁS ALTA QUE EL DIQUE NATURAL; (D) CORTE DE UN CANAL DRAGADO. NÓTESE QUE EL CANAL ES PROFUNDO Y EL BANCO DE DESECHOS ES MÁS ALTO QUE LA MAREA ALTA NORMAL, LO QUE PREVIENE LA INUNDACIÓN DE LA MARISMA



(Continúa)

FIGURA 4. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DEL IMPACTO DEL DRAGADO DE CANALES EN LAS MARISMAS COTERAS



Después de que han sido abandonados, los bancos de desecho se empujan nuevamente al canal y se reforesta o permite que la vegetación recolonice de manera natural. Turner *et al.* (1994) examinaron durante 10 años la recuperación de canales rellenados y encontraron que los canales más largos tienen índices de recolonización de flora más altos y que el contenido orgánico del humedal está inversamente relacionado con la profundidad del canal, argumentando que la práctica de rellenar canales es muy útil. Sin embargo, Gosselink (2000) sostiene que rellenar canales no es efectivo en general porque el sustrato desnudo en marismas degradadas, frecuentemente se inunda a demasiada profundidad para sustentar especies emergentes.

REPRESAS

Las marismas costeras intercambian agua, materia orgánica (por ejemplo detritos), nutrientes (como nitrógeno y fósforo) y organismos con las aguas estuarinas circundantes (Childers *et al.* 2000), que sustentan moluscos y peces estuarinos (Montague *et al.* 1987). Un proceso que ha afectado estos procesos en marismas costeras es la construcción de represas. Las represas se construyen por una gran variedad de razones. A principios del siglo XIX, las represas se construían para reclamar tierra para desarrollos urbanos y actividades agrícolas

(por ejemplo, Harrison y Kollmorgen 1947, Colten 2000). Muchas de estas áreas fallaron debido a hundimientos excesivos y a inundaciones durante los huracanes. Algunas áreas sin embargo, perduran, especialmente en el área metropolitana de Nueva Orleans. En el siglo XX, se construyeron muchas represas en los humedales, para mejorar las condiciones para las aves acuáticas y para el manejo de marismas (Cahoon y Groat 1990, Day *et al.* 1990). Estas áreas fueron semirepresas, es decir fueron rodeadas por diques bajos con varias estructuras de control de aguas. Este tipo de manejo, llamado manejo estructural de marismas, se llevaba a cabo principalmente manipulando el nivel del agua. Las estructuras de control de agua pueden ser pasivas (por ejemplo con cortinas de cresta fija), o activas (por ejemplo con cortinas de cresta variable y compuertas de trampa para permitir el flujo de agua en una dirección). Además de estas represas construidas a propósito, hay grandes áreas de la zona costera que por descuido han sido parcial o completamente rodeadas, por el impacto acumulativo de la construcción de canales y bancos de desecho. Cerca del 30% del área total de humedales de Luisiana, ha sido represada a propósito o accidentalmente (Turner y Neill 1984, Day *et al.* 1990).

Se ha demostrado que las represas reducen el intercambio de mareas y el flujo de sedimentos en suspensión, reducen el índice de acumulación, la productividad, y el movimiento de especies migratorias (Turner y Cahoon 1987, Cahoon y Groat 1990, Reed 1992, Rogers *et al.* 1992, Bouman y Day 1994, Cahoon 1994, Reed *et al.* 1997). En un estudio del manejo de marismas mediante represas conducido en dos marismas de Luisiana, Cahoon (1994) y Bouman y Day (1994) reportaron deposiciones de sedimentos altos en marismas no manejadas. Las estructuras de control de agua redujeron enormemente el intercambio de agua y el aporte de sedimentos a las áreas manejadas.

LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL PETRÓLEO Y LA PÉRDIDA DE HUMEDALES

De la discusión anterior, emergen varias conclusiones. Bajo condiciones naturales, el establecimiento y el deterioro de los humedales en el delta del Misisipi son procesos muy complejos que involucran varios factores que incluyen factores geológicos y geofísicos (por ejemplo, los cambios de curso de los canales, la introducción y deposición de sedimentos, el hundimiento, la acumulación vertical, la erosión del oleaje, la intrusión de agua salada y el incremento del nivel del mar), factores bioquímicos (como, formación anaerobia de suelos, reducción de sulfatos y la descomposición de turba), y consecuencias ecológicas (anegamiento e incremento de la salinidad que

conducen a estrés y a la muerte de las plantas, a bajos índices de formación de suelos orgánicos y reducción de alimentación de los herbívoros. Antes de la alteración generalizada debido a actividades humanas, había grandes pérdidas y grandes ganancias de humedales en diferentes lugares de las planicies del delta conforme el río cambiaba su curso, pero había una ganancia neta grande de humedales en el delta del Misisipi.

En el siglo XX, la ganancia neta de largo plazo se revirtió y el área de humedales en el delta del Misisipi disminuyó 25% aproximadamente. Es claro que parte de estas pérdidas fueron naturales y habrían ocurrido sin los impactos humanos, pero parece obvio que la inversión dramática de ganancia neta a pérdida neta, puede ser atribuida a las actividades humanas. Dos procesos generales interrelacionados entre sí y con el petróleo y el gas contribuyeron a estas pérdidas: cambios hidrológicos generalizados y hundimiento dramáticamente acelerado.

Desde el punto de vista hidrológico el delta del Misisipi ha sido aislado completamente del río que lo construyó. Los diques que llegan hasta la boca del canal principal del río han desviado el 70% del agua y los sedimentos al Golfo de México. En cambio, la región del delta del Atchafalaya, donde no se ha aislado al río, el agua de éste y los sedimentos nutren áreas someras tierra adentro y los humedales ganan terreno. Internamente, la planicie del delta del Misisipi ha sufrido enormes cambios hidrológicos. Una red muy densa de canales, en su mayoría asociados con el petróleo, ha cambiado dramáticamente al delta del Misisipi. Estos canales permiten la intrusión del agua salada y reducen el flujo laminar de agua y el flujo de sedimentos y contribuyen a bajar los índices de acumulación. Las represas aislan grandes extensiones de la zona costera de las áreas estuarinas adyacentes.

Cerca de los campos de petróleo y gas, el hundimiento se ha incrementado debido a la despresurización y la hidrología superficial debido a los canales y los bancos de desechos. Así, el IRNM se incrementó y los índices de acumulación se redujeron. Este fenómeno se debe a la reducción tanto de sedimentos externos, como de formación de suelo orgánico *in situ*. Algunos investigadores le han atribuido a los canales prácticamente toda la pérdida de humedales en la zona costera (Turner 1997). No hay duda que la actividad petrolera ha tenido un enorme impacto sobre la pérdida de humedales. En las áreas de extracción intensa de gas y petróleo es probable que la mayor parte de la pérdida de humedales puede estar relacionada con los impactos combinados del incremento por hundimiento y de las alteraciones en la superficie. Pero los altos índices de pérdida de humedales también están

relacionados con el aislamiento del río Misisipi del delta, con la erosión de las olas, la intrusión de agua salada y con cambios en la ingeniería de la boca del río Misisipi. Probablemente no es posible adjudicarle un valor específico a la importancia relativa de estos factores, debido a la complejidad del problema de la pérdida de tierra.

Desde un punto de vista más amplio, tanto el suministro (aportes al delta) como el sistema que lo recibe, han sido afectados por los diques a lo largo del río y de modo adicional por las actividades petroleras. Tanto el aporte ribereño como el aporte de sedimentos resuspendidos han disminuido. La alteración de la hidrología interna del delta ha afectado fuertemente la hidrología de los humedales y al aporte de sedimentos a estos. Sin embargo, la combinación de la eliminación de aportes ribereños y las alteraciones hidrológicas internas, condujeron a la pérdida dramática de humedales. La región Atchafalaya es un ejemplo de cómo el aporte ribereño puede contrarrestar el impacto de los canales. En la boca del río Atchafalaya, los campos de extracción de petróleo y gas no están generalmente asociados con la pérdida de humedales. Pero es uno de los factores que en conjunto han causado la pérdida general de tierra.

CONCLUSIONES

Luisiana ha experimentado índices de pérdida de humedales hasta de 100 km al año en los años 1970 (Boesch *et al.* 1994). Este alto índice de pérdidas ha sido atribuido a varios factores. La causa inmediata de gran parte de las pérdidas se debe al estrés en las plantas resultante tanto de causas naturales como humanas, seguido de la muerte de las plantas y la subsecuente erosión del sustrato de la marisma y la formación de pequeños charcos que después se unen en cuerpos de agua más grandes. Las causas del estrés de las plantas en las marismas de Luisiana se han atribuido al anegamiento (causado por la insuficiente elevación de la superficie de la marisma que provoca altos índices de hundimiento en la planicie deltáica y bajos índices de acumulación) y a la salinidad que resulta de la intrusión de agua salada (frecuentemente debida a las tormentas) a marismas del interior.

Las actividades relacionadas con el petróleo han afectado la pérdida de humedales costeros de varias maneras. La extracción de gas y petróleo aumentó el índice de hundimiento, en algunos casos por un factor de dos o tres, debido a la reducción de la presión subterránea de los poros que conllevó el hundimiento relacionado con fallas. En la superficie, los canales han afectado significativa-

mente la hidrología natural. Los canales profundamente dragados alteraron los cauces de flujo de agua y en algunos casos propiciaron la intrusión de agua salada. Los bancos de desecho redujeron el intercambio de flujo de agua sobre la tierra y el aporte de sedimentos a la superficie de los humedales. La combinación de estos factores ha incrementado el estrés y la mortalidad de las plantas, lo que conduce a una pérdida significativa de humedales en el delta del Misisipi. Aunque la producción de petróleo y gas en las bahías tierra adentro ha disminuido desde los años 1970, el transporte de petróleo y gas desde la Plataforma Continental Externa hasta el Superpuerto de Luisiana a través de la zona costera sigue siendo considerable. Por ello, los riesgos asociados con los derrames de petróleo y la alteración hidrológica continúan. Es difícil cuantificar el impacto de las actividades petroleras sobre el problema de la pérdida total de tierra, porque la pérdida de humedales es un proceso extremadamente complejo, que relaciona numerosos factores que actúan juntos.

El delta del Misisipi arroja lecciones importantes para las áreas que producen petróleo en el Golfo de México. Las dos más importantes son la de mantener la conectividad entre los ríos y los humedales deltáicos y reducir el impacto negativo en el aspecto hidrológico causado por la construcción de canales.

AGRADECIMIENTOS

Este esfuerzo fue patrocinado por la U.S. Geological Survey, la National Oceanic and Atmospheric Administration a través del Louisiana Sea Grant College Program (NOAA Grant No. NA16G2249), el Louisiana Dept. of Natural Resources, y el Army Corps of Engineers. Agradecemos al Dr. Brian Perez, al Dr. Sijan Sapkota y a la señora Beth Vairin de la U.S. Geological Survey sus útiles comentarios. Este artículo es una adaptación de dos anteriores sobre el impacto de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas.

BIBLIOGRAFÍA

- Asano, T. 1995. Sediment transport under sheet-flow conditions. *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering-ASCE* 121(5): 239-246.
- Barras, J., S. Beville, D. Britsch, S. Hartley, S. Hawes, J. Johnston, P. Kemp, Q. Kinler, A. Martucci, J. Porthouse, D. Reed, K. Roy, S. Sapkota, y J. Suhayda 2003. *Historical and Projected Coastal Louisiana Land Changes: 1978-2050*. USGS Open File Report 03-334. 39 pp.
- Baumann, R. H., y J. W. Day, Jr. 1984. Mississippi deltaic wetland survival: sedimentation

- versus coastal submergence. *Science* 224: 1093-1095.
- Baumann, R. H., y R. E. Turner 1990. Direct impacts of outer continental shelf activities on wetland loss in the Gulf of Mexico. *Environmental Geology and Water Science* 15(3): 189-198.
- Boesch, D. F., M. N. Josselyn, A. J. Mehta, J. T. Morris, W. K. Nuttle, C. A. Simenstad, y D. J. Swift 1994. Scientific assessment of coastal wetland loss, restoration and management in Louisiana. *Journal of Coastal Research* Special Issue No. 20.
- Boumans, R. M., y J. W. Day, Jr. 1994. Effects of two Louisiana marsh management plans on water and materials flux and short-term sedimentation. *Wetlands* 14(4): 247-261.
- Britsch, L. D. y J. B. Dunbar 1993. Land loss rates: Louisiana coastal plain. *Journal of Coastal Research* 9: 324-338.
- Cahoon, D. R. 1989. *Onshore Oil and Gas Activities Along the Northern Gulf of Mexico Coast: A Wetland Manager's Handbook*. Lee Wilson and Associates, Santa Fe, Nuevo Mexico.
- Cahoon, D. R. 1994. Recent accretion in two managed marsh impoundments in coastal Louisiana. *Ecological Applications* 4: 166-76.
- Cahoon, D. R. y C. G. Groat 1990. *A Study of Marsh Management Practice in Coastal Louisiana*. Vol. 1. Executive Summary. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana.
- Cahoon, D. R., D. J. Reed, J. W. Day, Jr., G. D. Steyer, R. M. Boumans, J. C. Lynch, D. McNally y N. Latif 1995. The influence of Hurricane Andrew on sediment distribution in Louisiana coastal marshes. *Journal of Coastal Research* 21: 280-94.
- Chabreck, R. H. y A. W. Palmisan 1973. Effects of Hurricane Camille on marshes of Mississippi River Delta. *Ecology* 54: 1118-23.
- Childers, D. L. y J. W. Day 2000. 'A review of marsh and estuarine flux studies from the south Atlantic and Gulf of Mexico', in M. P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.). *Concepts And Controversies In Tidal Marsh Ecology*. Boston: Kluwer Academic Publishers. Pp. 391-423.
- Colten, C. E. 2000. Too much of a good thing: industrial pollution in the Lower Mississippi River. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environs*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press. Pp. 141-159.
- Craig, N. J., R. E. Turner y J. W. Day, Jr. 1979. Land loss in coastal Louisiana (U.S.A.) *Environmental Management* 3: 133-144.
- Davis, D. W. 2000. Historical perspective on crevasses, levees, and the Mississippi River. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environs*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. Pp. 84-106.
- Davis, D. y R. Guidry 1996. Oil, oil spills and the state's responsibilities. *Basin Research Institute Bulletin* 6: 60-8.
- Day, J. W., Jr. y P. H. Templet 1989. Consequences of sea level rise: implications from the

- Mississippi Delta. *Coastal Management* 17: 241-257.
- Day, J. W., C. Hall, M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley, New York. 558 pp.
- Day, J. W., Jr., D. Pont, P. Hensel y C. Ibanez 1995. Impacts of sea level rise on delta in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries* 18: 636-647.
- Day, J. W., Jr., J. F. Martin, L. Cardoch y P. H. Templet 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management* 25: 115-153.
- Day, J. W., Jr., L. D. Britsch, S. R. Hawes, G. P. Shaffer, D. J. Reed y D. Cahoon 2000. Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: a spatial and temporal analysis of wetland habitat change. *Estuaries* 23: 425-38.
- Day, R. H., R. K. Holz y J. W. Day Jr. 1990. An inventory of wetland impoundments in the coastal zone of Louisiana, USA: Historical trends. *Environmental Management* 14: 229-40.
- DeLaune, R. D., R. J. Buresh y W. H. Patrick, Jr. 1979. Relationship of soil properties to standing crop biomass of *Spartina alterniflora* in a Louisiana marsh. *Estuarine and Coastal Marine Science* 8: 477-487.
- Frazier, D. 1967. Recent deltaic deposits of the Mississippi River, their development and chronology. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies* 17: 287-315.
- Gagliano, S. M., K. J. Meyer-Arendt y K. M. Wicker 1981. Land loss in the Mississippi River deltaic plain. *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies* 31: 295-300.
- C. Gascuel-Odux, S. Cros-Cayot y P. Durand 1996. Spatial variations of sheet flow and sediment transport on an agricultural field. *Earth Surface Processes and Landforms* 21(9): 843-851.
- Gornitz, V., S. Lebedeff y J. Hansen 1982. Global sea level trend in the past century. *Science* 215:1611-4.
- Gosselink, J. G. 2000. Comments on "wetland loss in the Northern Gulf of Mexico: multiple working hypotheses" por R.E. Turner (1997). *Estuaries* 24: 636-651.
- Harrison, R. W. y W. M. Kollmorgen 1947. Drainage reclamation in the coastal marshlands of the Mississippi River delta. *Louisiana Historical Quarterly* 30: 654-709.
- Hopkinson, C. S., y J. W. Day 1980. Modeling hydrology and eutrophication in a Louisiana swamp forest ecosystem. *Environmental Management* 4: 325-335.
- Johnson, W. B. y J. G. Gosselink 1982. Wetland loss directly associated with canal dredging in the Louisiana coastal zone. En: D. Boesch (ed.). *Proc. Land Loss Conference*, October 1981, Baton Rouge, Louisiana. Pp.60-72.
- Kesel, R. H. 1988. The decline in the suspended load of the Lower Mississippi River and its influence on adjacent wetlands. *Environmental Geology and Water Sciences* 11:

271-81.

- Kesel, R. H. 1989. The role of the Mississippi River in wetland loss in Southeastern Louisiana, USA. *Environmental Geology and Water Sciences* 13: 183-93.
- Kesel, R. H., E. G. Yodis y D. J. McCraw 1992. An approximation of the sediment budget of the Mississippi River prior to major human modification. *Earth Surface Processes and Landforms* 17: 711-22.
- Kidder, T. R. 2000. Making the city inevitable: native Americans and the geography of New Orleans. En: C. E. Colten (ed.). *Transforming New Orleans and Its Environ.* University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. Pp.9-21.
- Ko, J. Y. y J. W. Day 2003a. Impacts of energy development in wetlands: the Mississippi Delta. En: C. J. Cleveland (editor in chief). *Encyclopedia of Energy*, Academic Press.
- Ko, J. Y. y J. W. Day 2003b. A review of ecological impacts of oil and gas development on coastal ecosystems in the Mississippi Delta. *Ocean and Coastal Management*.
- Lindstedt, D. M., L. L. Nunn, J. C. Holmes, Jr. y E. E. Willis 1991. *History of Oil and Gas Development in Coastal Louisiana*. Louisiana Geological Survey, Baton Rouge, Louisiana.
- LA DNR [Louisiana Department of Natural Resources] 1996. *Well Status Master*. Baton Rouge, Louisiana.
- LA DNR [Louisiana Department of Natural Resources]. 2001. *Louisiana Energy Facts Annual*. Baton Rouge, Louisiana.
- McKee, K. L., y I. A. Mendelssohn 1989. Response of a freshwater marsh plant community to increased salinity and increased water level. *Aquatic Botany* 34:301-16.
- Mendelssohn, I. A. y K. L. McKee 1988. *Spartina alterniflora* die-back in Louisiana: time-course investigation of soil waterlogging effects. *Journal of Ecology* 76: 509-21.
- Mendelssohn, I. A. y J. T. Morris 2000. Eco-physiological controls of the productivity of *Spartina Alterniflora* loisel. En: M. P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.). *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Boston. Pp.59-80.
- Milliman, J. y K. Emery 1968. Sea levels during the past 35,000 years. *Science* 162:1121-3.
- Mitsch, W. J. y J. G. Gosselink 1993. *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Montague, C. L., A. V. Zale y H. F. Percival 1987. Ecological effects of coastal marsh impoundments: a review. *Environmental Management* 11: 743-756.
- Morton, R. A., N. A. Buster y M. D. Krohn 2002. Subsurface controls on historical subsidence rates and associated wetland loss in Southcentral Louisiana. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions* 52: 767-778.
- Penland, S. 1993. *Role of Louisiana Barrier Islands in Protecting Mainland Marsh From Wave Erosion*. U.S. Geological Survey, Baton Rouge, Louisiana.
- Reddy, K. R., R. D. DeLaune, W. F. DeBusk y M. S. Koch 1993. Long-term nutrient accumulation

- rates in the Everglades. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1147-1155.
- Reed, D. J. 1989. Patterns of sediment deposition in subsiding coastal marshes, Terrebonne Bay, Louisiana-the role of winter storms. *Estuaries* 12: 222-7.
- 1992. Effect of weirs on sediment deposition in Louisiana coastal marshes. *Environmental Management* 16: 55-65.
- Reed, D. J., N. De Luca y A. L. Foote 1997. Effect of hydrologic management on marsh surface sediment deposition in coastal Louisiana. *Estuaries* 20: 301-11.
- Roberts, H. 1997. Dynamic changes of the holocene Mississippi River Delta plain: the delta cycle. *Journal of Coastal Research* 13: 605-27.
- Rogers, D. R., B. D. Rogers y W. H. Herke 1992. Effects of a marsh management plan on fishery communities in coastal Louisiana. *Wetlands* 12: 53-62.
- Scruton, P. 1960. Delta building and the deltaic sequence. En: P. Trask (ed.). *Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico*. Okalahoma: American Association of Petroleum Geologists, Tulsa. Pp. 82-102.
- Swenson, E. M. y R. E. Turner 1987. Spoil banks: effects on a coastal marsh water-level regime. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24: 599-609.
- Turner, R. E. 1987. *Relationship between canal and levee density and coastal land loss in Louisiana*. US Fish Wildlife Service Biological Report 85(14).
- Turner, R. E. y C. Neill 1984. Revising impounded wetlands after 70 years. En: R. J. Varnell (ed.). *Water Quality and Wetland Management: Conference Proceedings*, New Orleans, Louisiana.
- Turner, R. E. y D. Cahoon 1987. *Causes of Wetland Loss in the Coastal Central Gulf of Mexico*. Final report submitted to the Minerals Management Service, New Orleans, LA. OCS Study/MMS 87-0119.
- Turner, R. E., y Y. S. Rao 1990. Relationships between wetland fragmentation and recent hydrologic changes in a deltaic coast. *Estuaries* 13: 72-281.
- Turner, R. E., J. M. Lee y C. Neill 1994. Backfilling canals to restore wetlands: empirical results in coastal Louisiana. *Wetlands Ecology and Management* 3: 63-78.
- US EPA [United States Environmental Protection Agency] 1987. *Saving Louisiana's Coastal Wetlands*. Louisiana Geological Survey. EPA-230-02-87-026.
- van Heerden, I. y H. Roberts 1980. The Atchafalaya Delta – Louisiana's new prograding coast. *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies* 30:497-506.
- Wang, F. C. 1988. Saltwater Intrusion Modeling: The Role of Man-made Features. En: R. E. Turner y D. R. Cahoon (eds.). *Causes of Wetland Loss in the Coastal Central Gulf of Mexico*. Volume 2: Technical Narrative. Final Report submitted to Minerals Management Service, New Orleans, Louisiana. Contract No. 14-12-002-30252. OCS Study/MMS 87-0119. 400 pp.

QUINTA PARTE
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS
DEL GOLFO DE MÉXICO

HACIA UN MANEJO INTEGRADO DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

*Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres,
Roberto Mendoza-Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez
y Oscar Manuel Ramírez-Flores*

LAS CUMBRES SOBRE DESARROLLO SUSTENTABLE: RÍO (1992) Y JOHANNESBURGO (2002)

El Golfo de México presenta actualmente un acelerado deterioro ambiental que apunta hacia un posible colapso en diversos frentes. Las frágiles cadenas productivas de este ecosistema se ven comprometidas de manera permanente, dejando sin oportunidad de uso a las futuras generaciones. Los recursos pesqueros, forestales, costeros y de otros agentes productivos como la industria del petróleo, turismo y agricultura han afectado al ecosistema y al mismo tiempo han visto afectadas su producción. Los diversos problemas identificados en las últimas décadas inherentes al medio marino, costero y de las actividades productivas realizadas en el Golfo de México tienen un vínculo con diversos acuerdos internacionales en materia de conservación de recursos y medio ambiente, de los cuales México es parte firmante; sin embargo, las acciones para revertir dicho deterioro han sido pocas y por lo general se han efectuado de manera aislada y no integrada.

La Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas adoptó en la Cumbre de Río de 1992 varios aspectos de importancia para estos ecosistemas; sin embargo, el avance de la Agenda 21 en dicha materia ha sido lento. Actualmente la implementación del Plan de Johannesburgo de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sustentable (WSSD)

que hizo un llamado a la comunidad internacional para “*mantener la productividad y biodiversidad de importantes y vulnerables áreas costeras, incluyendo áreas dentro de la jurisdicción nacional y aquellas fuera de la misma*” abre una ventana de oportunidad para orientar acciones específicas a favor del manejo integral de los recursos marinos, costeros y cuencas asociadas del Golfo de México. Así mismo cabe destacar que México es parte de otros compromisos alternos en la comunidad mundial y de instrumentos globales como la Convención de la Ley del Mar de las Naciones Unidas (UNCLOS por sus siglas en inglés), Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), Programa de Acción Mundial (PAM) para la Protección de los Ecosistemas Marinos de las actividades de Origen Terrestre, Convenio Marco de la Convención de Cambio Climático (CMCC), Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO, así como el más reciente acuerdo denominado Protocolo de Cartagena sobre Organismos Vivos Modificados (OVM), y que ellos inciden de varias formas sobre el acceso a recursos genéticos, conservación de la biodiversidad y reversión del deterioro ambiental. No obstante la existencia de dichos acuerdos múltiples que consideran diferentes aspectos de conservación de los ecosistemas, biodiversidad y acceso a recursos genéticos, la aplicación real de los mismos en el nivel nacional es lenta, en parte debido a las sinuosas condiciones legales y normativas en materia ambiental y a la distancia con respecto a los actores sociales y productivos usuarios de los recursos naturales costeros, marinos y cuencas asociadas al ecosistema del Golfo de México.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

El Gran Ecosistema Marino del Golfo de México se sitúa entre la costa este de México, el noroeste de Cuba y la costa sur de los Estados Unidos de América. Es semicerrado con una pequeña entrada y salida en el oeste central del Océano Atlántico y una conexión con el Mar Caribe hacia el sur. El litoral del Golfo de México está bordeado por 27 grandes sistemas, estuarios, bahías y lagunas costeras, que sirven de áreas de refugio, alimentación y reproducción de numerosas especies que representan a las pesquerías ribereñas más importantes. Aunque la riqueza biológica de los sistemas costeros y el papel que juega en las funciones ecológicas del Golfo de México no está bien entendido, se sabe que los pantanos costeros de Tabasco y Campeche albergan 45 de las 111 especies de plantas acuáticas reportadas

para México, que lo convierte en la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica. En cuanto a peces de aguas dulces, de las 500 especies enlistadas para América Central, a los humedales costeros del golfo corresponde más de la mitad. Este valor como hábitat es su mayor aportación a la economía ecológica del Golfo, independientemente de sus vinculaciones energéticas y económicas con las pesquerías de alto valor (Toledo 1998a).

Asimismo, las cuencas hidrológicas del Golfo de México abarcan más de dos tercios de la masa continental del territorio mexicano vertiendo el 62% de la descarga fluvial del país. El 90% del gas natural y más del 80% de los hidrocarburos se generan en las ricas plataformas continentales de la región (Toledo 1998a). La producción de hidrocarburos del Golfo de México es superior a las 400 mil toneladas por día y existe un intenso tráfico de buques petroleros que movilizan más de 5 millones de barriles diarios, arrojando al mar aproximadamente 7 millones de barriles al año por el lavado de sus tanques (Botello *et al.* 1998).

Asimismo, el Golfo de México ha sido utilizado de manera intensa para el transporte marítimo y cuenta con 43 puertos que mueven 152,458,000 ton de carga (Rivera y Villalobos 2001), siendo los más importantes los puertos de Veracruz, Altamira, Coatzacoalcos y Progreso.

SOBREPESCA, CONTAMINACIÓN Y PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD EN EL GOLFO DE MÉXICO

La utilidad del enfoque integral de ecosistemas busca la identificación de las causas raíz de los problemas existentes y su vínculo con las actividades productivas que los generan. Algunos de los factores más relevantes que inciden directamente en el deterioro ambiental del Golfo de México son la pesca excesiva, las fuentes de contaminación y la pérdida de biodiversidad debido a la introducción de especies acuáticas invasivas.

SOBREPESCA

La condición de salud de las poblaciones sujetas a explotación pesquera tanto marinas como de aguas continentales, ha sido documentado ampliamente (Arreguín *et al.* 1999, Shipp 1999, Fernández *et al.* 2000, Rivera y Villalobos 2001, Alvarez *et al.* 2002, Hernández y Kempton 2003) quienes indican que las especies de peces, crustáceos y moluscos del Golfo de México de importancia comercial se encuentran sobreexplotadas, o en un estado de

deterioro severo. Esto es principalmente resultado del incremento del esfuerzo pesquero, de la sobrecapacidad de la pesca comercial (esfuerzo de pesca latente), y se traduce en una franca declinación de los recursos, así como los impactos de la pesca sobre especies no objetivo, comunidades bentónicas y fondos marinos (INP 1998 y 2001, SEMARNAP 2000).

La pesca industrial mexicana se concentra en la zona del Pacífico de México, en el Golfo de California; sin embargo, en el Golfo de México la flota industrializada más importante es la camaronera y se encuentra situada principalmente en Tamaulipas y Campeche. Por otro lado, las embarcaciones pequeñas y medianas de pesca artesanal se distribuyen ampliamente alrededor de todas las costas del país. Un poco menos de la mitad, (46%) de la flota de pesca artesanal se localiza en la costa del Golfo de México. Hay un crecimiento de la flota pesquera de 1,800 embarcaciones que se suman cada año a la flota, con lo cual el crecimiento acumulado para el período 1970-2001 es de 700% (SAGARPA 2002). El ingreso derivado de la pesca está distribuido de manera poco uniforme, y muestra una diferencia de cinco veces el promedio de ingreso entre los pescadores del Golfo de California y aquellos del Golfo de México (INEGI 2000).

Las tres pesquerías marinas comerciales o industriales más importantes del Golfo de México por el volumen de su captura en el año 2001 fueron el camarón (6,603 ton) pulpo (6,587 ton) y mero (6,312 ton), siendo estas pesquerías las más valiosas de la región del Golfo de México por el valor bruto de su captura; se trata de recursos marinos que hace más de 10 años (1991) alcanzaron una producción de 13,722 ton, 6,516 ton y 7,837 ton respectivamente. Para el caso del camarón dichas cifras representan una caída de más del 50%, debido quizás al incremento en el esfuerzo pesquero aplicado al recurso, que actualmente se realiza con 742 embarcaciones a lo largo de la costa de todo el Golfo de México, particularmente Tamaulipas-Veracruz, Campeche y Contoy (Caribe). Por su parte la pesca del pulpo se efectúa con 514 embarcaciones en la plataforma de Yucatán y Campeche, y el mero se pesca con 539 embarcaciones en la plataforma de Yucatán.

Las pesquerías artesanales de mayor importancia en el Golfo de México según las estadísticas pesqueras del 2001 fueron el pulpo, con 13,998 ton efectuada con 2,418 embarcaciones pequeñas, el tiburón que registró 8,308 ton y el camarón con 4,419 ton. Para los dos últimos no se dispone de registros del número de embarcaciones participantes en esta actividad. Al igual que en la pesca industrial, los niveles de captura para tiburón fueron de 12,094 ton y en camarón de 6,576 ton, mientras que la pesquería del pulpo

muestra un incremento en el esfuerzo de captura en 1991 registrando 8,815 ton y en 1996 12,503 ton.

CONTAMINACIÓN

El Golfo de México recibe las descargas de los principales ríos de Norteamérica; el país recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello *et al.* 1998). Prácticamente todas las poblaciones de las cuencas hidrológicas que vierten hacia el Golfo de México y ciudades costeras tan importantes como Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, Ciudad del Carmen y Campeche, descargan en sus aguas desechos domésticos sin ninguna clase de tratamiento previo. Las áreas densamente pobladas y distantes del altiplano utilizan a la región como sitio de descarga final. Por ello el Golfo de México muestra una acentuada y evidente contaminación bacteriológica, encontrándose desde el norte de Veracruz en la laguna de Tamiahua hasta la región sur del estado en el río Coatzacoalcos, en las lagunas del Carmen-Machona en Tabasco y en las lagunas de Términos, Balchacah, Puerto Rico así como en la Boca de Atasta en el estado de Campeche. Los análisis en sedimentos, organismos y en la red de agua potable de las principales localidades de la región muestran una alta y constante contaminación bacteriana del grupo coliformes totales y fecales en sitios cercanos a los centros urbanos, así como en áreas sin alta densidad poblacional (Wong y Barrera 1998).

Asimismo el fenómeno de hipoxia en el Golfo de México documentado por Rabalais *et al.* (1991y 1995) se presenta de manera repetida afectando grandes áreas de la zona norte del Golfo de México cercanas a la plataforma continental durante cada verano. Bajo dichas circunstancias se ha registrado la pérdida de diversidad de fauna macrobentónica y abundancia con bajas de oxígeno de 0.5 mg/L cercanas a condiciones de anoxia.

Por otra parte, se han registrado altos niveles de concentración de hidrocarburos (Botello *et al.* 1998) para el río Tuxpan, Puerto de Veracruz, laguna del Ostión y los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, en el estado de Veracruz; las lagunas El Carmen, La Machona y Mecoacán, en Tabasco; el sistema lagunar de Términos, en Campeche, y la Laguna de Bojórquez, en Quinta Roo. El 50% de los sistemas costeros estudiados rebasaron el límite permisible de 10 partes por billón (ppb) de hidrocarburos para aguas superficiales no contaminadas establecido por la UNESCO, detectando en la laguna de Términos 48 ppb. Los registros de hidrocarburos en mar abierto, tanto en el

golfo como en el Mar Caribe, rebasan de manera significativa el valor normativo de 10 ppb. Campeche tienen un promedio de 48 ppb; Veracruz 15.1 ppb y el Caribe 15 ppb. Las aguas del Golfo de México exceden el límite permisible de concentraciones para agua contaminada con respecto a la región del Gran Caribe. Estudios recientes señalan la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos tanto en sedimentos como en organismos (peces, moluscos y crustáceos), lo cual implica riesgos para la salud debido a la elevada toxicidad de estos compuestos y a su potencial carcinogénico (Botello y Ponce 1998). Las lagunas de Tabasco presentan niveles menores a la norma establecida por la UNESCO y pueden considerarse zonas no contaminadas por hidrocarburos (Botello *et al.* 1998).

Gold *et al.* (1999), reportan que las concentraciones total promedio de hidrocarburos en sedimentos para las lagunas de Santa Anita, Julivá, Tres Brazos, Carmen Machona, Mecoacán, Pom y Términos se encuentran por debajo del valor aceptado de 70 mg/g (peso seco), con excepción de la laguna de Julivá en la que hay pozos de petróleo. Esto indica que la presencia de petróleo en la región es obvia y aunque las concentraciones de hidrocarburos son relativamente bajas no deja de representar una preocupación su presencia en la mayor parte de las lagunas estudiadas.

PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

La pérdida de biodiversidad se debe a diversos factores, entre los que destaca la introducción de especies acuáticas exóticas que es uno de los riesgos ambientales más críticos a los que actualmente se enfrentan las especies, los hábitats acuáticos y la biodiversidad en general, con impactos serios en términos ecológicos y económicos. Desafortunadamente, los impactos de las introducciones varían con la geografía, el tiempo y las especies (Courtenay 1995). A esto se le puede agregar que la falta de registros de especies invasoras son consecuencia de la falta de datos biológicos, de sistemática y biogeográficos.

En la actualidad el transporte marítimo (agua de lastre de barcos) y la acuicultura están considerados como los vectores más importantes para la introducción de especies acuáticas invasoras, así como las introducciones intencionales de especies exóticas (algas, moluscos crustáceos, peces) con propósitos de producción en nuevas áreas o como introducciones accidentales (escapes). En ambos casos se puede presentar la transmisión y transferencia de especies asociadas, que incluyen enfermedades. De las especies

marinas cultivadas en México sólo dos son nativas varias de estas especies fueron sembradas intencionalmente bajo el auspicio de programas federales, mientras que algunas introducciones datan de hace más de cien años (e.g. carpas y truchas), otras especies fueron introducidas sólo recientemente (*Procambarus clarkii*, *Cherax quadricarinatus*) no obstante la existencia de diversos reportes sobre cierto número de virus, bacterias, hongos, proto-zoarios y metazoarios (Owens *et al.* 1992, Edgerton *et al.* 1994, Alvarez *et al.* 1998) que en algunos casos, como el de Ecuador ya han causado epizootias severas y la presencia de patógenos exóticos (Romero y Jiménez 2002). Debido al gran interés por esta especie particularmente en el estado de Veracruz y otros de la vertiente del Golfo de México, es conveniente que la autoridad ambiental verifique la situación actual sobre el cumplimiento de normas existentes en cuanto a su introducción, movilización y cultivo en apego a dichas normas, verificando si las granjas existentes cuentan con infraestructura adecuada y de seguridad, que eviten su dispersión y escape hacia los ecosistemas acuáticos del Golfo de México.

El movimiento de especies fuera de su zona de distribución natural con fines de cultivo, es un vector determinante en la diseminación de especies exóticas y en particular de agentes patógenos. En el Golfo de México existen 18 granjas y un total de 884 hectáreas dedicadas al cultivo de camarón marino del Pacífico *Litopenaeus vannamei*, que utilizan cientos de millones de organismos de camarón en cada ciclo de cultivo. En la vertiente del estado de Tamaulipas existen 13 granjas y 697 hectáreas de cultivo, en Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán existe un número modesto de granjas con un total aproximado de 190 hectáreas (Sagarpa 2002). Aunque hay laboratorios productores de larvas y poslarvas de camarón ubicados en las costas del Golfo de México, la camaronicultura en los estados del Golfo de México depende del suministro de poslarvas de camarón blanco del Pacífico, por lo cual es necesario extremar la vigilancia sobre las condiciones sanitarias de los camarones en las granjas de cultivo, para evitar los peligros de traslado de enfermedades y epizootias de esta especie a las especies del Golfo (Alvarez *et al.* 2000). Respecto a los patógenos que se introducen en aguas nacionales en el Golfo de México mediante la acuicultura, tenemos la rápida dispersión de la enfermedad del Síndrome de Taura, detectada por primera vez en Ecuador a mediados de 1992, y reportada un año después en Perú y Colombia y en 1994 en Honduras, Guatemala, El Salvador, EE.UU. (Hawái y Florida) y Brasil, registrándose en las costas de México a principios de 1995 (Alvarez *et al.* 1996). Ejemplo de su acción devastadora es el registro de producción de camarón por acuicultura

en el estado de Sinaloa que en 1996, debido a esta enfermedad, decreció en un 31.2% respecto a 1995 (Alvarez *et al.* 2000). Otros virus y patógenos han sido introducidos por la actividad acuícola como el virus de la mancha blanca. Las evidencias científicas disponibles en el mundo muestran la existencia y detección de al menos seis variantes del virus de la mancha blanca (WSSV) procedentes de seis regiones geográficas: China, India, Tailandia, Texas, Carolina del Sur y una última detectada en un Zoológico de los Estados Unidos de América, con los cuales Qiong *et al.* (1999) realizaron infecciones experimentales que determinan el grado de patogenicidad usando el camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* y el camarón rosado del Golfo de México *Farfantepenaeus duorarum*. En este estudio experimental se registraron mortalidades rápidas acumuladas en el camarón blanco *L. vannamei* del 100% y en el camarón rosado *F. duorarum* del 35-60%; el virus de mancha blanca proveniente de Texas resultó ser el más virulento. Asimismo, los virus de la mancha blanca y de la cabeza amarilla han sido reportados desde 1995 en las granjas de cultivo del estado de Texas donde han causado altas mortalidades, lo cual ha sido confirmado mediante estudios de infectividad, microscopía de transmisión electrónica (TEM) y reacción en cadena de la polimerasa (PCR) realizados por Nunan *et al.* (1998). Esto muestra que otra posible vía de introducción de estas enfermedades virales a los Estados Unidos de América es a través de la importación de camarón congelado. Durante la Reunión del Programa Nacional de Sanidad Acuícola organizada por la entonces Dirección General de Acuicultura de la SEMARNAP en octubre de 1998, Garza y colaboradores de la Universidad de Tamaulipas reportaron la presencia del virus del Síndrome de Taura y del *Baculovirus penaei* en camarón blanco (*L. vannamei*) y camarón azul (*L. stylirostris*) del Pacífico en organismos que actualmente se cultivan en granjas del estado de Tamaulipas en el Golfo de México, así como en camarón blanco en las costas del Golfo de México. Los resultados del análisis efectuado en muestras de camarón colectadas desde diciembre de 1997 por el Instituto Nacional de la Pesca de la especie *L. vannamei*, cultivado en granjas del Golfo de México, muestran la presencia de anomalías y malformaciones debidas a agentes patógenos y alteraciones congénitas (Chávez *et al.* 2002). Incluso se ha registrado la presencia del virus IHNV procedente del litoral Pacífico en muestras de camarón blanco (*L. setiferus*), camarón café (*F. aztecus*) y camarón rosado (*F. duorarum*) del Golfo de México (Chávez *et al.* 2002).

La presencia de los virus exóticos de origen asiático causantes de los Síndromes de la mancha blanca y de la cabeza amarilla puede llegar a tener un

impacto devastador, debido a que los mecanismos de defensa de los camarones americanos no los reconocen. El Síndrome de la Mancha Blanca fue reportado por primera vez en 1992 en Taiwán y el noroeste de China. Durante 1994 y 1995 se extendió a Tailandia, India, Japón, Corea y posteriormente a Texas, U.S.A. motivo por el cual SEMARNAP publicó dos Normas Oficiales de Emergencia NOM-EM-001-PESC-1999 y NOM-EM-003-PESC-2000 (SEMARNAP 1999 y 2000a) para prevenir su introducción a México. El Departamento de Vida Silvestre y Recursos Naturales de Carolina del Sur, ha clasificado al virus causante de la Enfermedad de la Mancha Blanca en la Categoría I, i.e., como un patógeno de riesgo potencial de reinfección o amplificación de prevalencia en poblaciones silvestres infectadas a partir de brotes agudos en instalaciones camaronícolas, sin que hasta el momento existan tratamientos para su prevención y control. Se ha detectado la presencia de las enfermedades de la Cabeza Amarilla (YHV) y de la Mancha Blanca (WSSV) en granjas de Carolina del Sur e incluso en 1998 se detectaron casos positivos de Mancha Blanca en cultivos de *L. vannamei*, así como en organismos silvestres de *L. setiferus*. Más grave aún es el hecho de que Sandifer (1998) ha detectado el material genético del WSSV en muestras de otros crustáceos silvestres en la misma región, tales como el camarón *Palaemonetes* sp. y algunos cangrejos como *Uca* spp., *Callinectes sapidus* y *Menippe mercenaria* (Alvarez et al. 2000) mostrando su enorme potencial de transmisión hacia otras especies de crustáceos nativos del Golfo de México.

Otras introducciones se deben a la industria del acuarismo (e.g. *Melanoides tuberculata*). Debido a su alta competitividad, la mayor parte de las especies exóticas se encuentran distribuidas en más de la mitad del territorio nacional. Otras amenazas concurrentes son la transfaunación de especies exóticas y nativas a distintas partes del país, la importación de variedades especiales resistentes a virus, que pueden haber sido portadoras de otras enfermedades, el cultivo de especies marinas en agua salobre o agua dulce (e.g. camarón), el cultivo de especies dulceacuícolas en agua salobre o marina (e.g. tilapia) y la dispersión natural, intencional o accidental de especies provenientes de otros países (e.g. langosta Australiana de agua dulce *Cherax*).

Finalmente, considerando que la acuicultura y el acuarismo son industrias millonarias, cada introducción de una nueva especie le debería costar al menos una pequeña fracción a estas industrias, incluyendo la investigación para determinar si las especies que se desea introducir son potencialmente invasivas (Mendoza 2001).

Procambarus clarkii es una especie nativa del centro y sur de los EE.UU. y del noreste de México. Se promovió la introducción de *P. clarkii* en varios estados de la República con el consecuente desplazamiento de las especies nativas, en parte debido a que es portadora de una enfermedad fúngica, causada por *Aphanomyces astaci*, la cual devastó a gran parte de los crustáceos dulceacuícolas europeos. En 1982, en la cuenca del río San Juan, la única especie registrada era la especie nativa *P. regiomontanus*. En 1985 se registraron tres machos y una hembra de *P. clarkii* coexistiendo con *P. regiomontanus*. De 1987 a 1989 *P. clarkii* aumentó de manera espectacular generando el colapso repentino de las poblaciones de *P. regiomontanus*. Algunas observaciones realizadas durante 1992 revelaron que *P. clarkii* representaba de 95 a 100% de los acociles presentes en la región. (Rodríguez-Almaráz y Campos 1994). Actualmente gracias a su propia capacidad de dispersión, así como a la introducción continua por el hombre, *P. clarkii* se encuentra presente en todos los estados del norte de México (Campos y Rodríguez-Almaráz 1992).

Los caracoles thiaridos (*Thiara granifera* y *Melanoides tuberculata*) capaces de reproducirse sexualmente y por partenogénesis y cuya dispersión se facilita por las aves migratorias se han establecido ampliamente a través de diferentes países del continente americano y desde hace algunos años se han expandido en el territorio nacional en 16 estados de la República, lo cual ha causado la disminución e inclusive la desaparición de diversas poblaciones de gasterópodos nativos (Contreras y Contreras 1999). Se han registrado colonizaciones a velocidades mayores de 1 km/año (Pointier, 1998) y en algunas regiones se han registrado densidades de hasta 51,650/m² que representan un grave peligro, ya que son hospederos intermediarios de tremátodos que han afectado al menos a 39 especies pertenecientes a 10 familias de peces en México (Scholz *et al.* 2003). Algunas de estas especies están en peligro de extinción, mientras otras son importantes en acuicultura o en la pesca deportiva. Sin embargo, el riesgo más grave consiste en que entre sus hospederos definitivos se encuentran ciertas aves e incluso el hombre.

HACIA EL MANEJO INTEGRADO DEL GRAN ECOSISTEMA MARINO DEL GOLFO DE MÉXICO

A escala global, existen 64 grandes ecosistemas marinos que producen la mayor parte del alimento mundial anual proveniente de la pesca. Estos son ecosistemas interconectados de mares y océanos desde la cuenca de los ríos

hasta las zonas costeras de lagunas y estuarios; plataforma continental, mares cerrados, semicerrados y las orillas de las corrientes marinas más importantes en su borde externo. En el Golfo de México ya se han presentado datos alarmantes sobre la situación de sobreexplotación de los recursos pesqueros y marinos, destrucción del hábitat, contaminación acelerada y el severo deterioro de los ecosistemas costeros y marinos.

Con ese escenario es necesario adoptar nuevos esquemas de manejo integrado para el orden de las actividades humanas en estos sistemas con el objeto de evitar mayores efectos económicos y sociales. Desde este punto de vista se ha utilizado una metodología de evaluación, consistente en cinco módulos, que tiene por objeto mover a los países que comparten un área geográfica dentro de un Gran Ecosistema Marino para adoptar aspectos de gobernabilidad práctica basados en el manejo integrado del ecosistema. Este enfoque se enlaza con los usuarios interesados, fomentando su participación, así como la de la comunidad académica y conlleva al desarrollo de instituciones de manejo adaptativo (Duda y Sherman 2002).

El concepto de enfoque de manejo integrado de ecosistemas busca asegurar la sustentabilidad intergeneracional de los bienes del ecosistema y los servicios del ecosistema o procesos incluyendo los ciclos de productividad y ciclos hidrológicos. Desde la perspectiva pesquera, se ha concluido que para mantener la producción pesquera se requiere mantener los ecosistemas que producen estos recursos. Este enfoque representa un cambio de paradigma, pasando de la visión de una sola especie o de enfoques temáticos sectoriales de corto plazo de uso general en la actualidad, hacia una visión más amplia de enfoque de manejo integrado del ecosistema que se mueve de forma espacial desde escalas pequeñas a las mayores y de las prácticas de manejo de corto plazo a las de largo plazo.

El enfoque de manejo integrado de ecosistemas reconoce las interconexiones entre los sistemas vivos y no vivos, así como con los humanos y los sistemas económicos y sociales, considerados como parte integral del ecosistema. Para ello se han realizado estudios específicos sobre las principales fuerzas que generan cambios en la producción de biomasa. Por ejemplo se han estudiado los cambios en la biodiversidad entre especies dominantes dentro de las comunidades de peces de un Gran Ecosistema Marino que son el resultado de una explotación excesiva, de cambios naturales del clima que suceden en el medio ambiente o por contaminación costera (Sherman 1999).

INTEGRACIÓN MODULAR DE LA INFORMACIÓN

El enfoque de cinco módulos para la evaluación y el manejo integral de un Gran Ecosistema Marino ha resultado ser de utilidad en diversos ecosistemas marinos. Estos procesos de integración modular son adaptados a las situaciones particulares de Análisis Diagnóstico Transfronterizo y Plan de Acción Estratégico para los grupos de países que comparten un Gran Ecosistema Marino y se basan en información y en la capacidad disponible. Estos procesos son críticos al integrar a la ciencia hacia el manejo de una manera práctica y para establecer los regímenes de gobierno adecuados para una situación particular. Los cinco módulos (productividad, recursos pesqueros y pesquerías, contaminación/salud del ecosistema, socioeconomía y gobernabilidad) se han adaptado para su uso en varios proyectos demostrativos de grandes ecosistemas marinos.

MÓDULO DE PRODUCTIVIDAD

Las escorrentías de los ríos que desembocan en el Golfo de México tanto en su parte norte correspondiente a los Estados Unidos de América como en la parte central y sur dentro de territorio de México, tienen una influencia marcada sobre la productividad, dinámica hidrográfica general del sistema y la variabilidad de las descargas hacia el Golfo de México. Sin embargo la influencia sumada de las descargas de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Grijalva Usumacinta es menor a la influencia del río Misisipi en la región entera del norte del Golfo de México (Rabalais *et al.* 1999), mientras que en la zona alta de la costa mexicana la descarga de los ríos Grande, Soto la Marina, Pánuco y Tuxpan tienen influencia en la hidrografía de la plataforma interna y provee de sedimentos también a las zonas externas de la región occidental del Golfo (Escobar-Briones y Soto 1997).

La productividad puede relacionarse con la capacidad de carga de un ecosistema para sostener los recursos pesqueros. Medir la productividad del ecosistema también puede servir como un indicador útil del crecimiento de un problema de eutrofización costera. En varios grandes ecosistemas marinos las excesivas cargas de nutrientes de las aguas costeras han sido relacionadas con los florecimientos de algas que han implicado la mortalidad masiva de recursos vivos, presencia emergente de patógenos (cólera, vibrio, marea roja, toxinas) y el crecimiento explosivo de especies no nativas.

El Gran Ecosistema Marino del Golfo de México es un importante centro de

biodiversidad marina, producción de alimento marino así como producción de petróleo y gas. Se distingue por la batimetría, hidrografía, productividad y trofodinámica, una productividad media anual de $300 \text{ g C/m}^2/\text{año}$. La interacción de numerosos procesos como las mareas, surgencias, fuerza meteorológica, circulación regional, efectos topográficos, ríos y corrientes de circulación ciclónicas contribuyen a complicar el esfuerzo de entendimiento de los procesos que controlan la productividad primaria del Golfo de México. Sin embargo es posible generalizar algunos aspectos que definen dicha productividad. Existe un amplio espectro de productividad pasando por las condiciones eutróficas de los sistemas estuarinos y aguas costeras hasta las oligotróficas de las aguas profundas, de modo que la productividad de las aguas costeras es, de manera típica, notablemente variable (Lohrenz *et al.* 1999). Las preguntas sobre los factores que controlan la productividad primaria del Golfo de México son numerosas y es crítica la información sobre los mecanismos de aporte de nutrientes para la producción primaria para identificar los nutrientes limitantes de la producción en diferentes regiones y tiempos. Los efectos de los nutrientes deben ser examinados en el contexto de otras variables ambientales y ecológicas de importancia (luz, disponibilidad, pastoreo) que permita la predicción de respuestas del ecosistema a los cambios naturales y antropogénicos.

MÓDULO DE RECURSOS PESQUEROS Y PESQUERÍAS

Los cambios de la biodiversidad entre especies dominantes en una comunidad de peces de un gran ecosistema marino han resultado en: explotación excesiva, cambios ambientales naturales originados por el cambio climático o contaminación costera. Este módulo incluye evaluaciones de pesquerías independientes, de arrastre de fondo; acústicas para las especies pelágicas y para la obtención de series de tiempo y para analizar los cambios de la biodiversidad de peces, así como los niveles de abundancia. Lo anterior puede ser evaluado en tiempo real.

A pesar de su bajo nivel de productividad primaria el Golfo de México, sostiene uno de los reservorios globales más importantes de biodiversidad y de biomasa de peces, aves marinas y mamíferos marinos. Sin embargo, dicha productividad está en riesgo por la sobrepesca, presentando la pesca evidencias de sobre capitalización y de cambios hacia niveles tróficos que generan cambios en la estructura de las cadenas tróficas, lo cual resulta en serias pérdidas económicas.

MÓDULO DE CONTAMINACIÓN Y SALUD DEL ECOSISTEMA

La contaminación ha sido una de las razones principales de los cambios de biomasa y producción. La salud del ecosistema es un concepto de amplio interés cuya definición científica es problemática. Para ser saludable y sustentable, un ecosistema debe mantener su nivel de actividad metabólica, así como su estructura interna y organización, y debe resistir el estrés externo con el tiempo y las escalas de espacio relevantes al ecosistema. Las estrategias de muestreo del ecosistema se enfocan hacia parámetros relacionados con la sobreexplotación, protección de especies por medio de la autoridad y la legislación, así como por otros factores biológicos y componentes físicos en la parte más baja de la cadena alimenticia.

El substrato geológico del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México contiene ricos depósitos de petróleo y gas, pero este beneficio trae consigo la amenaza de la contaminación. Por otro lado, la belleza natural de la región costera también ha permitido el desarrollo de una importante industria del turismo en gran parte del Golfo. Esta industria también se ve amenazada por las actividades antropogénicas, como la extracción de petróleo y el incremento de la urbanización.

En este módulo de contaminación y salud del ecosistema se utilizan peces, invertebrados bentónicos y otros indicadores de especies biológicas para medir los efectos de la contaminación sobre el ecosistema; el examen patológico de los peces, y el monitoreo de los contaminantes y sus efectos en los estuarios y zonas aledañas, así como en la columna de agua, el sustrato y grupos selectos de organismos. La implementación de protocolos para evaluar la frecuencia y efecto de los florecimientos de algas dañinas, enfermedades emergentes y otros múltiples problemas se incluyen en este módulo. Finalmente, el Golfo de México representa una oportunidad importante para monitorear el cambio climático en relación con las corrientes ciclónicas y la advección de nutrientes y transporte desde los efluentes de los ríos que desembocan en el Golfo de México.

MÓDULO SOCIOECONÓMICO

Este módulo se caracteriza por dar un mayor énfasis a la aplicación práctica de las evidencias científicas para el manejo de un gran ecosistema marino y para la integración explícita de análisis económico con evaluaciones basadas en la ciencia para asegurar que las medidas de manejo en perspectiva sean a un costo razonable. Los analistas de la economía y de la política

deben trabajar de manera conjunta con los ecólogos y otros científicos en la identificación y evaluación de opciones de manejo que sean tanto científicamente creíbles como económicamente prácticas en relación con el uso de los bienes y servicios del ecosistema.

El impacto de las actividades humanas, es el punto de inicio natural para caracterizar las formas en las que afectan el ecosistema y la sensibilidad esperada de estas funciones de fuerza sobre los tipos y niveles de actividad humana. La dinámica del crecimiento poblacional, el desarrollo costero y las prácticas de uso de suelo en las cuencas son claros ejemplos. Se requiere de un trabajo integral entre expertos de la ciencias naturales y sociales que permita distinguir los efectos aparentes como la eutrofización asociada a eventos de marea roja o cambios en las estructuras de las poblaciones de peces, que son confundidos por ciclos o dinámicas complejas en el sistema natural por sí mismo. Además, hay necesidad de separar de manera clara y de cuantificar algunas actividades que tienen efectos sobre el sistema natural como la descarga de aguas municipales, desechos agrícolas y el esfuerzo pesquero. Asimismo, es necesario evaluar los impactos y predecir los efectos económicos que se derivan de la degradación no controlada en los sistemas naturales, así como mostrar las bondades y beneficios del manejo integrado. El análisis inicial debe centrarse en aquellos sectores sociales y económicos que resentirán los mayores efectos, como la pesca, acuacultura, salud pública, recreación y turismo.

En términos de los servicios del ecosistema, también debe realizarse una evaluación y consideración especial sobre cómo los sistemas naturales generan valores económicos. Muchos de estos servicios y valores ambientales de los sistemas naturales no se comercializan en los mercados o no se incluyen en dichas evaluaciones, por lo que no deben ignorarse. Finalmente, es necesario evaluar los resultados antes citados, con la caracterización científica del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, en un marco de trabajo integral y analítico que permita la evaluación cabal de las prácticas humanas, efectos y opciones de manejo en la región. Esto es una forma de trabajo novedosa de la investigación reciente sobre la dimensión humana del cambio ambiental global y sobre las interacciones humanas con los sistemas marinos naturales.

MÓDULO DE GOBERNABILIDAD

Derivado de la participación de México en las Cumbre de la Tierra de Río de

Janeiro en 1992 y en la más reciente Cumbre Mundial de Desarrollo Sustentable de Johannesburgo en 2002, existen acciones específicas para cumplir el mandato de restauración de las poblaciones marinas sobreexplotadas hasta alcanzar niveles de máximo rendimiento sostenible, así como del uso del enfoque de ecosistema y de cómo incrementar y orientar las áreas marinas protegidas actuales mientras que se establece e implementa un mecanismo de restauración para las mismas.

Este módulo se basa en experiencias realizadas en varios grandes ecosistemas marinos para su manejo integral, para lo que se han alcanzado diversos acuerdos entre los Ministerios de Pesca, Medio Ambiente, Energía, Minería, Economía, Hacienda y Relaciones Exteriores, entre otros, de los países que circundan un gran ecosistema marino para iniciar la evaluación conjunta de recursos y de las actividades de manejo como parte de la construcción de instituciones. Para ello es necesario explorar los perfiles de gobernabilidad de los grandes ecosistemas marinos para determinar su utilidad y promover la sustentabilidad de los recursos de los ecosistemas a largo plazo.

APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE GRANDES ECOSISTEMAS MARINOS

De manera creciente México, Cuba y los Estados Unidos de América se han dado cuenta de las amenazas y riesgos y de los temas asociados al manejo del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, en donde destaca el deterioro de las áreas costeras adyacentes a los centros urbanos de la región como resultado de la contaminación, la pérdida de hábitat y la explotación no sostenible de los recursos marinos y naturales costeros.

Como ya se mencionó a lo largo de este capítulo, en México los aspectos de mayor relevancia se refieren a la sobreexplotación tanto por el sector industrial como por el artesanal de la pesca, en ausencia de acciones regionales de largo plazo acordadas que permitan compartir la extracción sustentable. Entre las consecuencias más relevantes se encuentran el incremento de los florecimientos de algas, eventos de bajas de oxígeno, derrames de petróleo, choques de embarcaciones sobre delicados arrecifes de coral, exploración petrolera continua y producción de contaminación en la costa y fuera de ella con el respectivo riesgo de contaminación que amenaza a la biodiversidad costera y marina. Un incremento aparente en la frecuencia de cambios ambientales marcados en el ecosistema se manifiesta mediante fluctuaciones en la distribución y abundancia de peces, aves y mamíferos; en

una cuenca que es altamente vulnerable a eventos de tormentas y condiciones de clima fluctuantes. Esto trae serios problemas que requieren de diferentes niveles de manejo en las áreas de la costa y marinas del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México.

El marco de trabajo modular de los grandes ecosistemas marinos está diseñado para vincular las evaluaciones científicas con los estados de cambio de los ecosistemas costeros, con el objetivo de apoyar la sustentabilidad de largo plazo y la calidad ambiental. Estos esfuerzos están dirigidos a la integración intrasectorial de la productividad costera, pesca, contaminación y salud del ecosistema, en relación con los beneficios socioeconómicos y regímenes de gobierno. La aplicación de estas evaluaciones en el ámbito del ecosistema y su manejo se apoya en parte, por los recursos del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) en colaboración con los gobiernos nacionales de los países participantes que se encuentran en los límites de alguno de los grandes ecosistemas marinos en Asia, Africa, América Central y América del Sur, así como en Europa del Este.

La estrategia operacional del GEF invita a desarrollar e implementar proyectos en el Programa de aguas internacionales, que puede alcanzar beneficios globales mediante la implementación por parte de los países de enfoques más estructurados para reestablecer y proteger el medio de las aguas internacionales. La meta del programa de Aguas Internacionales (IW) es apoyar a los países para hacer los cambios pertinentes respecto a las actividades humanas realizadas por diversos sectores de tal forma que un cuerpo de agua en particular y las múltiples cuencas de cada país puedan sostenerlas de manera sustentable. El GEF ha puesto especial prioridad en cambiar las políticas sectoriales y actividades responsables de las causas raíz más importantes y serias acerca de las preocupaciones transfronterizas ambientales, determinando las acciones de línea de base y acciones adicionales necesarias para cambiar las políticas sectoriales o actividades y encontrar inversiones de base, de tal suerte que el GEF pueda financiar los costos incrementales acordados de las medidas adicionales. Una de las áreas centrales del financiamiento del GEF está orientada a mitigar los factores de estrés sobre los Grandes ecosistemas marinos (GEM) y promover acciones prioritarias para mejorar la calidad ambiental y el desarrollo sustentable de los recursos dentro de un GEM que son importantes para el crecimiento económico y la seguridad alimentaria de los países en desarrollo de Asia, África, América Central y del Sur y del Este de Europa (Duda y Sherman 2002).

Con base en lo antes expuesto; México, Estados Unidos de América y

Cuba sometieron un proyecto al GEF en el 2000 para el Manejo Integral del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México, que fue aprobado en su primera fase (2002) denominada PDF-B (Project Development Fund). Esta fase deberá desarrollar un Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT-TDA) que fundamentará un Plan de Acción Estratégico (PAE-SAP), mismo que serán la base de un Proyecto de Gran Ecosistema Marino con una duración de cinco años, durante los cuales es factible realizar la multicitada integración modular, haciendo uso del gran cúmulo de información existente sobre este ecosistema, vinculando cada uno de sus componentes con el objeto de lograr su manejo integral y sustentable.

CONCLUSIONES

En los estados costeros vive el 12% de su población y por lo menos uno de cada cinco mexicanos dependerá directa o indirectamente de los recursos del Golfo de México hacia la mitad del siglo XXI. Si México logra articular en los próximos años un proyecto social sustentable, una alta proporción del capital natural requerido para alcanzar sus metas se encontrará en el Golfo de México. Sin embargo, uno de los elementos más críticos en esta ruta probablemente sea la profunda contradicción que existe entre la velocidad de las perturbaciones de las actividades humanas y la lentitud para controlar y reaccionar ante los cambios. El desafío es mayor cuando nos enfrentamos ante un ecosistema altamente interconectado, frágil y vulnerable. Asimismo, no podemos ignorar los contradictorios intereses políticos, comerciales y otros con respecto a los recursos marinos y costeros del Golfo de México. Dichos aspectos ponen a la vista los problemas vinculados con el deterioro de la calidad ambiental del Golfo de México. De ahí la importancia de que, desde una visión integral, se emprendan acciones locales, nacionales y regionales que lleven a soluciones conjuntas para el manejo integral del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Torres, P.A. Díaz-de-León-Corral, O. Ramírez-Flores y E. Bermúdez-Rodríguez 2002. National Fisheries Chart: a new instrument for fisheries management in inland waters. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 317-326.
- Alvarez, T.P., Hernández, M.M., Díaz, L.C., Romero, B.E. y F.L. Lyle 2000. Cultivo de

- Camarón. En: Alvarez, T.P., Ramírez, M., Torres, L.M. y A. Díaz-de-León (eds.). *Estado de Salud de la acuicultura, 2000*. Cap. XVI, 68 p. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 506 pp.
- Alvarez, T.P., Hernández, M.M y L. Astudillo 1998. Análisis de los aspectos patológicos mas relevantes de la langosta australiana de agua dulce del genero *Cherax*. Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de Investigación en Acuicultura. 15 pp.
- Álvarez, T.P., Hernández, M. y C. Díaz 1996. Research Guidelines on Diseases of the Cultured Shrimp in Mexico. En: NOAA. *Integrated assessment of shrimp pathogens: a Workshop*. NOAA, NMFS, USDA, CSREES, EPA. New Orleans, Louisiana. GSMFC 57- C-14.
- Arreguín, F., Sanchez, J., Flores, H.D., Ramos, M.J., Sanchez, G.P. y A. Arancibia 1999. Stock-Recruitment Relationships: A scientific Challenge to Support Fisheries Management in the Campeche Bank, Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 225-235.
- Botello, A.V., J.L. Rojas, J.A. Benítez y D. Zárate (eds.) 1998. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Univ. Autón. Campeche, Campeche. EPOMEX, Ser. Cient. 5, México.
- Botello, A.V. y G. Ponce 1998. El petróleo. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5.html>
- Campos, E. y G. Rodríguez-Almaráz 1992. Distribution of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852) (Decapoda: Cambaridae) in Mexico: An update. *J. Crustacean Biol.* 12(4):627-630.
- Chávez-Sánchez, M.C., Hernández-Martínez, M., Abad-Rosales, S., Fajer-Avila, E., Montoya-Rodríguez, L. y P. Álvarez-Torres 2002. Prevalence, Severity and Geographic Distribution of Infectious Diseases in Four Species of Wild and Cultured Penaeid Shrimp from the Gulf of Mexico. *Journal of the World Aquaculture Society* 33(3): 316-329.
- Contreras S. y M. Escalante 1984. Distribution and Known Impacts of Exotic Fishes in Mexico. En: W.R. Courtney y J.R. Stauffer (eds.). *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. John Hopkins University Press. Pp. 102-130.
- Contreras-Arquieta, A. y S. Contreras-Balderas 1999. Description, biology and ecological impact of the screw snail *Thiara tuberculata* (Müller, 1774) (Gasteropoda: Thiaridae) in Mexico. En: R. Claudi y J.H. Leach (eds.). *Non-indigenous freshwater organisms: vectors, biology and impacts*. Lewis Publishers, Boca Raton, EE.UU. Pp 151-160.
- Courtenay W.R. 1995. The case for caution with fish introductions. Pages 413-424. En: H.L. Schramm y R.G. Piper (eds.). *Uses and effects of cultured fishes in aquatic ecosystems*. American Fisheries Society Symposium 15. American Fisheries Society,

Bethesda, MD.

- Díaz de León, A. J. y J. C. Seijo 1992. A Multi-Criteria Non-Linear Optimization Model for the Control and Management of a Tropical Fishery. *Marine Resource Economics* 7: 23-40.
- Duda, A. M. y K. Sherman 2002. A new imperative for improving management of large marine ecosystems. *Ocean & Coastal management* 45: 797-833.
- Edgerton, B.F., L. Owens, A. Harris, A. Thomas y M. Wingfield 1995. A health survey of farmed redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens), in tropical Australia. Freshwater-Crayfish-Tenth-International-Symposium-of-Astacology. Louisiana. Pp. 322-338
- Escobar, Briones E. y Soto, L.A. 1997. Continental shelf benthonic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Res.* 17(6): 585-604.
- FAO 1995. *Código de Conducta para la Pesca Responsable. Organización para la Agricultura y la Alimentación*. FAO, Roma.
- Fernández, J.I., L. Schultz, A. Wakida, M. Medellín, M. Sandoval, G. Nuñez, J. Uribe, R. Castro, A. González, M. González, J. Santos, G. Marcet, F. Aguilar, B. Delgado, B. Chale 2000. Camarón Golfo de México y Mar Caribe. En: INP. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo 1999-2000*. Instituto Nacional de Pesca. México.
- Gold, B.G., Zapata, P.O., Noreña, B.E., Herrera, R.M., Ceja, M.V. y C.M. Zavala 1999. Oil Pollution in the Southern Gulf of Mexico. In Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 372-382.
- Hernandez, A. y W. Kempton 2003 Changes in fisheries management in Mexico: Effects of increasing scientific input and public Participation. *Ocean & Coastal Management* 46: 507-526.
- INEGI 2000. *Tabulados básicos nacionales*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INP 1998 *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1997-1998*. Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP, México.
- 2001. *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; Evaluación y Manejo, 1999-2000*. SAGARPA, Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Lohrenz, S.E., Fahnenstiel, G.L., Redalje, D.G., Lang, G.A., Daga, M.J., Whiteledge, T.E., y Q. Dortch 1999. The interplay of nutrients, irradiance and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. *Cont. Shelf Res* 19: 1113-1141.
- Mendoza, R. 2001. Examples from Aquaculture in Mexico. En: Preventing the Introduction and Spread of Aquatic Invasive Species in North America. North American Commission for Environmental Cooperation (CEC). Workshop

Proceedings, 28–30 March 2001

- Miller, R. R., J. D. Williams y J. E. Williams 1989. Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14(6): 22-38.
- Nunan, L.M., B.T. Poulos y D.V. Lightner 1998. The detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) and Yellow Head Virus (YHV) in imported commodity shrimp. *Aquaculture* 160:19-30.
- Owens, L., P. Muir, D. Sutton y M. Wingfield 1992. The pathology of microbial diseases in tropical Australian Crustacea. Diseases in Asian Aquaculture I. Proceeding of the First Symposium in Diseases in Asian Aquaculture. November 1990. Asian Fisheries Society. Pp. 165-172.
- Pointer, J.P., Samadi, S., Jarne, P. y B. Delay 1998. Introduction and spread of *Thiara granifera* (Lamarck, 1822) into Martinique island, French West Indies. *Biodiversity and Conservation* 7: 1277-1290.
- Qiong, W., White, L.B., Redman y V.D. Lightner 1999. Per os challenge of *Litopenaeus vannamei* postlarvae and *Farfantepenaeus duorarum* juveniles with six geographic isolates of white spot syndrome virus. *Aquaculture* 170:179-194.
- Rabalais, N.N., Turner, R. E. Wiseman W. J., Jr y D. E. Boesch 1991. A brief summary of hypoxia on the northern gulf of Mexico continental shelf: 1985-1988. En: R. V. Tyson y T.H. Pearson (eds.). *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. Geological Survey Special Publication No. 58. The Geological Society, Londres.
- Rabalais, N.N., Smith, L.E., Harper, D.E.. Jr. y D. Justic 1995. Effects of Bottom water Hypoxia on Benthic Communities of the Southeastern Louisiana Continental Shelf. OCS Study/MMS 94-0054. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiana.
- Rabalais, N.N., Carney, R.S. y B.E. Escobar 1999. Overview of Continental Shelf Benthic Communities of the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 171-195.
- Rivera, A.E. y G. Villalobos 2001. The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean and Coastal Management* 44: 729-756.
- Rodríguez-Almaraz, G. y E. Campos. 1994. Distribution and status of the crayfishes (Cambaridae) of Nuevo Leon, Mexico. *J. Crustacean Biol.* 14(4): 729-735.
- Romero, X. y R. Jiménez 2002. Histopathological survey of diseases and pathogens present in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens), cultured in Ecuador. *Journal of Fish Diseases* 25(12): 737-742.
- SAGARPA 2002. *Anuario estadístico de Pesca 2001*. CONAPESCA/SAGARPA, México.
- Sandifer, P. 1998. Shrimp Virus Risk Management. Development of South Carolina Department of Natural Resources Regulatory Policies. Shrimp Virus Management

- Workshop Proceedings. New Orleans, Louisiana.
- SEMARNAP 1999. NOM-EM-001-PESC-1999, Que establece los requisitos y medias para prevenir y controlar la introducción y dispersión de las enfermedades virales denominadas Mancha Blanca "White Spot Baculo Virus" (WSBV) y Cabeza Amarilla "Yellow Head Virus" (YHV). *Diario Oficial de la Federación* 19 de marzo de 1999. México.
- 2000 Carta Nacional Pesquera 2000. *Diario Oficial de la Federación*, 17 de agosto. México.
- 2000a. NOM-EM-003-PESC-2000, Que establece los requisitos para determinar la presencia de enfermedades virales de crustáceos acuáticos vivos, muertos, sus productos o subproductos en cualquier presentación y artemia (*Artemia* spp.), para su introducción al territorio nacional y movilización en el mismo. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de abril del 2000. México.
- Sherman, K. 1999. Modular approach to the Monitoring and Assessment of Large Marine Ecosystems. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 34-63.
- Shipp, R.L. 1999. Status of Exploited Fish Species in the Gulf of Mexico. En: Kumpf, H., Steidinger, K. y K. Sherman (eds.). *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Inc. Pp. 196-204.
- Scholz, T., M.L. Aguirre-Macedo y G. Salgado-Maldonado 2003. Trematodes of the family Heterophyidae (Digenea) in Mexico: a review of species and new host and geographical records. *Journal of Natural History* 35(12):1733-1772.
- Toledo, A. 1998. Economía de la biodiversidad. PNUMA, Of. Reg. América Latina y el Caribe, Ser. Textos Bás. Form. Ambient., México, D.F. 273 pp.
- 1998a. Un Patrimonio Natural Irremplazable. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5>.
- UNCLOS 1982. The Law of the Sea. Official Text of the United Nations Convention on the Law of the Sea with Index and Final Act of the Third United Nations Conference on the Law of the Sea. United Nations, New York.
- Wong, I. y Barrera, G. 1998. La contaminación microbiológica. En: Al rescate del Golfo de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/ecologia/98/0398golf5>.

LA NORMATIVIDAD DE LAS ZONAS COSTERAS Y MARINAS

Aquilino Vázquez García

INTRODUCCIÓN

Nuestro país enfrenta en el plano ambiental, el compromiso más exigente de su historia en cuanto a la regulación y protección de su diversidad biológica tanto en los ambientes terrestres como en los costeros y marinos. Por ello, el gobierno mexicano se ha esforzado en crear y mantener actualizado el marco jurídico aplicable al ambiente y a sus recursos naturales.

En relación con los ambientes costeros y marinos, estos constituyen un complejo y diversificado conjunto de ecosistemas terrestres y acuáticos, que incluyen los mares, lagunas costeras, la Zona Federal Marítimo Terrestre (ZOFEMAT), así como las playas y terrenos ganados al mar; los cuales son de gran importancia dada la influencia que ejercen sobre las variables sociales, económicas, ecológicas, e incluso, en lo que respecta a la política exterior de nuestro país.

Como referencia podemos mencionar que México cuenta con una enorme riqueza en sus ecosistemas marinos: 11,000 km. de litoral (figura 1), 500,000 km² de plataforma continental, 16,000 km² de hectáreas de superficie estuárica y cerca de 12,500 km² de lagunas costeras, los cuales brindan a nuestro país una riqueza biológica integrada por aproximadamente 300 especies potencialmente explotables, 25 especies comercialmente explotadas y un número estimado de 33 especies ícticas exóticas, con lo cual el país

obtiene un volumen de pesca estimado en 1.3 millones de toneladas anuales, siendo este un capital ambiental potencial superior a la de muchas naciones (INE 1996).

FIGURA 1: ZONAS COSTERAS MEXICANAS



Fuente: INE 2002.

A la par de las transformaciones económicas y sociales que se han presentado en nuestro país, también se han registrado significativos grados de alteración de sus ecosistemas costeros y marinos, por lo cual la Administración Pública Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ha orientado sus acciones a atender los más grandes desequilibrios de nuestro entorno, llevando a cabo acciones como la creación e integración de áreas naturales protegidas, además de la aplicación de los distintos instrumentos legales aplicables a las zonas costeras y marinas, tales como leyes, reglamentos y programas sectoriales.

El presente capítulo tiene por objeto hacer una exposición del régimen jurídico aplicable a los ambientes costeros y marinos, analizando la concurrencia de diversos ordenamientos en la materia, los cuales regulan temas como las aguas, los bosques, la vida silvestre, la pesca, la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, entre otros. De igual manera, se analiza la vinculación de la norma jurídica con los aspectos técnicos y ecológicos que constituyen el sustento de la misma.

Hablar de la normatividad aplicable a las zonas costeras y marinas y su interrelación con la diversidad biológica, implica la realización de un análisis de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y las leyes en cada una de las materias en las que se sustenta, desde el punto de vista jurídico, la conservación y en su caso, restauración de estos ecosistemas.

Considero pertinente mencionar, que merece suprema atención el hecho de que el sistema jurídico mexicano debe ser actualizado y sistematizado para subsanar los vacíos normativos que impiden la adecuada protección, conservación y manejo de los recursos naturales en las zonas costeras y marinas. A partir de dicha actualización, debe definirse un cuadro normativo de cooperación intersecretarial, para que en conjunto, y de acuerdo con sus respectivas atribuciones y competencias, intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marino y preservar y restaurar el equilibrio ecológico de sus ecosistemas.

LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

En este apartado, se hará una revisión del marco constitucional para la regulación de los ambientes marino y costero, analizando para tal efecto los contenidos de los artículos 27, 42, 48, 73, 2 y 4.

ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL

El principio de la conservación de los recursos naturales en general, se incorpora en la Constitución Política de 1917 como resultado de los profundos cambios con respecto a la Carta de 1857 en cuanto a las ideas sobre la función social de la propiedad privada. El sistema de propiedad establecido en la Constitución Política de 1917 descansa en la premisa de que la propiedad de las tierras y las aguas pertenece originariamente a la Nación, la cual tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a particulares, constitu-

yendo la propiedad privada, pero conservando el dominio de las mismas, así como el de revertir dicho dominio a través del derecho de expropiación que establece el artículo 27 Constitucional.

De igual forma, quedó asentado en el artículo 27 constitucional, que la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que requiera el interés público, por lo que en nuestra Constitución quedó explícita la función social de la propiedad privada. Es importante resaltar que, en este punto, nuestra Carta Magna se anticipó a las Constituciones de muchos otros países.

Los párrafos tercero y cuarto de este artículo otorgan a la Nación el dominio inalienable e imprescriptible de todos los recursos naturales del suelo, el subsuelo, la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, los mares territoriales y patrimoniales, los ríos y lagos, las lagunas y los esteros y en general, la propiedad originaria de todas las tierras y aguas en su espacio geográfico y legal. Una conclusión inmediata de este párrafo es la obligación y el derecho que la Nación tiene de legislar y regular sobre el uso y la protección de dichos recursos.

Otras ideas del párrafo tercero del artículo 27 constitucional están ligadas a las anteriores, por ejemplo, la disposición en virtud de la cual la Nación tendrá en todo tiempo el derecho de regular el aprovechamiento de los recursos naturales susceptibles de apropiación, en beneficio social, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y cuidar de su conservación.

En este sentido, este párrafo se traduce en el derecho de la Nación para asegurar la conservación de los recursos naturales y consagra la función social de la propiedad privada, pues queda claro que los atributos propios del dominio pueden ser limitados por razones de interés público. La importancia ambiental de este principio es evidente, pues de él depende la potestad del Estado para exigir la limitación de ciertos atributos de la propiedad privada.

Siguiendo el postulado del mencionado párrafo tercero del artículo 27 constitucional, el Estado en su calidad de garante de la conservación de los recursos naturales tiene la potestad de *«...que con ese objeto se dictarán las medidas necesarias para... evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad»*.

Es evidente que las ideas del párrafo tercero de este artículo sobre la distribución equitativa de los recursos naturales y su conservación están vinculadas entre sí, pues con frecuencia, la inequidad en su distribución repercute en el deterioro o la sobreexplotación de dichos recursos.

Por otra parte, la idea de «conservación de los recursos», no se opone al «aprovechamiento de dichos recursos», pues lo que se consagra en la Constitución es el derecho de la Nación de regular dicho aprovechamiento en beneficio social.

En este orden de ideas, queda implícito que en nuestra Nación, los recursos naturales deben ser utilizados racionalmente, esto es, de tal modo que se permita su conservación, hecho que puede deducirse del mismo párrafo tercero que impone al Estado el deber de adoptar las medidas necesarias para evitar la destrucción de los recursos naturales.

En lo que se refiere a los hidrocarburos, el régimen jurídico de éstos lo establece el propio artículo 27 Constitucional, disponiendo que corresponde a la Nación el dominio directo del *«petróleo y de los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos...»*, agregando que *“no se otorgarán concesiones ni contratos, ni subsistirán los que, en su caso, se hayan otorgado y la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos, en los términos que señale la ley reglamentaria respectiva”*.

De acuerdo con el artículo 8° de la Ley Reglamentaria en el Ramo del Petróleo, el Ejecutivo Federal se encuentra facultado para establecer zonas de reservas petroleras en terrenos que por sus posibilidades petrolíferas así lo ameriten, con la finalidad de garantizar el abastecimiento futuro del país. La incorporación de terreno a las reservas y su desincorporación de las mismas, deben ser hechas por decreto presidencial, fundado en los dictámenes técnicos respectivos.

En lo relativo a la protección del ambiente, respecto de los efectos de las actividades petroleras, hay que decir que esta cuestión debe analizarse a partir de lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo, que establece lo siguiente: *«La industria petrolera es de utilidad pública, preferente sobre cualquier aprovechamiento de la superficie y del subsuelo de los terrenos, incluso sobre la tenencia de ejidos y comunidades y procederá la ocupación provisional, la definitiva o la expropiación de los mismos, mediante la indemnización legal, en todos los casos en que lo requiera la Nación o su industria petrolera»*.

Por lo anterior se desprende que las disposiciones de la ley y su reglamento tutelan la protección del recurso petrolero, quedando sujeta dicha actividad a observar los criterios de sustentabilidad de los recursos naturales, así como los de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente que establece la legislación ambiental.

De este artículo se desprende, además de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales que regula

todo lo relativo al uso y protección de las aguas en el territorio nacional, incluyendo diversos aspectos relativos a su posible contaminación, la Ley General de Vida Silvestre que regula la conservación y aprovechamiento de la flora y fauna silvestres y la Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable, tienen por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, incluyéndose los litorales de zonas marítimas.

ARTÍCULOS 42 Y 48 CONSTITUCIONALES

A efecto de ubicarnos en el tema de las zonas costeras y marinas, es menester conocer lo que abarca el territorio nacional en donde el Estado mexicano ejerce derechos de soberanía y jurisdicción en los términos del artículo 42 constitucional:

- I. El de las partes integrantes de la Federación;
- II. El de las islas, incluyendo los arrecifes y cayos en los mares adyacentes;
- III. El de las islas de Guadalupe y las de Revillagigedo, situadas en el Océano Pacífico;
- IV. La plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, cayos y arrecifes;
- V. Las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional, y las marítimas interiores;
- VI. El espacio situado sobre el territorio nacional, con la extensión y modalidades que establezca el propio Derecho Internacional.

Aunado a lo anterior, el artículo 48 constitucional establece que dependerán directamente del gobierno de la Federación las islas, los cayos y arrecifes de los mares adyacentes que pertenezcan al territorio nacional, la plataforma continental, los zócalos submarinos de las islas, de los cayos y arrecifes, los mares territoriales, las aguas marítimas interiores y el espacio situado sobre el territorio nacional, con excepción de aquellas islas sobre las que hasta la fecha hayan ejercido jurisdicción los estados.

ARTÍCULO 73 CONSTITUCIONAL

En 1971, se incorporó por primera vez a la Constitución Política de nuestro país la idea de la prevención y control de la contaminación. Por lo mismo, es

también la primera vez que se considera en ella el concepto de contaminación ambiental, o sea, la presencia en el ambiente de una o más sustancias ajenas a él, cuyas concentraciones exceden a las naturales, o bien, que lo degradan, ya sea en su conjunto o a cualquiera de sus elementos. Es evidente que este concepto es de importancia primordial en la protección del ambiente, puesto que, si no se realizan actividades de prevención y control de la contaminación, es imposible lograr dicha protección.

Aunque la protección ambiental llega más allá del control y prevención de la contaminación, pues incluye la protección de los recursos naturales y su aprovechamiento racional, cuando este concepto se introdujo en nuestra Carta Magna, predominaba la percepción de que el mayor peligro para el ambiente - quizás el único - tenía que ver con los efectos nocivos derivados de la contaminación, proveniente de los países industrializados en los cuales ese era el mayor problema ambiental. Para permitir la actuación del Estado en estos asuntos, se reformó la Constitución en su artículo 73 y, posteriormente, se emitió la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación (D.O.F. 31 de marzo de 1971), cuyo Capítulo Tercero estuvo dedicado a la *“Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas”*.

La reforma de 1971 fue insuficiente para proteger el ambiente, puesto que no le proporcionó a la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (LFPCCA) el sólido fundamento constitucional que requería, pues dicha ley no debería ser sólo un ordenamiento jurídico en relación con la prevención y control de la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud humana, o sea, en relación con la «salubridad general», sino que, más allá de esto, debería tratar la protección del ambiente. Por tanto, la materia a la que se debería haber dado sustento constitucional era la protección del ambiente en general, la cual no podía ser un asunto de competencia exclusivamente federal, ni sólo del sector salud.

Posteriormente, se expidió la Ley Federal de Protección al Ambiente (DOF 11 de enero de 1982), que al igual que la LFPCCA tuvo un carácter centralizador, a pesar de que esta tendencia no es la que priva en la actualidad en el país. El capítulo Tercero de dicha Ley considera la protección al medio marino, cuyo enfoque se restringe a la contaminación de las aguas, sin tomar en cuenta que el daño ambiental puede ser producto de una diversidad de factores, los cuales no necesariamente son producto directo de la contaminación. Esta Ley consideraba la contaminación como un problema de salud pública, razón por la cual, el ambiente como tal no era considerado como un sujeto al cual se le debiese proporcionar una protección jurídica especial.

Con motivo de las reformas que se hicieron al artículo 4o. constitucional en 1983, se dispuso que la Ley estableciera la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general. Con esta modificación se intentó resolver la federalización irrestricta que había sido resultado de las reformas al artículo 73 antes mencionadas.

En 1987 se reformó el artículo 73 constitucional, para adicionar la fracción XXIX-G, que otorga al H. Congreso de la Unión la facultad para expedir leyes que establezcan la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico, lo que abrió el cause legal para la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y proporcionó el sustento jurídico necesario para ceder a los estados y municipios, atribuciones en materia ambiental.

ARTÍCULO 25 CONSTITUCIONAL

En diciembre de 1982 se hicieron nuevas reformas a la Constitución Política del País, las cuales entraron en vigor en 1983. Estas tuvieron por objeto incorporar de manera explícita, el concepto de protección del ambiente en su conjunto, a través de la expresión «cuidado del medio ambiente». Esta reforma amplió los conceptos que ya estaban incorporados en el artículo 27, para incluir la conservación de los recursos productivos.

Con dichas reformas, el texto de este artículo fue modificado, en cuanto al desarrollo económico del país, para incluir: «...apoyar e impulsar a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolas a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente».

Entre los puntos de interés en estas modificaciones están, por ejemplo, el hecho de que se ponga el interés público y la conservación de los recursos productivos por encima de los intereses particulares de las empresas, así como el que, por primera vez, se incorporen a la Constitución las palabras «medio ambiente», al tiempo que se le considera separado de los recursos productivos y se le de rango constitucional a su «cuidado».

Las ideas de este artículo 25 modificado están vinculadas con las que se expresan en el artículo 27, pero su ámbito es algo distinto, pues el artículo 25 se refiere a las actividades de las empresas. Esta nueva redacción está también vinculada con el artículo 5to., que consagra la libertad económica, pero señala que puede

ser objeto de restricciones. El texto del párrafo sexto del artículo 25 proporciona la base constitucional para dichas restricciones, aunque este fundamento se encontraba ya previsto en el artículo 5to. constitucional desde 1917.

Aunque como ya se dijo, a primera vista podría pensarse que el artículo 25 reitera lo establecido en el artículo 27, de hecho es más amplio, porque se refiere a los recursos productivos en general y no sólo a los recursos naturales susceptibles de apropiación, al tiempo que no sólo se refiere a la conservación de dichos recursos, sino a la del ambiente en general. Esta reforma es, por tanto, la primera que introduce en la Constitución conceptos ambientales básicos.

En la reforma al artículo 25 constitucional, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* de el 28 de junio de 1999, se incorporó a la Constitución la base “sustentabilidad” en el desarrollo nacional, que posteriormente se vino a complementar con la reforma a la Ley de Planeación (DOF del 23 de mayo de 2002), a efecto de integrar a la planeación nacional de desarrollo, la protección al ambiente y aprovechamiento racional de los recursos naturales, con el propósito de contribuir a la transformación de la realidad del país.

ARTÍCULO CUARTO CONSTITUCIONAL

Este artículo forma parte del Título Primero, Capítulo primero de la Constitución, de las Garantías Individuales y establece el derecho de toda persona a la protección de la salud: especifica que la Ley definirá las bases y modalidades para el acceso a la salud y establecerá las modalidades de colaboración entre los estados y la federación para dichos fines.

El derecho de toda persona a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar, quedó integrado dentro del catálogo de las llamadas garantías individuales en nuestra Constitución (Reforma de 1999).

LAS CUATRO PERSPECTIVAS CONSTITUCIONALES

De lo que se ha discutido anteriormente, es evidente que conforme a nuestra Constitución, la protección ambiental en México se lleva a cabo actualmente desde los siguientes ángulos:

- a) El Estado garante del derecho de toda persona a un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar (artículo 4º).
- b) La conservación de los recursos naturales susceptibles de apropiación. (artículo 27).

- c) La prevención y control de la contaminación ambiental en cuanto a sus efectos sobre la salud. (artículo 73).
- d) El cuidado del medio ambiente en relación con el uso de los recursos productivos por parte de los sectores social y privado, así como la “sustentabilidad” del desarrollo (artículo 25).

Como es evidente, estas cuatro vertientes son el resultado de ideas parciales y cambiantes sobre los principales temas ambientales. Estas se fueron modificando conforme fue evolucionando la visión sobre los problemas ambientales y sus consecuencias; se fueron reformando los artículos constitucionales que se creyeron más adecuados para incluir estas preocupaciones. Sin embargo, en ninguno de los casos se hizo una reforma de fondo que permitiera tratar estas cuestiones de manera integral.

De los preceptos constitucionales arriba referidos, se deriva una serie de cuerpos normativos que regulan materias relacionadas con la protección del ambiente y de los recursos naturales, de los que destaca la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, ya que es el instrumento jurídico que regula de manera global los aspectos relacionados con las citadas materias. No obstante lo anterior, las Leyes de Aguas Nacionales, de Pesca, General de Desarrollo Forestal Sustentable, General de Vida Silvestre, General para la Prevención y Gestión integral de los Residuos, de Metrología y Normalización, la Ley Federal del Mar, además de contener disposiciones relativas a la explotación y aprovechamiento de recursos naturales, incluyen regulaciones relacionadas con la protección y conservación de los mismos.

AVANCES DEL MARCO LEGAL

En los últimos años, México ha experimentado un importante fortalecimiento del marco legal e institucional para la protección del ambiente y la preservación de los recursos naturales. Aunque podemos encontrar antecedentes legislativos referidos a las materias señaladas desde la década de 1920, es a partir de 1972, con la expedición de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, cuando se inicia el proceso tendiente a consolidar la gestión ambiental. Dicho proceso adquiere una dinámica especial a partir de 1988, con la modificación a diversos preceptos constitucionales con el propósito de incorporar el más alto nivel normativo, principios en la materia, así como con la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Entre 1988 y 1993, se expidieron leyes ambientales en todas las entidades federativas y en algunos casos se reglamentaron sus disposiciones a nivel tanto estatal como municipal. En la protección de los recursos naturales los datos se remontan a la *Ley del Mar Territorial de 1902*, *Ley Forestal de 1926*, *Ley de Pesca de 1925*, *Ley de Caza de 1940*, y a la *Ley de Aguas de Jurisdicción Federal de 1910*.

Por otra parte, la organización de la administración pública tanto federal como local ha venido experimentando cambios importantes tendientes a consolidar en una sola instancia la atención de los principales aspectos que involucran la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

A continuación, se hace un recuento de la evolución de la legislación ambiental mexicana.

Primera etapa: Falta título

Constitución (1917)

Art. 27: Protección de los Recursos Naturales.

Art. 73: Prevención y control de la contaminación.

Art. 25: Cuidado del Ambiente.

Ley de Aguas de Propiedad Nacional (1934).

Código Sanitario (1955)

Control de la contaminación como problema de salud pública.

Segunda etapa (1970–1982). Primeros intentos para sistematizar la legislación ambiental

Expedición de la primera Ley Ambiental: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental (D.O.F. 31 de marzo de 1971).

Se crea la Subsecretaría de Mejoramiento Ambiental (1972).

Conferencia Internacional sobre el Medio Ambiente (Estocolmo 1972) sobre desarrollo y ambiente. Ecodesarrollo.

Tercera etapa (1982–1987). Bases para la integración de la gestión ambiental

Expedición de la Ley Federal de Protección al Ambiente (D.O.F. 11 de enero de 1982).

Creación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1982).

(Continúa)

Se reforma el artículo 25 Constitucional (1983).

Informe final de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo. Nuestro futuro común (1987). Desarrollo sostenible.

Cuarta etapa (1987–1994). Integración y consolidación de la legislación ambiental

Reforma a los artículos 27 y 73 Constitucionales.

Expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (D.O.F. 28 de enero de 1988).

Creación de la Secretaría de Desarrollo Social.

Creación del Instituto Nacional de Ecología (INE).

Creación de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Expedición de leyes ambientales locales.

Creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) (1994).

Quinta etapa (1995–2001). Redimensionamiento de la legislación ambiental

Plan Nacional de Desarrollo 1995 – 2001

Programa de Medio Ambiente 1995 – 2001

Reformas a la LGEEPA de 1996

- Incorporación de incentivos fiscales y económicos.
- Inclusión de principios como “el que contamina paga”.
- Orientación de acciones hacia la prevención de la contaminación.
- Perfeccionamiento de los instrumentos de política ambiental.

Sexta etapa (2001-2003). Desarrollo actual de la legislación ambiental

Reformas a la Ley de Planeación (D.O.F. 23 de mayo de 2002)

Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006

Plan Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006

Programa Nacional Hidráulico 2001-2006

Plan Nacional Forestal 2001-2006

Programa de Procuración de Justicia Ambiental 2001-2006

Programa de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas 2001-2006

Cruzada por los Bosques y el Agua

Cruzada por un México Limpio

MARCO JURÍDICO DE LOS MARES Y LITORALES MEXICANOS

A continuación se describen brevemente los diferentes ordenamientos jurídicos que en la escala federal regulan la materia que nos ocupa y se realiza un comentario general sobre las características de la legislación local.

LEY FEDERAL DEL MAR

La Ley Federal del Mar fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 8 de enero de 1986, y su reglamento el 21 de agosto 1991 y establece que las zonas marinas mexicanas son:

- a) El mar territorial.
- b) Las aguas marinas interiores.
- c) La zona contigua.
- d) La zona económica exclusiva.
- e) La plataforma continental y las plataformas insulares.
- f) Cualquier otra permitida por el derecho internacional.

Las materias reguladas por esta ley son:

- Instalaciones marítimas.
- Recursos y aprovechamiento económico del mar.
- Protección y preservación del medio marino.
- Investigación científica marina.
- Zonas marinas mexicanas.

De igual forma, el citado ordenamiento dispone que “la exploración, explotación, beneficio, aprovechamiento, refinación, transportación, almacenamiento, distribución, y venta de los hidrocarburos y minerales submarinos, en las zonas marinas mexicanas, se rige por las Leyes Reglamentarias del artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo y en Materia Minera y sus respectivos Reglamentos” (artículo 19).

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la protección al Ambiente se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el 28 de enero de 1988 y se estructu-

ra en seis títulos que se pueden concretar en las siguientes temáticas: disposiciones generales (título primero), biodiversidad (título segundo), aprovechamiento sustentable de los elementos naturales (título tercero), protección al ambiente (título cuarto), participación social e información ambiental (título quinto), medidas de control y seguridad y sanciones (título sexto).

Las principales materias reguladas en esta Ley son: evaluación de impacto ambiental, ordenamiento ecológico, normas oficiales mexicanas, protección atmosférica, protección de las aguas, materiales y residuos peligrosos y sólidos, actividades altamente riesgosas, ruido, áreas naturales protegidas, flora y fauna silvestre y acuática así como inspección y vigilancia.

Competencias: la Ley establece que la distribución se da en función de tres criterios básicos, el primero se establece en relación con la materia o naturaleza del objeto a regular, el segundo se refiere al territorio donde la actividad se lleva a cabo y el último a la magnitud o gravedad potencial de los efectos ambientales.

Política ambiental: la Ley establece los lineamientos que deben atenderse en su elaboración, así como los instrumentos a través de los que se ejecutan los objetivos de las políticas establecidas, tanto en el Plan Nacional de Desarrollo, como en el Programa Nacional del Medio Ambiente. Estos instrumentos se refieren a los siguientes aspectos; el ordenamiento ecológico del territorio, la promoción del desarrollo, la regulación ambiental de los asentamientos humanos, la evaluación del impacto ambiental, las normas oficiales mexicanas, las áreas naturales protegidas, la investigación y la educación ecológica, y la información y vigilancia.

Protección de los recursos naturales: se realiza a través de la regulación sobre establecimiento de áreas naturales protegidas y de criterios para el aprovechamiento racional del agua y de los ecosistemas acuáticos, del suelo y de los recursos no renovables.

Recurso agua, ecosistemas acuáticos, suelo y recursos no renovables: en virtud de que estas materias cuentan con cuerpos normativos específicos, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se dedica a establecer los criterios a los que se debe sujetar el aprovechamiento racional de cada recurso, así como las acciones de gobierno que deben atender irrestrictamente estos criterios.

Protección, restauración y mejoramiento del ambiente: se controla por medio de disposiciones relacionadas con la prevención y control de la contaminación atmosférica, del agua y de los ecosistemas acuáticos, del suelo, así como a través de la regulación sobre actividades riesgosas y de la genera-

ción y manejo de materiales y residuos peligrosos, energía nuclear, ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación nuclear.

Inspección y vigilancia: la Ley incluye un título denominado medidas de control y de seguridad y sanciones, en el que se establece la facultad de las autoridades para la realización de visitas de inspección, así como las formalidades a las que se deben sujetar dichos actos administrativos. De igual manera, prevé como sanciones por incurrir en infracciones administrativas la multa, la clausura o el arresto administrativo, contemplando la duplicación de la multa y la clausura definitiva para casos de reincidencia.

De la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, derivan distintos cuerpos normativos que tienen como objeto reglamentar de manera específica sus disposiciones en materia de impacto ambiental; contaminación atmosférica; residuos peligrosos; ruido; contaminación generada por vehículos automotores; contaminación del mar y transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

El Reglamento de la LGEEPA en materia de Residuos Peligrosos, el cual también se encuentra vigente desde el 25 de noviembre de 1988, hasta que no entre en vigor la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, contiene tres aspectos fundamentales, a saber, normas relacionadas con la generación de residuos peligrosos, así como con el manejo y la importación y exportación de dichos elementos. También se establecen disposiciones muy precisas respecto del almacenamiento, transporte y confinamiento de residuos peligrosos.

Reglamento para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias

La contaminación del mar se controla a través del Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 23 de enero de 1979; este reglamento tiene por objeto cumplir con las obligaciones derivadas del Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, regula vertimientos deliberados de materias, sustancias o desechos en aguas jurisdiccionales mexicanas, realizados por buques, aeronaves, plataformas u otras estructuras.

Asimismo, establece la obligación de obtener permiso a efecto de verter alguno de los materiales señalados, cuando no existe otra alternativa, para lo cual la autoridad deberá tomar en consideración criterios relacionados

con los efectos que se produzcan en los recursos pesqueros, la vida humana, los recursos minerales marinos y las playas.

Reglamento de la LGEEPA en materia de áreas naturales protegidas

Una de las estrategias para conservar y revertir las tendencias de degradación de las zonas costeras y los mares mexicanos es la creación de áreas naturales protegidas, las cuales se encuentran reguladas en el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas (DOF 30 de noviembre de 2000). Estas se establecen mediante declaratoria que expida el Ejecutivo Federal, conforme a la LGEEPA y demás disposiciones aplicables, con la participación de los gobiernos de las entidades federativas y los municipios, de conformidad con el ordenamiento anteriormente citado y las leyes locales, en los casos de áreas naturales protegidas en jurisdicción local.

Las declaratorias para el establecimiento, administración, desarrollo y vigilancia de las áreas naturales protegidas de interés de la Federación, deberán contener, entre otros puntos, los siguientes:

- I. La delimitación precisa del área, señalando la superficie, ubicación, deslinde y en su caso, la zonificación correspondiente.
- II. Las modalidades a que se sujetará dentro del área, el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en general o específicamente de aquellos a protección.
- III. La descripción de actividades que podrán llevarse a cabo en el área correspondiente, y las modalidades y limitaciones a que se sujetarán.
- IV. La causa de utilidad pública que en su caso fundamente la expropiación de terrenos, para que la nación adquiriera su dominio, cuando al establecerse una Área Natural Protegida se requiera dicha resolución; en estos casos deberán observarse las previsiones de la leyes de expropiación, agraria y de los demás ordenamientos aplicables;
- V. Los lineamientos generales para la administración, el establecimiento de órganos colegiados representativos, la creación de fondos o fideicomisos y la elaboración del programa de manejo del área, y
- VI. Los lineamientos para la realización de las acciones de preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales dentro de las áreas naturales protegidas para su administración y vigilancia, así como para la elaboración de las reglas administrativas a que se sujetarán las actividades dentro del área respectiva, conforme a lo dispuesto en ésta y otras leyes aplicables.

Las medidas que el Ejecutivo federal podrá imponer para la preservación y la protección de las áreas naturales protegidas, serán únicamente las que se establecen según las materias respectivas y la presente Ley, las Leyes Forestal, de Aguas Nacionales, de Pesca, Federal de caza, y las demás que resulten aplicables.

LEY GENERAL DE BIENES NACIONALES

La Ley General de Bienes Nacionales publicada en el *Diario Oficial de la Federación* de fecha 8 de enero de 1982, tiene por objeto regular los actos de adquisición, control, administración, transmisión de dominio, inspección y vigilancia de inmuebles federales. Estos inmuebles federales constituyen parte del patrimonio nacional, el cual se compone de Bienes de dominio público de la federación y Bienes de dominio privado de la federación (artículo 1°).

Dentro de los Bienes del dominio público se encuentran los de Uso común que la propia Ley General señala, entre otros, el mar territorial; las aguas marinas interiores; las playas marítimas; la zona federal marítimo terrestre; los cauces de las corrientes y los vasos de los lagos, lagunas y esteros de propiedad nacional; los puertos, bahías, radas y ensenadas; los diques, muelles, escolleras, malecones y demás obras de los puertos, cuando sean de uso público.

Las playas marítimas, entendiéndose por tales las partes de tierra que por virtud de la marea cubre y descubre el agua, desde los límites de mayor reflujo hasta los límites de mayor flujo anuales (artículo 29 Fracción IV).

Cuando la costa presente playas, la zona federal marítimo terrestre estará constituida por la faja de 20 metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas o, en su caso, a las riberas de los ríos, desde la desembocadura de estos en el mar, hasta 100 metros río arriba (artículo 49).

En el caso de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales de agua marina que se comuniquen directa o indirectamente con el mar, la faja de veinte metros de zona federal marítimo terrestre se contará a partir del punto a donde llegue el mayor embalse anual o límite de la pleamar (...) (artículo 49, fracción III). La totalidad de la superficie de los cayos y arrecifes ubicados en el mar territorial, constituirán zona federal marítimo terrestre (artículo 49 fracc. II).

En el caso de que la zona federal marítimo terrestre sea invadida total o parcialmente por las aguas, o de que éstas lleguen inclusive a invadir terrenos de propiedad particular colindantes con la zona federal marítimo te-

terrestre, ésta se delimitará nuevamente en los términos de esta Ley y sus reglamentos. Las áreas de los terrenos que pasen a formar parte de la nueva zona federal marítimo terrestre perderán su carácter de propiedad privada, pero sus legítimos propietarios tendrán derecho de preferencia para que se les concesione, conforme a lo establecido por esta ley (artículo 51).

Cabe mencionar que la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar no podrán ser objeto de afectaciones agrarias y en consecuencia, no podrán estar comprendidos en las resoluciones presidenciales de dotación, ampliación, y restitución. Los ejidos o comunidades colindantes tendrán preferencia para que se les otorgue concesión para el aprovechamiento de dichos bienes (artículo 55).

LEY GENERAL DE DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE

Para la protección de los recursos forestales entre los que se encuentran los manglares de las zonas costeras, se cuenta con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, publicada en el diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre y 25 de febrero de 2003. Esta ley tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la federación, los estados, el Distrito Federal y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX inciso G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observará lo dispuesto por el artículo 2 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Entre las materias reguladas por esta Ley, se encuentran: auditorías técnicas preventivas, certificación forestal, transporte, almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, cambio de uso del suelo en los terrenos forestales, sanidad forestal, prevención, combate y control de los incendios forestales, conservación, restauración, reforestación, instrumentos económicos del fomento forestal e investigación para el desarrollo forestal sustentable.

Dicho ordenamiento establece las bases de la política forestal en el contexto del Programa Nacional Forestal 2001 – 2006 publicado en el *Diario Oficial de la Federación* del 27 de septiembre de 2002, en el que “La visión de futuro del sector forestal en el año 2025 es la guía para los esfuerzos de la

sociedad y el gobierno. Esta visión permite comprender que el futuro no es lo que irremediablemente sucederá, sino el producto de una actitud colectiva para imaginar con claridad cómo se desea que éste sea y decidir las acciones necesarias para hacerlo realidad. Esta visión señala las principales características del sector forestal que queremos construir para afirmar un compromiso de largo plazo con la sociedad mexicana”, en el cual destaca la planeación del aprovechamiento de los recursos forestales, a través del uso de instrumentos como el Inventario Nacional Forestal y la zonificación de los terrenos forestales, a fin de propiciar el desarrollo sustentable.

En esta materia, como en otras, fortalecer la capacidad de gestión del gobierno federal, de los estados y de los municipios es uno de los propósitos fundamentales que se recogen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 25 de febrero de 2003, para lo cual se crea el Servicio Nacional Forestal, como un organismo que tendrá por objeto la conjunción de esfuerzos, instancias, instrumentos, políticas, servicios y acciones institucionales para la atención eficiente y concertada del sector forestal. La federación, los estados y los municipios establecerán las bases de coordinación para su integración.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se vincula con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, para armonizar, en un solo documento, las autorizaciones de aprovechamiento de recursos forestales y forestaciones, con el impacto ambiental por obras y actividades de competencia federal, a fin de facilitar la gestión administrativa de los particulares frente a la autoridad federal, y bajo la directriz de un programa de simplificación administrativa.

LEY DE PESCA

Asimismo, se encuentran en vigor la Ley de Pesca publicada en el *Diario Oficial de la Federación* del 25 de junio de 1992 y su Reglamento publicado en el *Diario Oficial de la Federación* del 29 de septiembre de 1999, en ambos ordenamientos se regulan los recursos naturales que constituyen la flora y fauna cuyo medio de vida es el agua. El objeto de estas disposiciones es garantizar la conservación, preservación y aprovechamiento racional de los recursos pesqueros y establecer las bases para su adecuado desarrollo y administración.

Las materias reguladas por esta Ley son: pesca comercial, pesca de fomento, pesca didáctica, pesca deportivo-recreativa, pesca de consumo doméstico, acuacultura comercial, acuacultura de fomento, acuacultura di-

dáctica, sanidad acuícola, métodos y artes de pesca, legal procedencia y sanciones.

LEY GENERAL DE VIDA SILVESTRE

En México la conservación, protección, aprovechamiento y desarrollo de la flora y fauna silvestres, es una materia concurrente entre la federación, los estados y municipios en el ámbito de sus respectivas competencias, de conformidad con la Ley General de Vida Silvestre, la cual tiene por objeto establecer la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los Estados y de los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, relativa a la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat en el territorio de la República Mexicana y en las zonas en donde la Nación ejerce su jurisdicción.

Se define por vida silvestre: “Los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como los ferales.” (fracción XLI, artículo 3°).

En la Ley General de Vida Silvestre se reconoce que las actividades de conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre se respetará, conservará y mantendrá los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades rurales que entrañen estilos tradicionales de vida pertinentes para la conservación y aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitat y se promoverá su aplicación más amplia con la aprobación y la participación de quienes posean esos conocimientos, innovaciones y prácticas. Asimismo, se fomentará que los beneficios derivados de la utilización de esos conocimientos, innovaciones y prácticas se compartan equitativamente.

La Ley General de Vida Silvestre confiere a la hoy Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la facultad de organizar los cuerpos de inspección y vigilancia del cumplimiento de las disposiciones en la materia. Las autoridades federales, locales y municipales deberán concurrir para el logro del objetivo de la ley, así como de la difusión de enseñanza especializada y de los conocimientos necesarios para la conservación y fomento de la fauna silvestre.

Las materias reguladas por esta Ley son: registro y operación de Unidades de Manejo Ambiental, aprobación del Plan de manejo, control de la sanidad fitozoosanitaria, manejo de ejemplares exóticos, medidas de trato digno y respetuoso, tipos de aprovechamiento, legal procedencia, traslados, importación, exportación y sanciones.

Congruente con lo anterior, la SEMARNAT expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-059-2001, que tiene por objeto identificar las especies o poblaciones de flora y fauna silvestres en riesgo en la República Mexicana mediante la integración de las listas correspondientes, así como establecer los criterios de inclusión, exclusión o cambio de categoría de riesgo para las especies o poblaciones, mediante un método de evaluación de su riesgo de extinción.

LEY DE AGUAS NACIONALES

La regulación del uso y aprovechamiento del agua se encuentra prevista en la Ley de Aguas Nacionales cuya entrada en vigor data del 1o. de diciembre de 1992 y el Reglamento de la Ley publicado el 12 de enero de 1994, en el régimen jurídico integrado por estas dos legislaciones se establecen las disposiciones relacionadas con el uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, así como su distribución, control, calidad y cantidad.

Las materias reguladas por esta Ley son: administración del agua, programación hidráulica, derechos de uso, zonas reglamentadas, de veda o reserva, usos del agua, prevención y control de la contaminación del agua, inversión en infraestructura hidráulica e infracciones, sanciones y recursos.

LEY SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN

En materia de normalización, se encuentra vigente la Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicada en el órgano oficial de difusión el 1o. de julio de 1992, en esta Ley se establecen los principios, mecanismos y aspectos a cumplir por parte de los organismos facultados para desarrollar el proceso de elaboración de las normas oficiales mexicanas, en las que se establecen las especificaciones y características de productos, procesos y servicios, cuando puedan constituir un riesgo para el medio ambiente. A través de estos instrumentos jurídicos se establecen los límites de contaminación permisibles en todas las materias ambientales, así como los requisitos de actividades, instalaciones o servicios a cumplir a efecto de proteger el ambiente.

Actualmente se encuentran vigentes cuatro normas oficiales mexicanas en materia de calidad del agua residual, cinco en materia de atmósfera, trece en emisiones de fuente fija, diez en emisiones de fuentes móviles, dos en calidad de combustibles, diez en materia de residuos peligrosos, uno en materia de residuos municipales, cuatro en materia de contaminación de rui-

do, siete en materia de impacto ambiental, quince en materia forestal, uno en control de plagas, cuatro en materia de suelos, seis en materia de protección de especies, actualizadas al 15 de agosto de 2003.¹

LEGISLACIÓN LOCAL

En el ámbito local, desde el año de 1988 los estados de la República Mexicana, iniciaron sus procesos legislativos a fin de promulgar leyes ecológicas estatales, a la fecha las 31 entidades federativas cuentan con una Ley en materia, e incluso, la mayoría cuenta con reglamentaciones de dichas leyes principalmente en materia de impacto ambiental y contaminación atmosférica. Por su parte, los municipios han incluido en sus bandos de policía y buen gobierno, regulaciones sobre aspectos relacionados con la disposición de residuos domésticos, zonas verdes, etc.

Respecto de las leyes estatales ambientales es importante destacar que contienen disposiciones que se constituyen como la proyección de las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en el ámbito estatal, las materias que en términos generales han incluido los congresos locales en sus legislaciones se refieren a la distribución de competencias, educación e información ecológica, aprovechamiento racional de recursos, participación social, contaminación atmosférica, del agua y del suelo, por ruido, luminosa y olores perjudiciales, así como residuos sólidos.

Actualmente con la expedición de las leyes generales los estados tendrán la tarea de emitir sus leyes locales en estas materias.

CONCLUSIONES

Es notorio que en el país, nunca se ha partido de una visión integral y actual de lo que es el ambiente para la adecuación de la legislación ambiental y las leyes relacionadas con ella, como la de Aguas Nacionales. Como resultado, tanto las bases constitucionales como las leyes específicas del derecho ambiental mexicano consideran a este de manera fragmentada y parcial. Tal como es de esperarse, estos problemas se reflejan en toda la legislación ambiental mexicana y son el origen de muchas de las deficiencias que se han identificado en las primeras leyes sobre el tema y en la vigente.

Cuando estos enfoques se analizan conjuntamente, resaltan las principales deficiencias del sistema jurídico mexicano. En particular, debe notarse que:

1. Legislación de carácter sectorial, que responde al uso, protección, conservación y aprovechamiento de determinado recurso natural (Ley de Pesca, Ley General de Vida Silvestre, Ley de Aguas, etc.).
2. Ausencia de un marco doctrinario en derecho ambiental en materia de uso y conservación de las zonas marítimas áreas costeras y políticas acordes a este, pocos doctrinarios mexicanos han tratado a profundidad este ámbito.
3. Ausencia de procedimientos administrativos claros para una correcta aplicación de la norma ecológica, cada una de las leyes examinadas regula específicamente un recurso natural relacionado con el tema de estudio, estableciendo procedimientos propios que en muchas ocasiones no va más allá de la sanción administrativa y sin una sistematización técnica y jurídica, lo que impide que exista una vinculación entre los distintos instrumentos jurídicos que directa o indirectamente regulan esta materia.
4. Coordinación de competencias entre los diferentes niveles de gobierno en materia ambiental, en el ámbito federal, estatal y municipal. Es necesario instrumentar vías por las cuales se puedan concertar y llevar a cabo acciones concertadas entre los tres niveles de gobierno para poder ejercer una protección integral de las áreas marítimas y costeras, dentro de los ámbitos de competencia de cada uno de los actores relacionados con esta problemática.
5. Ausencia de orden y sistematización de la legislación ambiental, de tal manera que las reformas legislativas en este campo, respondan a un proyecto y una interpretación integral del ambiente y de los ordenamientos jurídicos ya existentes.

En conclusión, a pesar de que el artículo 27 constitucional incluye ideas que son pioneras en cuanto a la protección de los recursos naturales, posteriormente estas ideas no tuvieron un desarrollo congruente, conforme lo que debiera haber justificado la experiencia de otros países, especialmente en cuanto a la regulación de las zonas costeras. Es decir, todavía no hay en nuestro país una regulación suficientemente estricta, amplia, completa sobre el manejo de ambientes costeros en lo referente a medio marino, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar.

Se pueden analizar críticamente otros temas y en todos se podrán encontrar lagunas que impiden, en la práctica, que la legislación sobre zonas costeras y marinas en nuestro país, tenga la fuerza que se requiere.

BIBLIOGRAFÍA

- Baqueiro Rojas, Edgard 1997. *Introducción al Derecho Ecológico*. Colección Textos Jurídicos Universitarios,. Editorial Harla,. México.
- Brañes, Raúl 1987. *Derecho Ambiental Mexicano*. Segunda edición. Editorial Fundación Universo Veintiuno, México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Varias editoriales.
- García Saavedra, José David y A. Jaimes Rodríguez 1997. *Derecho Ecológico Mexicano*. Ed. UniSon, México.
- Gutiérrez Nájera, Raquel 1998. *Introducción al Estudio del Derecho Ambiental*. Editorial Porrúa, México.
- Instituto Nacional de Ecología 1996. *Programa de Áreas Naturales Protegidas 1995-2000*. SEMARNAP, México.
- Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 1º de diciembre de 1992. México.
- Ley Federal del Mar. *Diario Oficial e la Federación*, 8 de enero de 1986. México.
- Ley de Pesca. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de junio de 1992.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización. *Diario Oficial de la Federación* de 1o. de julio de 1992. México.
- Ley General de Bienes Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de enero de 1982. México.
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial de la Federación*, el 22 de diciembre. México.
- Ley General de Vida Silvestre. *Diario Oficial de la Federación*, de 3 de julio de 2000. México.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, el 28 de enero de 1988. Reforma: *Diario Oficial de la Federación*, 13 de diciembre de 1996. México.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de octubre de 2003. México.
- Molina Enríquez, Andrés 1983. *Los grandes problemas nacionales*. Cuarta edición. Editorial Era, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 6 de marzo de 2002.
- Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos 1995. *Gestión de zonas costeras. Políticas integrales*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

- Programa Nacional Forestal 2001–2006. *Diario Oficial de la Federación*, 27 de septiembre de 2002. México.
- Reforma al artículo 25 (Cuidado del medio ambiente). *Diario Oficial de la Federación*, 3 de febrero de 1983. México.
- Reforma al artículo 27y 73 fracción XXIX-G (La conservación de los recursos naturales y la protección al ambiente). *Diario Oficial de la Federación*, 10 de agosto de 1987. México.
- Reforma al artículo 4° (Derecho a la Salud). *Diario Oficial de la Federación*, 3 de febrero de 1983. México.
- Reforma artículos 4° y 25 (Derecho a un ambiente adecuado y la sustentabilidad). *Diario Oficial de la Federación*, 28 de junio de 1999. México.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Áreas Naturales Protegidas. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de noviembre de 1988. México.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de mayo de 2000. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de ordenamiento Ecológico. *Diario Oficial de la Federación*, 8 de agosto de 2003. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. *Diario Oficial de la Federación*, 25 de noviembre de 1988. México.
- Reglamento de la LGEEPA en materia de Residuos Peligrosos. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de noviembre de 2000. México.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 12 de enero de 1994. México.
- Reglamento de la Ley de Pesca. *Diario Oficial de la Federación*, 29 de septiembre de 1999. México.
- Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. *Diario Oficial de la Federación*, 21 de agosto de 1991. México.
- Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de enero de 1979. México.
- Zarkin Cortés, Sergio Salomón 2000. *Derecho de protección al ambiente*. Editorial Porrúa, México.

MONITOREO Y VIGILANCIA DE LAS ZONAS COSTERAS

José N. Iturriaga

INTRODUCCIÓN

En el derecho positivo, cualquiera que sea la materia de su aplicación, es indispensable la verificación del cumplimiento de las disposiciones legales. Esto es a través de acciones de vigilancia, inspección, investigación y supervisión que inducen y promueven que la normatividad sea cumplida efectivamente; que las previsiones de los legisladores o de las autoridades competentes sean una realidad en los hechos. En materia ambiental federal, este rol corresponde en México a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

El objetivo más amplio de la PROFEPA es la protección del medio ambiente y los recursos naturales. El objetivo específico es vigilar el cumplimiento de la legislación y normatividad ambiental.

El marco legal dentro del cual se llevan a cabo las inspecciones de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente deriva obviamente de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Los aspectos generales aparecen en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y en la Ley Federal de Procedimiento Administrativo. En el Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cabeza sectorial, se definen las atribuciones específicas de PROFEPA y sus unidades administrativas.

A nivel temático, las leyes fundamentales para PROFEPA son la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus diversos reglamentos, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la Ley de Pesca; para los ambientes costeros y específicamente para playas y litorales, el sustento es la Ley General de Bienes Nacionales y su Reglamento para Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Cuando es el caso de ingresos económicos, la base es la Ley Federal de Derechos.

Debe destacarse la urgente necesidad de reformar la LGEEPA y la Ley General de Bienes Nacionales. Esta última tiene un enfoque patrimonialista, no ambiental de las playas, los arrecifes, los cayos y la zona federal marítimo terrestre (ZOFEMAT), en tanto que la LGEEPA ignora en absoluto a la ZOFEMAT y los otros conceptos mencionados. En la ley ambiental deberían incorporarse todos ellos y, además, precisar los que se refieren a contaminación visual y derecho al paisaje, aquélla apenas enunciada y el paisaje como tal ni se menciona.

Por su parte, en la Ley General de Bienes Nacionales debería darse a la ZOFEMAT un carácter ambiental, además del patrimonialista que intrínsecamente tiene. La previsión que establece un ancho de 20 m para la ZOFEMAT a todo lo largo de las costas del país tiene antecedentes de varios siglos atrás, pues era la superficie que permitía maniobrar un cañón; ciertamente, el concepto de ZOFEMAT tiene además un origen militar y de defensa que proviene del derecho romano, un par de milenios de antigüedad. La misma ley que nos ocupa tiene poco más de un siglo, con numerosas modificaciones. Cabría una revisión integral.

En adición, la Ley General de Bienes Nacionales es confusa y tiene lagunas con respecto al acceso a las playas a que tienen derecho los mexicanos. Por otra parte, prevé como multa máxima el equivalente a 500 días de salario, cifra a todas luces insuficiente que contrasta con el máximo de la LGEEPA establecido en 50 mil días.

MATERIAS DE COMPETENCIA DE PROFEPA

En las zonas costeras se aplican o se pueden aplicar, si es el caso, las seis materias de competencia de la PROFEPA: ZOFEMAT, impacto ambiental, recursos marinos, vida silvestre, recursos forestales e inspección industrial.

Los aspectos normativos en las seis materias los define la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. A la PROFEPA corresponde vigilar e inspeccionar el cumplimiento de esa normatividad y sus expresiones positivas: autorizaciones, concesiones, permisos, licencias, etc.

Por otra parte, PROFEPA tiene atribuciones que, llegado el caso, le permiten profundizar en la procedencia misma de esas autorizaciones.

Para el monitoreo y vigilancia de los litorales, la PROFEPA cuenta con delegaciones federales en los 17 estados costeros (de hecho, en todas las entidades del país).

En todo caso, las direcciones generales a nivel central pueden realizar directamente actuaciones e incluso atraer los procedimientos iniciados por las delegaciones.

Los principales aspectos que inspecciona PROFEPA en las zonas costeras son: que los ocupantes tengan concesión para el uso y aprovechamiento del sitio; que el uso del lugar sea congruente con las autorizaciones y concesiones correspondientes; el tipo de obras o actividades que se realizan y los impactos que se provocan. Asimismo se verifica que los cambios de uso de suelo estén debidamente autorizados (sobre todo los forestales) y que no haya afectación ilegal al medio ambiente ni a los recursos naturales por industrias u otros motivos, ni tráfico ilegal de especies. Destaca la atención de la Procuraduría a las Áreas Naturales Protegidas terrestres y marinas.

PRINCIPALES AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE COSTERO

Entre las principales afectaciones al medio ambiente costero que detecta la PROFEPA podemos describir las siguientes:

Modificación y destrucción del hábitat, sobre todo por los grandes desarrollos inmobiliarios turísticos, que incluyen hoteles, condominios, fraccionamientos y campos de golf, y por industrias. Los casos más frecuentes son la deforestación de especies protegidas por la NOM-SEMARNAT-059-2001, en sus diversas categorías; tal es el caso de las diferentes especies de mangle, algunas palmas y diversas cactáceas. De igual manera es relevante el daño derivado de obtener superficies adicionales de terrenos por medio del relleno de lagunas costeras o esteros. (Ya se sabe que los ambientes costeros en general suelen ser más frágiles que los demás, y entre ellos destaca de manera particular el caso de los ecosistemas de aguas estuarinas, que tienen una enorme importancia ecológica por la interacción y finalmente interdependencia de muchas especies de flora y fauna que conforman su rica biodiversidad, sobre todo en el trópico).

Asimismo, los megadesarrollos turísticos frecuentemente afectan las

dunas costeras para conveniencia de su “arquitectura de jardines”; de hoteles y otras construcciones, pero esta tendencia empieza a revertirse porque los huracanes han enseñado una dolorosa experiencia al afectar esos inmuebles, pues la protección natural que significan las dunas está siendo revalorada. Destaca el caso de Quintana Roo, donde el crecimiento explosivo de la actividad turística en el corredor Cancún-Tulum ha provocado daños, a veces irreversibles al medio ambiente, como el fraccionamiento Tankah que rellenó esteros y manglares.

Destrucción de la línea de costa, dunas y ecosistemas adyacentes (por marinas, muelles, espigones, deportes acuáticos, cuatrimotos areneras, etc.). Desde luego, la línea de costa se altera no sólo por factores antropogénicos, sino con mayor incidencia por fenómenos naturales. El hombre trata de revertir las consecuencias de un meteoro con obras que por lo general producen el resultado benéfico que busca el constructor de las mismas, pero afectan negativamente a sus vecinos costeros. Tal es el caso de los espigones, que provocan la ampliación de la playa del lado de la corriente marina predominante, y en cambio producen una disminución de la playa en el otro lado del espigón, donde al daño natural se agrega el perjuicio provocado por la obra humana.

Muy especialmente destacan los casos de las costas de Yucatán y de Quintana Roo, donde han sido frecuentes los ciclones y asimismo han proliferado las obras para recuperación de playas. Cabe destacar que en Cancún se han iniciado pruebas piloto con otras tecnologías para recuperación de playas, como la colocación de grandes costales llenos con algún material cementante en el fondo submarino cercano a la playa o de estructuras prefabricadas con forma de cuña para una colocación similar a la anterior.

Una de las maneras más obvias para recuperar playas es rellenarlas con arena transportada en camiones y/o en barcazas, proveniente de otros lugares; este procedimiento es sumamente trabajoso y además, para que sea efectivo, tiene que mover grandes volúmenes, lo que por otra parte se afecta al banco de extracción.

El ejemplo de Ciudad del Carmen, en Campeche, es un caso particular: los límites insulares de la población han provocado que para desahogar el crecimiento urbano se rellenen algunas superficies del lado de la laguna. Además del impacto que significan esos terrenos, ganados por lo general de manera ilegal, también es ya importante el impacto a los

lugares de donde proviene el material de relleno (excepto cuando utilizan arena salada de los dragados en los bajos que se forman frente a esa ciudad, en la boca de la laguna).

Deforestación y tráfico ilegal de madera en ambientes costeros. En este tipo de irregularidades, cabe destacar, además de los manglares en Quintana Roo y otros estados, el caso de la tala y comercio de madera fuera de la ley en Los Tuxtlas, Veracruz, que es un área natural protegida, y en diversas zonas de la península de Yucatán más o menos cercanas a la costa.

Es interesante señalar que las acciones de inspección y vigilancia más delicadas y hasta peligrosas que lleva a cabo PROFEPA son por lo general las vinculadas con esta materia, pues suele haber un vínculo entre los talamontes —que son delincuentes organizados— y el narcotráfico. Los operativos que se organizan para estos efectos se apoyan con fuerza pública.

Captura y tráfico ilegal de especies marinas protegidas (mamíferos, quelonios, etc.). Por lo que se refiere a la captura involuntaria o no de especies de quelonios, ésta tiene lugar en casi todo el litoral y su consumo es básicamente local, aunque también se detectan ocasionalmente situaciones de tráfico, sobre todo en lo referente a huevos de tortuga. La tradicional artesanía de Campeche a base de Carey ha sido sustituida por el uso de hueso, y ya no se considera una demanda masiva como lo fue en décadas pasadas.

Para apoyar la inspección y vigilancia en una mayor participación social, PROFEPA propicia la integración de comités participativos comunitarios. En cinco playas de anidación de tortugas de Campeche y de Quintana Roo, ya se instalaron los comités respectivos para la protección de estas especies.

Durante el primer semestre de 2003, PROFEPA recolectó y sembró en campamentos tortugueros 729 mil huevos en Tamaulipas y 90 mil en Campeche.

En este punto destaca también el caso de los artesanos de «recuerdos» del puerto de Veracruz, que elaboran los *souvenirs* con diversas especies de conchas y de coral, costumbre de muchas décadas que no ha logrado erradicarse.

Tráfico ilegal de especies terrestres protegidas de flora y fauna. Destacan La Huasteca, Los Tuxtlas y la península de Yucatán por el tráfico ilegal de especies animales protegidas por la NOM-SEMARNAT-059-2001,

sobre todo aves y entre ellas pericos y otras afines, lo cual no excluye áreas naturales protegidas como la de Sian-Ka'an.

Introducción de flora y fauna no nativas. Es generalizado el uso de este tipo de especies exóticas en la jardinería hotelera, en casas particulares y a veces hasta en parques y jardines públicos.

Colisiones de barcos o anclas contra arrecifes coralinos. La incidencia de este tipo de accidentes puede apreciarse con el siguiente dato: de 1997 a 2003 fueron 17 los barcos accidentados, diez de ellos entre Cancún y Cozumel y cuatro en las proximidades del puerto de Veracruz. En conjunto, afectaron a 11,600 m² de arrecifes coralinos. No obstante el número de barcos por región, en Veracruz afectaron 6,564 m² de corales, en tanto que en el norte de Quintana Roo fueron 4,087 m².

Descargas contaminantes al mar y al subsuelo. Prácticamente todas las poblaciones costeras importantes en nuestros dos litorales (del Golfo de México y del Caribe, y del Pacífico) generan contaminación al mar por aguas residuales sin un tratamiento adecuado o sin ningún tratamiento, con excepción de Cancún, de Ixtapa y de las bahías de Huatulco (no son casualidad esas excepciones, pues en los tres casos se trata de desarrollos turísticos contemporáneos, con cuidadosa atención a ese servicio público). El caso de las aguas negras por detritus humano es el más generalizado, aunque también se presentan problemas con aguas residuales de industrias. El problema de las aguas negras deriva de plantas de tratamiento que no operan adecuadamente (por causas técnicas o por corrupción, al desviar los recursos asignados para la compra de productos químicos); y por descargas directas al mar provenientes de canales y arroyos y a veces hasta de la misma red de drenaje.

Hay casos como el de Tampico y Ciudad Madero, en los que además de sus propios problemas, les toca asumir los que se generan en otros lugares; nos referimos al drenaje de la Ciudad de México (en realidad de todo el valle) que desagua hacia Tula, usándose parte de esa agua para el riego agrícola en esa región hidalguense; sigue por el río del mismo nombre, continúa por el Moctezuma para llegar al río Pánuco y desemboca finalmente en el Golfo de México. Este es un caso dramático de fenómeno antropogénico, pues el Valle de México era una cuenca hidrológica cerrada hasta el siglo XVII, en que el ingeniero alemán Heinrich Martin (Enrico Martínez) construyó el canal de Huehuetoca o Tajo de Nochistongo, para evitar las inundaciones periódicas en la capital de la Nueva España.

El problema de los destinos turísticos de playa con aguas marinas contaminadas y por tanto no recomendables para el uso recreativo, impulsó la creación del Sistema de Información sobre Calidad del Agua en los Principales Destinos de Playa, implementado por la SEMARNAT, SSA, SEMAR y SECTUR. Sin embargo después de tres informes durante el primer semestre de 2003, el sistema se ha suspendido.

- Emisiones contaminantes a la atmósfera.
- Manejo inadecuado de combustible y residuos.

EL CONCEPTO DE ZONA FEDERAL MARITIMO TERRESTRE (ZOFEMAT)

De acuerdo con el artículo 49 de la Ley General de Bienes Nacionales, entre otros del propio ordenamiento jurídico y de su Reglamento en esta materia, la *playa* es la franja de tierra que cubre y descubre el mar desde el nivel de la máxima pleamar o marea alta del año, hasta la mínima bajamar en el mismo lapso anual.

Por su parte, para la ZOFEMAT es la franja transitible de 20 m de ancho inmediatamente contigua a la playa, es decir, que esos 20 m se miden a partir de la marea más alta del año. La ZOFEMAT existe a lo largo de la totalidad del litoral mexicano, sin exceptuar las costas donde en lugar de playas se encuentren rocas o incluso acantilados.

Además, también existe la franja de ZOFEMAT, con las mismas dimensiones, alrededor de los esteros, lagunas marinas y cualquier otro cuerpo de agua de origen marino. En adición, también hay ZOFEMAT a lo largo de los últimos 100 m de los ríos, antes de su desembocadura en el mar, en ambas orillas del curso fluvial.

Es importante resaltar que la ZOFEMAT es legalmente inalienable y por ello siempre mantiene su condición de «bien del dominio público y uso común» (además de ser inembargable e imprescriptible). En cambio, los terrenos ganados al mar o a otros cuerpos de agua de origen marino sí pueden ser desincorporados del patrimonio federal, es decir vendidos. Esta diferencia es importante porque una de las principales formas de afectación de los ambientes costeros es como consecuencia de los rellenos. Ocasionalmente se trata de una disposición de desechos sólidos o cascajo, pero por lo general se trata de rellenos expofeso para ampliar las superficies utilizables económicamente.

Es curioso el ejemplo de numerosas resoluciones presidenciales acerca de

repartos agrarios que establecen límites ilegales para los ejidos: no es raro que señalen, entre los linderos de un ejido, el Golfo de México o el Mar Caribe, ignorando la existencia de la ZOFEMAT y dejando en los ejidatarios la falsa idea de que son dueños hasta de la playa.

Uno de los problemas que provocan mayor confusión y descontento con respecto a la ZOFEMAT es su movilidad en función de la pérdida o recuperación de playas, por lo general debidas a fenómenos naturales. Cuando un huracán disminuye o hasta desaparece a una playa original, la ZOFEMAT automáticamente se recorre, pues se sigue considerando a partir de la marea más alta del año. Por ejemplo, una persona que compró un predio colindante a la ZOFEMAT construye su casa y después de un fenómeno meteorológico adverso que disminuye la playa, la ZOFEMAT puede abarcar hasta la mitad de la sala y con otro huracán más pudiera llegar hasta la cocina. Como el uso y aprovechamiento de la ZOFEMAT obliga al ocupante al pago de derechos federales, resulta que tendría que empezar a pagar esa especie de renta por un terreno y una construcción que originalmente eran suyas, pero que dejaron de serlo, pues cualquier construcción en la ZOFEMAT se convierte también en propiedad federal.

El caso contrario no es equitativo. Si el mar se aleja porque la playa se ensanchó como resultado de alguna tormenta violenta (lo que también llega a suceder, aunque lo más frecuente es al revés), la ZOFEMAT también se aleja de la casa y lo que queda entre ambas son terrenos ganados al mar (este concepto se aplica, ya sean ganados artificialmente o naturalmente). El aprovechamiento de tales terrenos también obliga al pago de un derecho; la variante es que el particular puede solicitar la desincorporación a su favor, es decir una compra.

Ante esta injusticia o inequidad —vista así con un enfoque de sentido común—, aparece en el otro extremo la opinión, también fundamentada, de que aquellos que construyen junto al mar (o a la ZOFEMAT), están haciéndolo bajo su propio riesgo.

También el concepto de *libre acceso a playas* que prevé la Ley General de Bienes Nacionales (pues en México todas las playas son públicas), tiene problemas para su debido cumplimiento. En principio, esa previsión legal requeriría decir que todos los terrenos colindantes a la ZOFEMAT y esta misma zona federal deberían estar abiertos al público; en la práctica, a veces se dejan corredores entre algunos predios para permitir el paso que la ley prevé, pero en muchos casos ésto no es así, como en el corredor turístico que va de Cancún a Tulum, donde a lo largo de muchos kilómetros la playa es inaccesible y *de facto*

se convierte en privada. Como la ley mencionada no especifica el intervalo que debe haber entre cada acceso, la condición jurídica de los mismos, el responsable de su mantenimiento, el ancho que deben tener y otros detalles, resultan situaciones irregulares, como en la llamada Riviera Maya. La seguridad privada de hoteles, condominios y fraccionamientos impide el paso a extraños, al no haberse previsto ese propósito en el diseño de cada proyecto.

En el mundo y en México hay dos tipos de casos en las avenidas costeras, sobre todo de los centros turísticos: donde no hay construcciones del lado de la vialidad que da a la playa y al mar (como en Río de Janeiro, en Progreso, Yuc., en Campeche y en la parte antigua del puerto de Veracruz); y donde hay construcciones de ambos lados de la calle costera (como en Miami y otras poblaciones de Estados Unidos de América y en Cancún). Esta última situación tiene algo de antisocial, sobre todo de antipopular, y es contraria al medio ambiente por lo que se refiere a contaminación visual y violación del derecho al paisaje (mismo que en México no está previsto, aunque en muchos otros países, en especial europeos, sí lo está, e incluso reglamentado).

SANCIONES POR IMPACTO AMBIENTAL Y POR VIOLACIONES A LA ZOFEMAT

Las sanciones por impacto ambiental están previstas en la LGEEPA, en tanto que las relativas a ZOFEMAT se señalan en la Ley General de Bienes Nacionales. Ya se destacó que contrasta la multa máxima equivalente a 50 mil días de salario mínimo que anota la ley ambiental, frente a la de 500 días que prevé el otro ordenamiento jurídico.

También contrasta que la LGEEPA permite clausuras (temporales o definitivas, totales o parciales), mientras que la de Bienes Nacionales no prevé esa medida preventiva o de urgente aplicación.

Paradójicamente, a la par que la Ley de Bienes Nacionales es poco enérgica en lo que ya se vio, dispone la pena corporal o privación de la libertad en otros casos; en efecto, establece de dos a 12 años de prisión por:

- Usar la ZOFEMAT sin haber obtenido previamente concesión, permiso o autorización; o por
- No devolver la ZOFEMAT a la autoridad dentro de los 30 días siguientes al requerimiento.

Se estima que en México hay 120 mil ocupantes de ZOFEMAT y sólo el 10 % tiene un título de concesión vigente; desde luego, en esta minoría se encuen-

tran los principales y más grandes ocupantes, en tanto que el otro 90 %, de ocupantes irregulares, lo constituyen sobre todo campesinos, pescadores, «palaperos», etc. Como se ve, sería prácticamente imposible aplicar la parte rigurosa de la Ley General de Bienes Nacionales.

INSPECCIONES DE PROFEPA EN LA ZOFEMAT

Durante el año de 2002 y el primer semestre del 2003, la PROFEPA realizó 958 visitas de inspección a la ZOFEMAT en el litoral del Golfo de México y el Caribe, destacando el estado de Veracruz con el 31% del total, Quintana Roo con el 26%, Campeche con el 23% y Yucatán con el 12%. La alta cifra de Veracruz se explica por las numerosas *palapas* para venta de comida que hay a lo largo de todo el estado y, por supuesto, por esa misma longitud.

AMBIVALENCIAS Y ASIMETRÍAS EN EL PROCESO DE URBANIZACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO: PRESIÓN AMBIENTAL Y CONCENTRACIÓN DEMOGRÁFICA.

Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez

EL MARCO: UNA DEFINICIÓN DEL ESPACIO

Tres países circundan este gran cuerpo de agua marina, y las actividades del hombre tanto tierra adentro como en las zonas costeras y en las áreas propiamente marinas han modificado, y lo seguirán haciendo, las condiciones bioquímicas, ecosistémicas y por supuesto socioeconómicas de este espacio. Estas actividades humanas pueden ser identificadas formalmente como el espacio económico y social del Golfo de México. Desde una perspectiva histórica han tenido cosas en común y van evolucionando si no con la misma intensidad sí de manera paralela. El ritmo de los cambios ha dejado huellas que conforman el paisaje y que puede “leerse”, desafortunadamente la mayor parte de las veces como una expansión y sucesión de transformaciones deletéreas.

El límite del Golfo de México, y por tanto lo que se considera la zona costera del mismo fue definido a priori. Tiene un carácter más que nada operativo para conjuntar tres dimensiones, el paisaje terrestre analizado como ecorregiones, la dinámica sociodemográfica analizada a través de las unidades municipales (o condados) y los núcleos urbanos o ciudades que permiten visualizar fácilmente la concentración de la población. La zona costera por tanto se delimitó como una franja primordialmente terrestre que tiene límites municipales (por tanto jurisdiccionales) y atributos de paisaje.

Consecuentemente, no necesariamente es una región en el sentido económico o geográfico sino que, muy probablemente, está conformada por unidades territoriales y políticas asimétricas, inconexas, tal vez complementarias, a lo más con cierta dependencia. Este tema queda pendiente por lo que concierne a los alcances de este material, sin embargo no son menores las implicaciones de la conectividad entre estas unidades, lo que por razones operativas habría que establecer es un límite que, en el sentido de la aproximación de sistemas complejos, permite considerar las condiciones de contorno (en el sentido de lo que propone García 1986 y 2000), a través de las cuales esta gran zona interactúa con el exterior. Por lo mismo y por razones de escala habría un límite tierra adentro, y otro hacia el mar, con un centroide ubicado imaginariamente en el centro del Golfo de México, rodeado por los tres países, fuera de los cuales existen un sin número de fenómenos con los que interactúan, que los conectan y hacen dependientes (corrientes, clima, recursos naturales compartidos, flujos económicos, migración entre otros).

Por fuera de este marco, en términos oceanográficos y climatológicos, está la influencia y entrada de las corrientes caribeñas y la salida por el estrecho de Florida; la entrada de ciclones, así como larvas de organismos, peces, reptiles, mamíferos, etc. Por fuera también estarían por ejemplo las actividades económicas como el comercio, el transporte marítimo de petróleo, el flujo de personas y mercancías que se desliza por el canal de Panamá hacia el Pacífico, o las conexiones del turismo incluido el flujo de cruceros al Caribe. El sistema se comunica con el exterior de múltiples maneras, sea a través de la exportación de petróleo a Europa o Asia, o bien a través del movimiento de las aves migratorias. Por fuera, pero consideradas, estarían las conexiones tierra adentro que se dan a través de los ríos. El Golfo de México recibe el agua de tres grandes cuencas hidrográficas internacionales, la cuenca del río Misisipi, el río Grande (Bravo) y el río Grijalva-Usumacinta (y en menor medida el Hondo), todos compartidos por más de un país. Adicionalmente, en su espacio geográfico, se realizan distintas actividades humanas que en mayor o menor medida influyen en la cantidad y calidad de las aguas y por tanto en la forma en que llegan al Golfo. Esto es válido también para todas las otras cuencas menores que de igual forma fluyen hacia el Golfo. De aquí que las condiciones en las zonas deltaicas o de contacto con el litoral (generalmente lagunas costeras y estuarios) son consecuencia directa de las actividades que históricamente se han desarrollado tierra adentro.

El Golfo de México podría ser modelado como una serie de traslapes entre fronteras, que a diferentes escalas pueden ser vistas como una serie de subregiones

configuradas por: a) los fenómenos propiamente marinos y atmosféricos, que al interior del Golfo determinan corrientes, presencia de surgencias, áreas de circulación ciclónica o anticiclónica; b) los fenómenos propiamente terrestres que influyen y se expresan en el litoral, lo que podría denominarse como “la costa”, que funciona como zona de transición entre el mar y la tierra (las lagunas costeras-playa-deltas-bocas-arrecifes); y por supuesto, c) las actividades humanas que se dan en cada uno de esos territorios, los asentamientos humanos, las actividades productivas primarias (agropecuarias, pesca), secundarias (industriales) o terciarias (comercio, servicios, finanzas).

Este paisaje económico está compuesto y a su vez cruzado por una serie de procesos o dimensiones, por ejemplo el transporte marítimo y sus expresiones de intensidad o especialización: el tráfico, los puertos, la extracción de petróleo, etc. Por otro lado, están los límites territoriales político administrativos, por ejemplo la Zona Económica Exclusiva de cada país, las fronteras terrestres entre ellos, los estados o provincias (en el caso de Cuba), los municipios o condados (en el caso de Estados Unidos), todo lo cual fragmenta el territorio. También están los recursos compartidos como ríos y agua subterránea en las fronteras, o las poblaciones pesqueras en el mar, pero simultáneamente y tal vez por encima de todo lo anterior, se expresan otro tipo de conexiones como lo serían los flujos de contaminantes, productos de comercio, importaciones y exportaciones de bienes y servicios (alimentos, tabaco, petróleo, etc.). Es precisamente en este complejo que cobra importancia estudiar la dinámica de la población humana.

Las costas del Golfo y el Caribe constituyen un espacio natural de enorme importancia cuya urbanización ha ocurrido de manera relativamente tardía. Si bien la emergencia de localidades urbanas tiene lugar desde la época colonial, su crecimiento demográfico y multiplicación sobre el territorio no ocurre sino hasta mediados del siglo XX. Las razones de esta relativa demora en la configuración de espacios urbanos en la región son diversas y su análisis es importante pues permite comprender algunas de las problemáticas ambientales de la actualidad.

Durante toda la época colonial, las costas fueron consideradas lugares insalubres y peligrosos. La cultura europea no estaba preparada para lidiar con los desafíos que planteaba el trópico húmedo y por esa razón se colonizó de manera preferente las zonas templadas. Con todo, la necesidad de contar con puertos de enlace con la metrópoli, obligó a las autoridades coloniales a constituir asentamientos humanos en las costas. Poblarlos representó un reto difícil de vencer pues los índices de mortalidad eran tan altos que pocas perso-

nas se atrevían a residir en ellos. Sólo de manera forzada se consiguió arraigar a grupos humanos para que atendieran las actividades básicas de los puertos. De ahí la importancia de la esclavitud y de la población de origen africano en la región. Por citar solo un ejemplo, la historia de la ciudad de Veracruz muestra que la población tuvo que enfrentar muy complejas situaciones para hacer habitable el espacio urbano. La introducción de agua y drenaje obsesionó a las autoridades municipales durante muchos años y no se consiguió resolver estas necesidades sino hasta finales de la época colonial, y ello ocurrió de manera parcial. Invertir en lo que ahora llamamos equipamiento e infraestructura urbana implicó para los habitantes de aquella época un dilema, ya que la inseguridad en que se encontraba la región a causa de la piratería mostraba como más conveniente dejar a la zona deshabitada (Rodríguez 2002).

Una vez consumada la independencia, a lo largo del siglo XIX la inestabilidad política impidió que la región prosperara en términos económicos y eso también contribuyó a aplazar la introducción de las mejoras que requería para su poblamiento. No fué sino hasta el ultimo tercio del siglo, con el gobierno de Porfirio Díaz, que las costas recibieron inversiones importantes en infraestructura (Connolly 1997). A partir de ahí, pudo haber un repunte demográfico. El saneamiento de la zona costera, contribuyó a erradicar el miedo a la fiebre amarilla, principal causa de la mortalidad, y permitió que el flujo de población inmigrante aumentara, dotando a la región de la mano de obra necesaria para el desarrollo de actividades económicas.

Desde esa época, cuando se incorporó a la región al mercado mundial, el Golfo y el Caribe conocen cuatro procesos básicos de carácter económico que modelan la urbanización, los cuales están asociados a un conjunto de productos específicos: puertos, plantaciones, petróleo y turismo. En términos históricos podría decirse que a cada proceso le acompañaron diversas etapas de poblamiento y estilos de urbanización. Así, por ejemplo, el desarrollo de la extracción y procesamiento del petróleo da pie a diversas olas de urbanización, de modo tal que es posible hablar de cohortes o generaciones de ciudades petroleras, las cuales florecen siguiendo los yacimientos más rentables y el ciclo económico de las exportaciones e industrialización del crudo y sus derivados.

ALGUNOS ANTECEDENTES PARA SU DEFINICIÓN

Sin ánimo de hacer una periodización formal podemos destacar que el Caribe se configuró en un principio a través del comercio colonial, la esclavitud y las haciendas cañeras, luego algodoneras y tabacaleras y, posterior-

mente, con diversas actividades ganaderas y agrícolas (hasta la revolución verde). En el curso del siglo XIX surgió lo que podríamos denominar la primera generación moderna de ciudades, sobrepuestas a las ciudades coloniales, pero esta vez asociadas a un mercado no solo transnacional sino también regional. De manera paralela, inició la explotación petrolera que se concentró en las costas de los estados de Texas y Luisiana en Estados Unidos y en las costas de Veracruz, Tabasco y Campeche en México.

Como parte de esta expansión tecnológica y geográfica hacia las profundidades marinas, sobre la costa propiamente, el desarrollo industrial y portuario (primordialmente en EE.UU.) provocó un crecimiento urbano distinto, una nueva generación de ciudades o una readecuación y transformación de las viejas ciudades. El comercio se expandió y concentró al mismo tiempo, se intensificaron las rutas y el transporte de mercancías y petróleo. Mientras los recursos pesqueros han sido prácticamente barridos en toda la superficie y fondo del mar, por las flotas de los tres países y de otras banderas más.

Los recursos naturales del Golfo de México llegaron a principios del siglo XXI en un estado crítico. Por un lado, la necesidad de agua de las actividades productivas y por otro, la creciente demanda de las ciudades, hicieron que este recurso aparentemente abundante, entrara en un estado de escasez y franco deterioro como consecuencia del incremento de la demanda, y la disminución de su disponibilidad y calidad. Este fue el caso del río Bravo que prácticamente dejó de descargar agua en el Golfo. La contaminación de los cuerpos de agua, generada por actividades agropecuarias, industriales, agroindustriales, extractivas y por el mismo transporte marítimo (particularmente de hidrocarburos), han afectado severamente al Golfo. La carga y descarga de hidrocarburos en las zonas costeras es una de las actividades que mayores externalidades negativas genera (Vergara Salas 1981). De manera semejante, la expansión agropecuaria también ha suscitado importantes impactos: en algunas zonas ha dejado sólo pequeños manchones naturales (cañadas, montañas, lagunas costeras, dunas o manglares), muy fragmentados, y grandes extensiones alteradas sin la cobertura vegetal original. Este sería el caso del Plan Chontalpa y la expansión ganadera en el sur de México (ver Damascos *et al.* 1995, Tudela 1992, Restrepo 1988 y Toledo 1989)

Por ejemplo se calcula “que los humedales norteamericanos desaparecen a un ritmo de 200,000 ha anuales...La agricultura ha sido responsable del 87% de los humedales perdidos; los desarrollos urbanos causan el 8% de las pérdidas ...Las islas de barrera tampoco han escapado a los impactos... el mayor impacto lo causaron las operaciones de dragado... (y) las estructu-

ras de estabilización... Tanto humedales costeros como islas de barrera sufren los procesos erosivos... a ritmos que se han estimado para las planicies en 20 m/año; y en 100 km² para humedales” (Toledo Ocampo 1996).

En la actualidad, a las “viejas” causas de las condiciones de alto deterioro, se suman nuevas fuerzas socioeconómicas que están ligadas a los fenómenos de urbanización (aumento de la población, pobreza, demanda de energía y recursos) y expansión tecnológica. En este trabajo queremos explorar la dinámica sociodemográfica y su expresión espacial, como una forma de ver estas tendencias y pensar las implicaciones ambientales asociadas. Para ello hemos tomado una definición costera arbitraria donde las unidades analíticas territoriales se conforman con los municipios (o condados) y las ecoregiones (CEC 1997) o paisajes que se encuentran en un cinturón de 130 km de ancho (desarrollada en Del Toro 2002 y León 2003). La definición anterior permite una comparación internacional a lo largo de los litorales (así como entre ambos océanos) y se estableció como criterio para uniformar y permitir un análisis continental. Dado que las unidades de paisaje se sobreponen y traslapan con la información de los límites municipales, el ancho del cinturón varía para poder contener unidades municipales completas (*op cit.*).

Primero hacemos un análisis macro de la dinámica de población por país y ecoregión, evaluando al mismo tiempo la fragmentación de esas unidades de paisaje y las asimetrías asociadas a la economía. Posteriormente presentamos algunos datos de la parte mexicana del Golfo que confirman las tendencias de urbanización y las implicaciones sobre las presiones en los recursos naturales.

LA REGIÓN ASIMÉTRICA

El enfoque analítico que propone que los principales problemas marinos y particularmente los costeros tienen origen en las actividades localizadas en tierra, surge formalmente en 1995 en el contexto de la Organización de las Naciones Unidas (UNEP 1995). Entre otras aportaciones, esa reunión hace un reconocimiento explícito a un hecho que no por ser tan obvio era ya reconocido como preponderante: la mayoría de los problemas de las costas y marinos surgen en tierra firme.

En algunas áreas del Golfo lo anterior es particularmente relevante. Veracruz, por ejemplo, posee la forma de una gran anfiteatro con cara al Golfo. El mar, las lagunas los meandros de los ríos, los pantanos, las planicies bajas surcadas por cuatro cuencas y cuarenta ríos que desahogan el 26% del escurrimiento nacional, son la contraparte de paisajes serranos que por

su vegetación y fresca captan la humedad recogida en el mar por vientos de tipo monzónico en verano y por los “nortes” en invierno. Boege y Rodríguez 1992 reconocieron que “El carácter de anfiteatro y los escurrimientos de agua nos llevan a la conclusión de que todo lo que la mano del hombre transforma en las partes altas repercute de manera inevitable en las lagunas costeras y en el mar, que son el depósito de los suelos arrastrados por la erosión y la destrucción de los bosques. Uno de los efectos más importantes de este esquema devastador no sólo es la pérdida de bancos genéticos básicos para el futuro de México y la humanidad, sino también la pérdida económica de una inmensa riqueza forestal natural. A este proceso hay que sumarle la pérdida de suelos que avanza inexorablemente: los asolvamientos de las grandes presas, de las cuencas y de las lagunas costeras y la pérdida de las riquezas pesqueras en el Golfo, son mudos testigos del precio que se paga por el estilo de desarrollo dominante que cierra el paso a posibilidades futuras”.

Las aportaciones de nutrientes al mar (entre ellos nitrógeno y fósforo), derivadas de las actividades humanas están íntimamente relacionadas con altas concentraciones de la población, pero también con la intensidad de sus actividades o su capacidad económica. Es posible observar que al menos para América del Norte, y particularmente en el Golfo de México, la costa de Estados Unidos sobresale mundialmente por el nivel de sus descargas (ver Stephen *et al.* 2003). La carga estimada es muy superior a la de Cuba y México, y esto también es evidente con otro indicador, la intensa luminosidad que emana de los centros urbanos durante la noche, fuertemente concentrada en las costas de EE.UU., que aparece prácticamente como un corredor urbano-costero continuo, mientras que Cuba y el sur de México, aunque visibles, son con mucho comparativamente menores (figura 1).

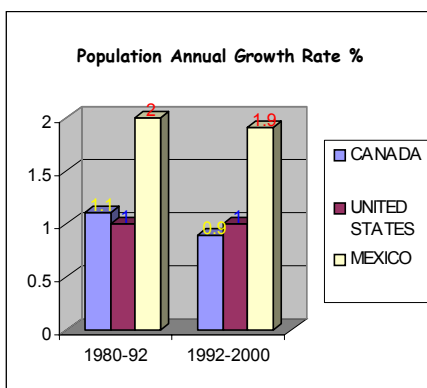
Al interior del Golfo de México existen profundas asimetrías socioeconómicas que se expresan en las capacidades para transformar la naturaleza, perturbarla, e incluso conservarla. Si lo anterior no fuera suficiente para mostrar que independientemente de la longitud de los litorales de cada país, las disparidades entre uno y otro son grandes, habría que mencionar los atributos de ingreso o economía, pues en 1990 el Producto Interno Bruto de Estados Unidos era 17 veces mayor que el de México: 5,920,199 millones de dólares en E.E.U.U. vs. 329,011 de México o 20,879 de Cuba (UN 1997) (figura 2).

En América del Norte la población no está distribuida homogéneamente. En Estados Unidos de América la población está concentrada en ciudades costeras, mientras que en México las ciudades más

FIGURA 1. EL GOLFO DE MÉXICO DE NOCHE



FIGURA 2. ASIMETRÍAS SOCIODEMOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS



grandes se encuentran en el altiplano (figura 3); asociada a estas ciudades está una actividad económica mucho mayor que la de las ciudades costeras mexicanas. Una forma de visualizar lo anterior es comparando el movimiento de cargas portuarias en el Golfo de México: lo que desplazan los puertos americanos es varios órdenes de magnitud mayor que lo que mue-

FIGURA 3. CONCENTRACIÓN DE LA POBLACIÓN EN NORTEAMÉRICA



Fuente: U.S. Department of Transportation *et al.* 2000.

FIGURA 4. MOVIMIENTOS DE CARGA PORTUARIA EN NORTEAMÉRICA (2000)



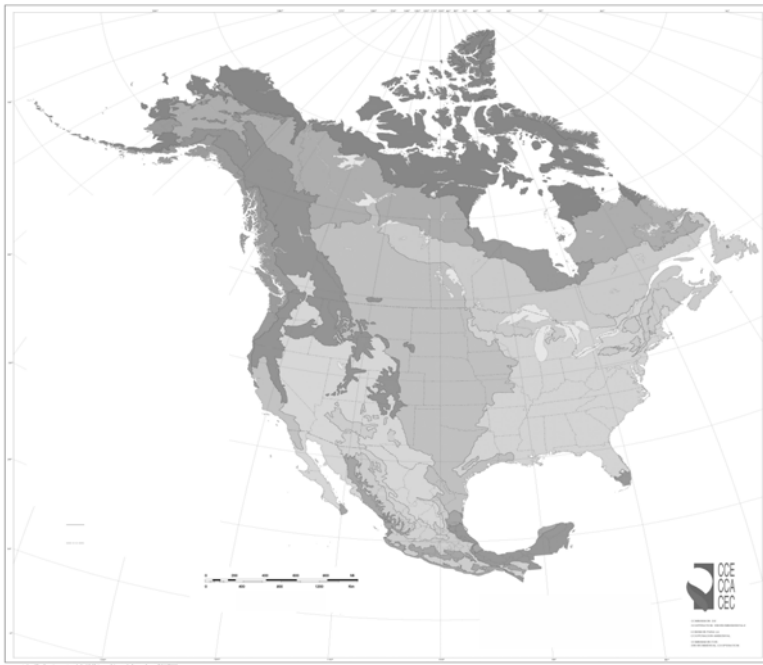
Fuente: U.S. Department of Transportation *et al.* 2000.

ven los mexicanos (figura 4).

Para estimar el peso relativo de la diversidad del paisaje con respecto a la presión que ejerce la población humana y sus actividades podemos hacer un recorte geográfico de la zona costera utilizando las ecoregiones (figura 5) para construir un cinturón con las unidades municipales (o condados) y

simultáneamente saber el tipo de paisaje o ecoregión que tienen. Dado que sólo EE.UU. tiene una definición legal y geográfica de la zona costera (con unidades de cuencas), útil a esta escala, se tomó como referencia para deli-

FIGURA 5. ECOREGIONES DE AMÉRICA DEL NORTE



Fuente: CEC 1997.

mitar un cinturón (ver Del Toro y León 2003) (figuras 6 y 7).

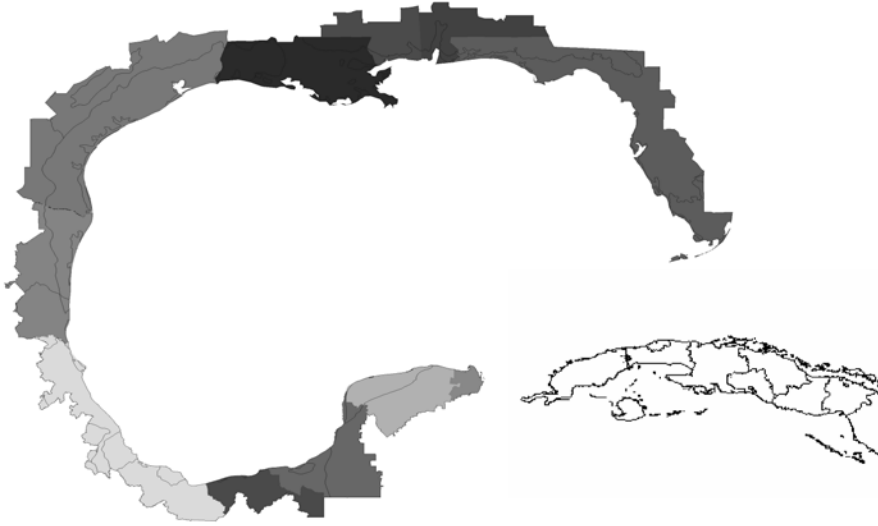
El Golfo de México, aunque controvertido en cuanto a la pertenencia caribeña, ha sido considerado como una sección o subsistema del “Gran Caribe” (Hernández-Santana *et al.* 1999). Como hemos apuntado, está compuesto por tres países, Estados Unidos de América, México y Cuba, y sus

FIGURA 6. PROMEDIOS DE ANCHO DE LA COSTA DE ESTADOS UNIDOS

FIG 7. ECOREGIONES COSTERAS DE NORTEAMÉRICA



FIGURA 8. ECOREGIONES Y ESTADOS DEL GOLFO DE MÉXICO

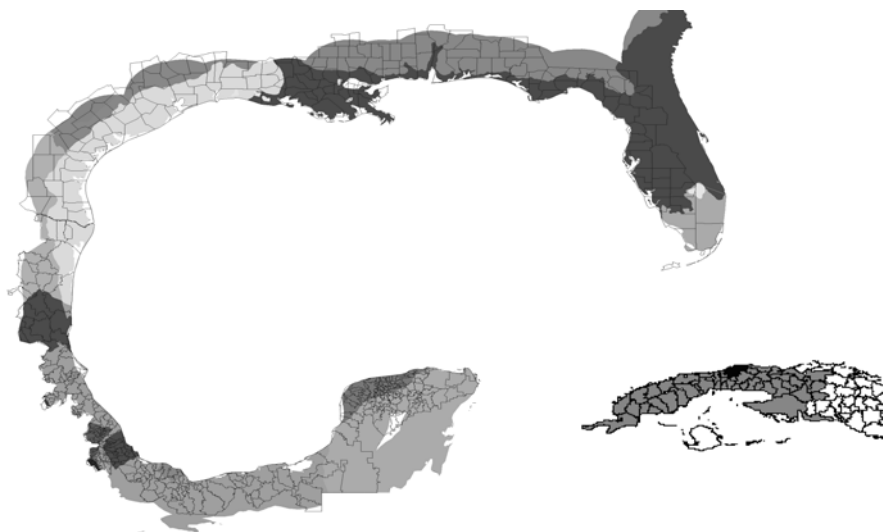


fronteras están conformadas por catorce estados o provincias (figura 8). Sin embargo, dada la definición previa, sólo algunos municipios o condados pueden ser considerados como costeros a esta escala, y son los que colindan con el litoral y otros vecinos tierra adentro contenidos en el cinturón definido; cuya inclusión puede ser importante por ejemplo, por los procesos y fenómenos de interconexión dados por la presencia de cuencas, o bien por razones demográficas y por supuesto por la propia ecoregión (figura 9).

La población total en el Golfo de México para el año 2000 era aproximadamente de 38,692,000 habitantes. Quince grandes ecoregiones terrestres están presentes y son sometidas a distintos procesos de cambio, alteración o perturbaciones como consecuencia de las actividades humanas. Adicionalmente, estos paisajes están fragmentados no sólo por las fronteras geopolíticas de los propios países (en el caso de la frontera entre México y EE.UU.) sino particularmente por las fronteras de las provincias o estados y de los municipios (cuadro 1).

Algunas ecoregiones están compartidas por más de un estado, y a su vez

FIGURA 9. ECOREGIONES Y MUNICIPIOS/CONDADOS DEL GOLFO DE MÉXICO



por un sinnúmero de municipios como sería el caso de la ecoregión Planicies Costeras y Lomeríos Húmedos del Golfo de México, que está a lo largo de tres estados (Veracruz, Tabasco y Campeche) y que en total se encuentra dividida por más de 130 municipios (cuadro 1). Más de seis millones de personas la habitan, con densidades altas de mas de 70 personas por km². Desde una perspectiva de conservación, el esfuerzo por mantener y preservar estos ecosistemas implicaría la coordinación de esfuerzos y políticas de tres estados y de todos los municipios que la comparten.

La zona costera en el Golfo de México no es del todo homogénea en lo que corresponde a las ecoregiones. Estas unidades denotan cierta riqueza o diversidad aún a esta escala geográfica (digamos semicontinental), pero particularmente podemos hablar de áreas nodales y sus áreas tributarias, es decir, aunque en este trabajo no exploramos explícitamente las localidades o asentamientos humanos, es posible visualizar que habría una serie de puntos de altas concentraciones de población - las propias ciudades o municipios que las contienen- y áreas internodales que pueden ser des-

CUADRO 1. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO DENTRO DE CADA ECOREGIÓN

ECOREGION (*)	ESTADO	POBLACIÓN 2000	MUNICIPIOS	SUP. KM ²	DENSIDAD POBL. (HAB/KM ²)
13.3 Sierra Madre Oriental	Veracruz	31,049	2	677	45.86
13.4 Sistema Neovolcánico Transversal	Veracruz	1,036,669	37	4,578	226.45
13.5 Sierra Madre del Sur	Veracruz	285,267	19	1,337	213.36
14.1 Planicies costeras y lomeríos secos del Golfo de México	Tamaulipas	841,021	10	17,629	47.71
	Veracruz	1,058,619	25	6,736	157.16
14.2 Planicie noroccidental de la Península de Yucatán	Yucatán	1,189,740	58	15,078	78.91
	Campeche	80,188	3	4,679	17.14
15.1 Planicies costeras y lomeríos húmedos del Golfo de México	Veracruz	4,121,484	118	54,977	74.97
	Campeche	180,477	2	14,331	12.59
	Tabasco	1,891,829	17	24,828	76.20
15.2 Planicie y lomeríos de la Península de Yucatán	Yucatán	468,470	48	24,664	18.99
	Quintana Roo	451,539	3	6,400	70.55
15.3 Sierra de los Tuxtlas	Campeche	338,014	3	25,649	13.18
	Veracruz	317,080	6	3,758	84.37
15.4 Everglades	Florida	2,584,328	3	14,613	176.85
8.3 Planicies surorientales de los EE.UU.	Misisipi	743,416	17	25,540	29.11
	Texas	769,752	20	45,841	16.79
	Alabama	908,001	12	30,276	29.99
	Florida	976,522	14	27,733	35.21
	Luisiana	382,778	6	10,222	37.45
8.5 Planicies aluviales del Misisipi y costeras del sureste	Florida	5,237,909	31	64,722	80.93
	Louisiana	2,340,156	21	38,204	61.25

(Continúa)

CUADRO 1. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO DENTRO DE CADA ECOREGIÓN

ECOREGION (*)	ESTADO	POBLACIÓN 2000	MUNICIPIOS	SUP. KM ²	DENSIDAD POBL. (HAB/KM ²)
9.5 Planicies costera de Texas-Luisiana	Louisiana	568,227	8	17,959	31.64
	Texas	6,350,037	25	65,093	97.55
	Tamaulipas	1,083,049	6	23,975	45.17
9.6 Planicie semiárida de Tamaulipas-Texas	Texas	72,849	4	13,757	5.30
	Tamaulipas	89,723	10	16,257	5.52
Subtotal		34,398,193	528	599,513	57.38
Sierra de Guaniguanico (**)	Pinar del Río	737,342	14	10,924	67.50
	La Habana	707,764	19	5,731	123.50
	Ciudad de La Habana	2,186,632	15	727	3006.10
Ciénega de Zapata	Matanzas	661,901	14	11,969	55.30
Total		38,691,832	590	628,864	61.53

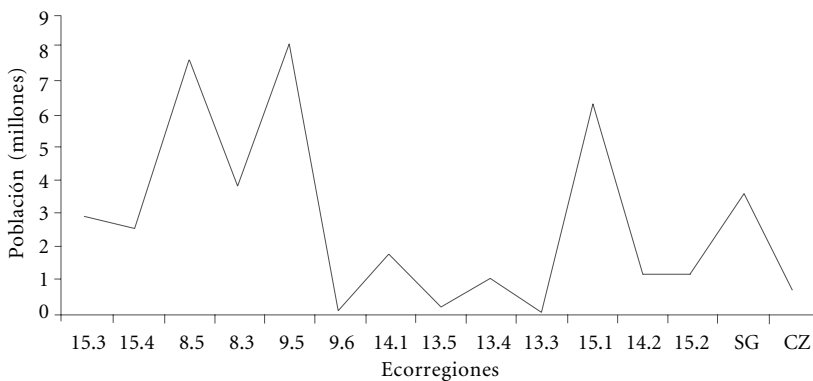
*:

critas como tributarias de esos puntos, formalmente consideradas espacios rurales.

Por ejemplo, en el Sistema Neovolcánico Transversal (ecoregión 13.4), donde se encuentra la capital del estado de Veracruz (la ciudad de Xalapa) hay más de un millón de personas y 226 habitantes por km². Las altas densidades muestran claramente el patrón de grandes concentraciones y espacios rurales de relativa baja densidad en los espacios intermedios. Lo mismo se observa en Estados Unidos de América: en los Everglades (ecoregión 15.4), hay más de dos millones y medio de personas con una densidad superior a 176 habitantes por km².

Simultáneamente, hay otras ecoregiones que presentan bajas densidades como la Planicie Semiárida de Tamaulipas-Texas (ecoregión 9.6). De cualquier modo, la densidad promedio de la costa varía entre 57 y 61 habitantes por km². Hay variaciones extremas desde 5 hasta 3000 habitantes por km² (en el caso de la ciudad de la Habana) (Cuadro 1). Adicionalmente,

FIGURA 10. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO POR ECORREGIÓN 2000



ecoregiones como las Planicies Aluviales del Misisipi y Costeras del Sureste (8.5) y las Planicies Costera de Texas-Luisiana (9.5) presentan la mayor población entre todas, con más de siete millones cada una (figura 10).

Estados Unidos de América concentra más del 50% de la población del Golfo y una proporción semejante de la superficie. Sin embargo, y descontando que comparte dos ecoregiones, México tiene casi el doble de diversidad de ecoregiones, es decir: con menor superficie contiene más paisajes y por tanto una mayor diversidad de ecosistemas y seguramente de especies (cuadro 2). La asimetría tiene entonces dos dimensiones: se expresa en la magnitud de la población y de la superficie, lo que hace evidente que la costa de EE.UU. tenga una mayor influencia en la región; y en el lado mexicano (figura 11) concentra mayor multiplicidad de paisajes, lo que conlleva una mayor biodiversidad.

CUADRO 2. POBLACIÓN COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO (2000)

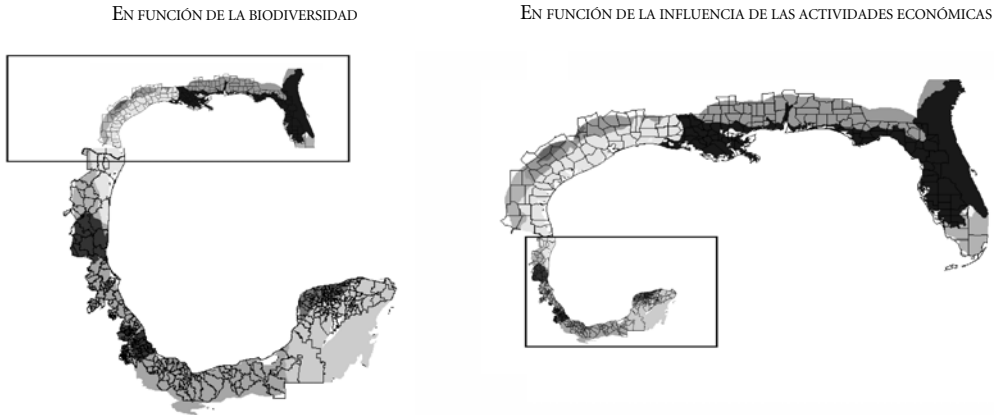
	ESTADOS/ MUNICIPIOS		POBLACIÓN 2000		SUPERFICIE		ECORREGIONES*	
	PROVINCIAS	CONDADOS			(KM ²)			
Estados								
Unidos	5	162	20,933,975	54.10%	328,420	52.22%	5	33.33%
México	6	357	13,464,218	34.80%	245,553	39.05%	10	66.67%
Cuba	3	62	4,293,639	11.10%	54,891	8.73%	2	13.33%
Total			38,691,832	100.00%	628,864	100.00%	15	100.00%

* Dos ecoregiones son compartidas por los Estados Unidos de América y México, por lo que se cuentan dos veces.

Como veremos más adelante, la población en las costas de México y en particular en las del Golfo de México y el Caribe está concentrándose en localidades urbanas a un ritmo sorprendente. Independientemente de que exista una población total que puede o no considerarse grande (más de 38 millones en el año 2000), la tasa de crecimiento poblacional y simultáneamente su concentración en localidades urbanas es un proceso significativo por sus implicaciones para el medio ambiente. De los diez municipios y condados con más alto crecimiento de la región, cuatro de ellos son de Estados Unidos y seis de México. El municipio donde se encuentra Cancún (Benito Juárez), en Quintana Roo, presentó el mayor crecimiento de todo el Golfo: duplicó su población en sólo diez años, aumentando en más de 200 mil personas, lo que en términos de satisfacción de necesidades o retos municipales, significa un incremento sustantivo en cuanto a demanda de servicios públicos (agua, vivienda, etc.) y de consumo en general (cuadro 3). Algo semejante pasó en el condado de Montgomery, Texas, cuya población aumentó 30% en la última década. Esto habla de que en general, la concentración, migración y crecimiento natural de la población en el Golfo de México sigue a ritmos altos y relativamente homogéneos, de aquí que no habría que esperar una estabilización de la población.

CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y DESARROLLO ECONÓMICO: EL CASO DE MÉXICO

FIGURA 11. PESO RELATIVO DE LA ZONA COSTERA EN EL GOLFO DE MÉXICO



En los siguientes párrafos nos interesa mostrar de un modo muy sucinto la forma en que se dio el proceso de urbanización de la costa del Golfo de México, poniendo particular atención a Veracruz, la entidad que más litoral ocupa. Nuestro objetivo es examinar algunos indicadores económicos y demográficos a fin de ofrecer las bases para comprender la naturaleza de los problemas ambientales que suscita el desarrollo urbano en las áreas costeras, al mismo tiempo que explorar los futuros retos que representan estas tendencias.

La urbanización reciente de México, que es el resultado de la interacción entre crecimiento demográfico y crecimiento económico, se halla asociada a la geografía de los mercados, y a la distribución de las rutas de transporte y de la fuerza de trabajo (Brambila 1992). La expansión de las áreas urbanas es fruto en este sentido tanto del crecimiento natural de su población como de lo que se conoce como crecimiento social: la migración. La población se desplaza siguiendo líneas de comunicación, redes de información y de apoyo. La movilidad de la población tiene varias causas, pero la más importante sin duda es el empleo. Una ciudad deviene atractiva para el emigrante desde el momento en que en ella es posible encontrar empleo bien remunerado. Por el contrario, una ciudad expulsa población a partir del momento

CUADRO 3. MUNICIPIOS Y CONDADOS CON MAYOR CRECIMIENTO POBLACIONAL
DEL GOLFO DE MÉXICO 1970-2000

MUNICIPIO /CONDADO	POBLACIÓN 2000	DENSIDAD	ECO- REGIÓN	AUMENTO 1980-90	AUMENTO 1990-2000	TASA 1970- 1980	TASA 1980- 1990	TASA 1990- 2020
Benito Juárez (Q. Roo)	419,815	182.93	15.2	139,575	243,050		16.87	9.04
Cosoleacaque (Ver)	97,437	355.61	15.1	2,955	50,711	7.86	0.66	7.63
Ixtlahuancillo (Ver)	11,914	229.12	13.4	2,650	5,361	1.23	5.32	6.16
Sumter (Florida)	53,345	35.28	8.5	7,305	21,768		2.67	5.38
Collier (Florida)	251,377	45.58	15.4	66,128	99,278		5.87	5.15
Tlalnahuayocan (Ver)	11,484	319.00	13.4	2,368	4,521	3.78	4.24	5.13
Montgomery (Texas)	293,768	105.63	8.3	53,714	111,567		3.55	4.89
Wakulla (Florida)	22,863	13.85	8.5	3,315	8,661		2.69	4.88
Kanasin (Yuc)	39,191	388.03	14.2	17,392	14,688	1.25	13.17	4.81
Nacajuca (Tab)	80,272	152.61	15.1	20,970	29,481	3.18	5.47	4.68

en que las fuentes de ocupación cierran sus puertas y los trabajadores encuentran dificultades para seguir empleados de modo estable y con remuneraciones decorosas. En el curso de las últimas décadas, las ciudades han atravesado, desde el punto de vista demográfico periodos de expansión, estancamiento y contracción, los cuales a su vez son resultado de la dinámica de los mercados de trabajo. Por su parte, éstos se hallan determinados por las lógicas de inversión y rentabilidad del capital.

Los factores de localización de las empresas varían en el curso del tiempo: durante una etapa, buscan situarse cerca de los consumidores nacionales; durante otra, buscan ubicarse cerca de los mercados de exportación. Durante una época, procuran estar cerca de las materias primas y los suministros de energía; durante otra, más que buscar acercarse a la fuerza de trabajo barata o calificada, se proponen atraer a emigrantes necesitados, provenientes incluso de parajes lejanos. Según el sector al que pertenezca, una empresa sigue lógicas de localización específicas: en algunos casos, requiere estar cerca de una red de proveedores, con los cuales arma un eslabón; en otros, la empresa puede importar sus insumos desde puntos lejanos, operando a la manera de

un enclave, sin vínculos con los productores de la región donde se instala.

Cada una de las ciudades que estamos incorporando en nuestro análisis, forma parte de una región (un subsistema) dentro del sistema urbano nacional. En este sentido, cada ciudad se halla articulada por una red de relaciones en la que hay una jerarquía, esto es, un orden en el que una ciudad principal influye en el desempeño de todas las que forman parte del subsistema. Así, cabe advertir los siguientes subsistemas con sus respectivos nodos ordenadores:

- a) Subsistema del Noreste: Monterrey, Tampico, Ciudad Madero, Matamoros, Nuevo Laredo, Ciudad Victoria, Reynosa, Ciudad Valles, Ciudad Mante, Linares, Cadereyta.
- b) Subsistema Golfo: Veracruz, Villahermosa, Xalapa, Córdoba, Orizaba, Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque, Poza Rica, Tuxpan, Cárdenas, Comalcalco, Frontera, Tenosique, Cosamaloapan.
- c) Subsistema Península de Yucatán: Mérida, Campeche, Cancún, Ciudad del Carmen, Chetumal, Progreso, Champotón, Escárcega, Valladolid, Carrillo Puerto, Ticul.

La suerte de las ciudades se halla íntimamente ligada a la vida económica del país. Cuando la economía nacional crece, las ciudades se expanden. No obstante, el modelo de crecimiento económico puede estimular el desarrollo de ciertas regiones, y contribuir al escaso desarrollo de otras. La dinámica de cada subsistema urbano depende de la forma en que cada región se incorpora al desarrollo económico nacional. En este sentido, el proceso de urbanización de las costas debe contemplarse considerando a cada ciudad como parte de una red de relaciones económicas. Los tiempos de expansión de cada área urbana, dependen de ello.

Como puede verse en el cuadro 4, en los años cincuenta todo el sistema urbano nacional crece a un ritmo acelerado (6.14% anual). Sin embargo, los sistemas urbanos situados en los litorales siguen dinámicas específicas. En la zona costera del Golfo (ver cuadros 5 y 6 y figura 12), las ciudades que registran tasas de crecimiento altas lo hacen en virtud de que la extracción y procesamiento del petróleo lo exigen. Estas ciudades se encuentran en el norte (con Poza Rica como nodo dinamizador); en esos años, el comercio fronterizo contribuyó a un acelerado crecimiento de Matamoros y Reynosa. En el otro extremo, en el sur, el petróleo también contribuyó a la expansión de Coatzacoalcos. Gracias al comercio, empezaron a desarrollarse ciudades pequeñas como: Chetumal y Ciu-

CUADRO 4. CRECIMIENTO MEDIO ANUAL DE LA POBLACIÓN TOTAL,
URBANA Y URBANA EN COSTAS (%)

PERÍODO	TOTAL NACIONAL	TOTAL URBANA	URBANA EN COSTAS	ATLÁNTICO	PACÍFICO
1900-1910	-1.09	1.96	3.83	3.89	3.68
1910-1921	-0.51	1.07	1.80	3.18	-2.53
1921-1930	1.61	4.00	4.66	4.04	7.10
1930-1940	1.73	3.04	3.13	2.23	5.75
1940-1950	2.75	5.89	7.23	5.49	10.64
1950-1960	3.08	6.14	6.73	5.45	8.43
1960-1970	3.28	5.33	6.61	6.76	6.44
1970-1980	3.32	5.16	5.10	5.48	4.63
1980-1990	1.97	2.75	3.84	3.50	4.26
1990-1995	2.33	3.30	3.64	3.27	4.07

dad del Carmen. El sistema urbano de la península de Yucatán registró en realidad un escaso desarrollo; Mérida apenas creció; el turismo tuvo un desarrollo incipiente y Cancún todavía no aparecía en el horizonte.

En los años sesenta, se registró una década de gran crecimiento urbano en las costas del Golfo. En el norte, Poza Rica continuó con su expansión, aunque ahora con menor velocidad; su dinámica también arrastró a Tuxpan. La zona metropolitana de Tampico, también vinculada al petróleo, absorbió parte del ímpetu de la industria petrolera. En el sur, Coatzacoalcos mantuvo su ritmo de crecimiento y Villahermosa comenzó en esos años un proceso de expansión acelerado; Cárdenas, en la misma entidad, empezó a dejar de ser una localidad rural; Campeche y Ciudad del Carmen, registraron en esos años altas tasas de crecimiento.

En los años ochenta, la economía nacional atravesó por un periodo de crisis. El agotamiento del modelo de industrialización por sustitución de importaciones suscitó un cambio en el proceso de urbanización a nivel nacional. Las principales ciudades parecen contar con menos oportunidades de desarrollo económico y eso detiene los flujos migratorios hacia ellas. Algunas ciudades que habían crecido en las últimas décadas detuvieron su

CUADRO 5. DINÁMICA DE LAS LOCALIDADES URBANAS (1900-2000)

AÑO	TOTAL NACIONAL	TOTAL URBANA	URBANA EN COSTAS				ATLÁNTICO			PACÍFICO		
			TOTAL	%	No. DE LOC.		TOTAL	%	No. DE LOC.	TOTAL	%	No. DE LOC.
1900	13,607,259	1,675,905	166,915	9.96	9		116,759	69.9	5	50,156	30.1	4
1910	15,160,369	2,035,828	242,988	11.94	11		171,005	70.4	6	71,983	29.6	5
1921	14,334,780	2,288,156	295,651	12.92	10		241,325	81.6	7	54,326	18.4	3
1930	16,552,722	3,257,950	445,291	13.67	16		344,534	77.4	10	100,757	22.6	6
1940	19,653,552	4,396,784	606,033	13.78	23		429,734	70.9	12	176,299	29.1	11
1950	25,791,017	7,796,090	1,218,223	15.63	39		733,513	60.2	19	484,710	39.8	20
1960	34,923,129	14,150,370	2,335,825	16.51	56		1,246,772	53.4	26	1,089,053	46.6	30
1970	48,225,238	23,781,346	4,430,575	18.63	90		2,397,672	54.1	50	2,032,903	45.9	40
1980	66,846,833	39,316,903	7,283,993	18.53	117		4,088,175	56.1	68	3,195,818	43.9	49
1990	81,249,645	51,591,221	10,615,971	20.58	152		5,765,953	54.3	84	4,850,018	45.7	68
1995	91,158,290	60,687,878	12,692,622	20.91	175		6,773,052	53.4	92	5,919,570	46.6	83
2000	97,483,412	63,234,553	13,666,236	21.6	209		7,130,493	52.2	118	6,535,743	47.8	91

CUADRO 6. TAMAÑO DE LAS LOCALIDADES COSTERAS (2000)

TAMAÑO DE LA CIUDAD	TOTAL NACIONAL		COSTA DEL ATLÁNTICO		COSTA DEL PACÍFICO	
	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL	NUM. DE LOCALIDADES	POBL. TOTAL
de 10,000 a 15,000	65	787,024	31	368,869	34	418,155
de 15,000 a 50,000	98	2,604,132	63	1,722,860	35	881,272
de 50,000 a 100,000	17	1,267,601	7	515,365	10	752,236
de 100,000 a 500,000	24	5,484,916	16	3,860,869	8	1,624,047
de 500,000 y mayores	5	3,522,563	1	662,530	4	2,860,033
Total	209	13,666,236	118	7,130,493	91	6,535,743

Fuente: Gutierrez *et al.* 1999 y CONAPO 2000.

dinamismo y llegaron incluso a perder población, como es el caso de Poza Rica. En su conjunto, las ciudades del nordeste disminuyeron su expansión. La crisis petrolera afectó también a Coatzacoalcos; sus tasas de crecimiento, que habían sido del 5% en promedio en los años previos, se redujeron a la mitad. En el sur se registró la aparición de un nuevo emporio urbano: Cancún, que surgió prácticamente de la nada. Mérida, a su lado, interrumpió su dinámica; y Ciudad del Carmen también se detuvo.

En los años noventa, el reordenamiento de la actividad petrolera siguió su curso y suscitó que ciudades como Coatzacoalcos, que ya habían disminuido su crecimiento, ahora incluso pierdan población. En cambio, Ciudad del Carmen repuntó y se constituyó como el nuevo nodo de desarrollo petrolero. Ante el desplome de la actividad industrial en la región, los servicios empezaron a desempeñar un papel importante en el desarrollo económico. Destacan Cozumel y sobre todo Cancún como zonas turísticas altamente dinámicas. En el norte, las ciudades fronterizas Reynosa, Matamoros, Laredo, lograron mantener tasas de crecimiento elevadas: su posición geográfica favoreció su desarrollo comercial e incluso industrial gracias a la maquila. La zona metropolitana de Tampico logró un moderado crecimiento gracias a la vida del puerto de Altamira, que dinamizó el desarrollo industrial. Igual ocurrió con Veracruz, donde el puerto logró reactivar la vida económica de la ciudad.

Como sabemos, en los años noventa la economía del país transitó hacia

un nuevo modelo de desarrollo. Ya desde mediados de los años ochenta habían empezado a introducirse medidas tendientes a liberalizar el comercio y a recortar la presencia del estado en la economía. La exportación de hidrocarburos sin dejar de ser importante, pasó a un segundo término y aparecieron otras actividades con mayor dinamismo exportador. La industria maquiladora, el turismo y los puertos se configuraron como los sectores que más empleo proporcionan. La población, ante la crisis de las manufacturas tradicionales y el ajuste laboral del sector público que suscitó la aplicación de las políticas económicas liberales, empezó a buscar ocupación en las ciudades fronterizas e incluso en el mercado de trabajo norteamericano. El empleo informal en las áreas urbanas también experimentó un crecimiento significativo. La caída de los ingresos entre la población trabajadora se tradujo en una expansión de la pobreza.

En el curso de estos años, asistimos a una redefinición de los patrones de migración en las ciudades costeras del atlántico. De acuerdo con Cabrera (1993), en la región costera del Golfo y el Caribe las localidades de más de 100 mil habitantes, en los años 70-90, crecieron a una tasa media anual de 4.92%, mientras que las de menor tamaño, lo hicieron a una tasa de 2.18%. De ello se deriva que haya existido una corriente migratoria de localidades menores a mayores dentro de la misma región. Según este autor, se descarta que los pobladores de estas localidades de menor tamaño hayan migrado al territorio no costero de sus propios estados litorales, ya que su población creció a una tasa aun menor, 2.05%. En conclusión, las localidades de más de cien mil habitantes están creciendo, en promedio, cerca de tres veces más que la población que habita en localidades de menos de cien mil habitantes, fundamentalmente alimentadas por su propia población regional.

Hasta 1990, las ciudades más atractivas, donde la inmigración acumulada fluctuaba entre 191 mil y 133 mil personas, fueron tres: ZM Tampico, ZM Coatzacoalcos y Cancún. En ellas se concentraban 451 mil inmigrantes, correspondiente al 35% del total de los inmigrantes en estas costas. Durante el periodo de 1965 a 1970 destacaban Tampico y Campeche por el número de inmigrantes que recibieron, 25 mil y 20 mil personas respectivamente. La zona metropolitana de Tampico ha logrado mantener su poder de atracción, en cambio Campeche lo ha reducido y su lugar lo ocupan otras ciudades (Gutiérrez y González 1999). En los años noventa, seis localidades se habían convertido en zonas atractivas: Reynosa, Nuevo Laredo, Matamoros, Veracruz, Mérida y Villahermosa y en su conjunto sumaron 427 mil inmigrantes. Con las tres primeras, sumaban el 70% de los inmigrantes del

Atlántico. Son tres los factores que las hacen atractivas: petróleo, comercio fronterizo y turismo. Las ciudades de la península explicaban su crecimiento poblacional por la inmigración: más del 50% de sus habitantes no nacieron en ellas.

En el curso de la última década del siglo XX, las ciudades costeras parecen haber consolidado su ordenamiento. Como puede verse en los cuadros 7 y 8, las principales localidades que definen los lugares centrales de los diversos subsistemas están claramente definidas: a un lado, los asentamientos fronterizos, del otro, las viejas localidades petroleras, por último los centros portuarios y turísticos. La jerarquía de los asentamientos muestra que en el Golfo, a diferencia del Pacífico, las localidades que oscilan entre 15 mil y 50 mil habitantes poseen mayor importancia, lo cual es signo de una mayor condensación de la población urbana en el litoral occidental, y de una mayor dispersión en el Atlántico.

Como hemos apuntado, la dinámica demográfica refleja los avatares de la economía. Esta determina la movilidad de la población a través de las oportunidades que abre el mercado de trabajo. ¿Cuál ha sido la manera en que las economías urbanas del Golfo han respondido al nuevo escenario económico creado por la apertura comercial y el repliegue del Estado? Una primera aproximación a esta cuestión consiste en el examen temporal de la distribución por rama de la población ocupada. ¿De qué forma cambia la aplicación de las energías laborales en el curso de una década de cambios productivos? Con apoyo en evidencias producidas entre 1987 y 1997 por la Encuesta Nacional de Empleo Urbano (ENEU), podemos apreciar las transformaciones más relevantes experimentadas por las principales áreas urbanas del Golfo. Nuestro análisis centra su atención en primer lugar en las ciudades donde el sector petrolero y petroquímico ha tenido relevancia.

Así, cabe apreciar en primer término los cambios experimentados por la economía del área urbana de Tampico-Madero-Altamira. De 1987 a 1992 observamos una pérdida importante de la población ocupada en actividades petroleras. De absorber el 15% de la PEA en 1987, pasa al 8.5% en 1992, para reducirse al 5% en 1997. Las manufacturas han mantenido una cierta estabilidad en el curso del periodo, girando alrededor del 12%. La pérdida de importancia del petróleo dió origen al crecimiento de otras ramas: el comercio pasó del 16.5% en 1987 al 21% en 1997; y los servicios (no financieros ni gubernamentales) pasaron del 23.2% en 1987 al 28.8% en 1997.

Para las ciudades del sur disponemos de información sólo para el periodo más reciente (1992-1997). Hacia 1990, Pemex declaraba ocupar a 31,050

CUADRO 7. SISTEMA URBANO DEL GOLFO DE MÉXICO: POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO 1990-2000

Núm.	Ciudad	Entidad (es)	Población			Tasa de crecimiento (%)			
			1990	1995	2000	1990-1995	1995-2000	1990-2000	
Rango nacional	República Mexicana		81 249 645	91 158 290	97 483 412	2.1	1.6	1.9	
15	Total urbano nacional		50 629 952	58 448 196	63 234 553	2.6	1.9	2.3	
	Total urbano del Golfo		4 530 564	5 343 848	5 855 912				
	Zm Tampico	Tamaulipas-							
16	Heroica Matamoros	Veracruz	567 334	620 012	664 692	1.6	1.6	1.6	
17	Nuevo Laredo	Tamaulipas	266 055	323 794	376 279	3.5	3.6	3.6	
20	Zm Mérida	Tamaulipas	218 413	273 797	308 828	4.1	2.9	3.6	
24	Zm Coatzacoalcos	Yucatán	658 452	772 645	842 188	2.9	2.0	2.5	
25	Zm Veracruz	Veracruz	573 263	627 052	612 808	1.6	-0.5	0.7	
33	Zm Poza Rica	Veracruz	473 156	560 200	593 181	3.0	1.3	2.3	
43	Reynosa	Veracruz	198 810	209 214	211 405	0.9	0.2	0.6	
44	Cancún	Tamaulipas	265 663	320 458	403 718	3.4	5.5	4.3	
45	Villahermosa	Quintana Roo	167 730	297 183	397 191	10.7	7.0	9.1	
56	Campeche	Tabasco	261 231	301 238	330 846	2.6	2.2	2.4	
64	Ciudad del Carmen	Campeche	150 518	178 160	190 813	3.0	1.6	2.4	
65	Chetumal	Campeche	83 806	114 360	126 024	5.7	2.3	4.2	
		Quintana Roo	94 158	115 152	121 602	3.6	1.3	2.6	

(Continúa)

CUADRO 7. SISTEMA URBANO DEL GOLFO DE MÉXICO: POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO, 1990-2000

NÚM.	CIUDAD	ENTIDAD(ES)	POBLACIÓN			TASA DE CRECIMIENTO (%)		
			1990	1995	2000	1990-1995	1995-2000	1990-2000
68	Ciudad Valles	San Luis Potosí	91 402	102 226	105 721	2.0	0.8	1.5
84	Cárdenas	Tabasco	61 017	72 739	78 637	3.2	1.8	2.6
88	Tuxpam de Rodríguez Cano	Veracruz	69 224	74 692	74 527	1.4	-0.1	0.7
101	Cozumel	Quintana Roo	33 884	47 841	59 225	6.3	5.1	5.8
120	Papantla de Olarte	Veracruz	46 075	49 916	48 804	1.4	-0.5	0.6
123	Acayucan	Veracruz	43 383	49 256	47 826	2.3	-0.7	1.0
129	Playa del Carmen	Quintana Roo	3 098	17 621	43 613	36.1	23.6	30.5
135	Choapas, Las	Veracruz	43 868	42 132	41 426	-0.7	-0.4	-0.6
156	Pánuco	Veracruz	29 817	33 122	34 192	1.9	0.7	1.4
190	Cosamaloapan	Veracruz	26 751	28 520	28 496	1.1	0.0	0.6
212	Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río	Veracruz	25 593	25 586	25 909	0.0	0.3	0.1
229	Isla	Veracruz	18 484	22 315	24 036	3.4	1.8	2.7
233	Catemaco	Veracruz	21 260	22 965	23 631	1.4	0.7	1.1
242	Alvarado	Veracruz	23 411	23 776	22 608	0.3	-1.2	-0.4
319	José Cardel	Veracruz	14 708	17 876	17 686	3.5	-0.2	1.9

CUADRO 8. CIUDADES COSTERAS DE MAYOR JERARQUÍA EN 1995

CIUDADES MUY GRANDES		CIUDADES GRANDES			
PACÍFICO	POBLACIÓN	PACÍFICO	POBLACIÓN	ATLÁNTICO	POBLACIÓN
1. Tijuana	966,097	1. Mazatlán	302,888	1. Matamoros	323,794
2. Acapulco	592,528	2. Cd. Obregón	244,028	2. Reynosa	320,458
3. Culiacán	505,518	3. Ensenada	192,550	3. Villahermosa	301,238
4. Mexicali	505,016	4. Los Mochis	188,349	4. Cancún	297,183
		5. Guaymas Z.M.	183,232	5. Nuevo Laredo	273,797
		6. Tapachula	163,253	6. Poza Rica Z.M.	191,488
ATLÁNTICO					
1. Mérida Z.M.	772,645	7. La Paz	154,314	7. Campeche	178,160
2. Tampico Z.M.	705,302	8. Puerto Vallarta	121,844	8. Cd. Valles	102,226
3. Coatzacoalcos Z.M.	627,052	9. San Luis Río Colorado	115,596	9. Chetumal	115,152
4. Veracruz Z.M.	560,200			10. Cd. del Carmen	114,360

Fuente: Gutierrez *et al.* 1999.

trabajadores en sus complejos y refinerías, mientras que el sector privado de la rama de sustancias químicas registraba a cerca de seis mil trabajadores. En 1992, la ENEU apunta a poco más de 22 mil trabajadores en la rama de extracción y refinación y un poco más de 13 mil en la industria de la transformación como conjunto. Los cambios que se operan en esta zona son, como ya hemos advertido, muy rápidos y significativos. En Coatzacoalcos, según la ENEU, el sector petrolero pasó de absorber el 19% de la población ocupada en 1992 a sólo el 12.2% en 1997. Las manufacturas son afectadas por este proceso: pasaron del 11.1% al 7.3% en el mismo lapso. Simultáneamente, el comercio y los servicios se incrementaron: pasaron, el primero, del 18.8% al 20.4% y los últimos, del 23% al 27.5%. En el caso de Villahermosa, la población ocupada observó también cambios notables: el petróleo pasó de absorber el 8.1% al 5.2% del total; no obstante, las manufacturas crecieron ligeramente, al pasar del 8.2% al 8.7%; los servicios, por su parte, experimentaron un ligero aumento, al pasar del 28% al 30%.

Desde una perspectiva global, la reestructuración de los escenarios económicos en la región significa el rediseño de las opciones de empleo para la población trabajadora. Al alterarse los patrones de inserción ocupacional, se despliega un complejo proceso de reordenamiento de la movilidad laboral. Las poblaciones rurales que en el periodo anterior se desplazaron hacia las áreas urbanas en busca de un empleo asalariado, encontraron un espacio abierto en el sector manufacturero, pero desde 1985 encuentran límites para incorporarse a la economía urbana en ese sector y tienden a incorporarse —cada vez menos como asalariados y con más frecuencia como trabajadores informales, por cuenta propia, es decir, como autoempleados— en el sector terciario (servicios y comercio). De hecho, la frontera norte y el mercado laboral norteamericano representan en el umbral del siglo XXI una opción de empleo cada vez más importante no sólo para los trabajadores de origen rural sino también para los trabajadores de origen urbano.

Para apreciar con más profundidad la naturaleza de los cambios en los patrones de movilidad, es preciso examinar las estrategias laborales seguidas por las familias para recuperar sus niveles de ingreso en un contexto de escaso crecimiento económico, inflación y recorte o estancamiento del empleo industrial. El desplome de los ingresos de la población masculina se halla asociada a la entrada de miles de mujeres al mercado de trabajo y representa uno de los aspectos más relevantes del nuevo proceso de reestructuración.¹

Al cabo de varios años de reorganización económica, se advierte que la población trabajadora urbana con un ingreso inferior a los dos salarios mínimos oscila alrededor del 40%. La pobreza al cabo de varias décadas de desarrollo parece incrementarse. Como podemos apreciar en el cuadro 4, en el año 2000 los municipios más poblados de la región costera (que son generalmente los más urbanizados) han logrado atender, en su mayor parte, sus necesidades de agua, drenaje y electrificación. Salvo algunas notables excepciones (Ciudad del Carmen, Minatitlán, Tuxpan, y Altamira), el rezago en infraestructura ha logrado abatirse. Sin embargo, en estos municipios, los niveles de ingreso siguen siendo bajos, y la mayor parte de los hogares habita bajo condiciones de hacinamiento. Los niveles de escolaridad suelen ser bajos y esto repercute en las opciones de superación de la pobreza.

De alguna manera, la problemática ambiental de las ciudades de las costas del Golfo se halla determinada por la pobreza que embarga a sus habitantes. Si los mercados urbanos de trabajo poseen límites severos para elevar las remuneraciones salariales, también es preciso advertir que las

economías urbanas enfrentan límites significativos para atender los problemas ambientales que ha generado el desarrollo. Los costos sociales del desarrollo económico se han venido convirtiendo en costos ambientales. Las ciudades petroleras, cuya importancia hemos venido destacando, acumulan pasivos ambientales después de varias décadas, y lo mismo cabría decir de las ciudades portuarias y turísticas. La problemática ambiental que enfrentan las ciudades fronterizas, muy vinculada al desarrollo de las industrias maquiladoras, también ha crecido de manera acelerada y hasta ahora no ha sido atendida. Ahora examinaremos desde una perspectiva teórica los impactos que cada una de estas ciudades deberá encarar.

LOS IMPACTOS AMBIENTALES DEL DESARROLLO URBANO

En las últimas décadas, la sociedad mexicana ha atravesado por diversos momentos críticos que han deteriorado las posibilidades de acceder al bienestar de vastos contingentes de población. Estos momentos críticos han dejado huellas en el espacio. En el espacio queda claro que existen regiones deprimidas, barrios pobres, áreas marginadas. En tiempos de crisis, los espacios pobres se expanden, sea para absorber a los trabajadores asalariados que la industrialización había beneficiado, sea para asimilar incluso a la clase media depauperada.

Al terminar el siglo XX, la población que habita en áreas claramente urbanas (más de 50 mil habitantes) representa en México ya al 67% de un total demográfico de casi 100 millones. El acelerado proceso de urbanización que ocurrió en la segunda mitad de esa centuria, impulsado por un rápido crecimiento demográfico, suscitó la expansión de las ciudades. Naturalmente, gran parte de esta expansión se dio sobre extensiones originariamente rurales. Ante una dinámica de rápido crecimiento que desbordó a los agentes productores de espacio habitacional, millones de personas tuvieron que asentarse sobre periferias urbanas.

En el año 2000, el sistema urbano nacional contaba con alrededor de 14.8 millones de hogares; se estima que de éstos, 500 mil hogares (3%) no tenían una casa que habitar y cerca de 3.5 millones (24%) se vieron obligados a ocupar el suelo de manera irregular. Estos datos reflejan la incapacidad del mercado del suelo para atender a cerca de 27% de las necesidades de vivienda del sistema urbano nacional (SEDESOL 2002). El hacinamiento y los asentamientos irregulares son los patrones que mayor impacto tienen en el desarrollo de la ciudad, ya que inciden negativamente sobre la salud, la cohesión

social, las finanzas municipales y la conservación del medio ambiente.

Para los ciudadanos de los estratos altos, el asentamiento en las orillas de la ciudad puede brindar condiciones de vida menos agobiadas; por su nivel de ingresos, pueden asumir sin mayor dificultad los costos adicionales del transporte. Para los ciudadanos de escasos recursos, situarse en la periferia puede representar una opción en apariencia “económica”, pero cuyo costo oculto consiste en el alejamiento respecto del equipamiento y los servicios necesarios para su reproducción. Esta expansión periférica es a la vez espontánea y deliberada, y es resultado de varios procesos concomitantes. De un lado, ante la escasa oferta de suelo y vivienda accesible a los sectores populares por parte del Estado y el mercado inmobiliario, y del otro, ante la inevitable búsqueda de vivienda a bajo costo, la expansión de los asentamientos periféricos irregulares ha sido la nota dominante.

Cuando el crecimiento de una ciudad se produce de forma incontrolada, algo típico de las ciudades pobres, la periferia urbana se amplía a menudo hasta convertirse en una mezcla de asentamiento ilegales, complejos de viviendas baratas, terrenos agrícolas (algunos abandonados, otros cultivados intensamente o destinados a la ganadería), industrias de pequeña escala y vertederos de basura. La expansión física y dispersa de la ciudad, genera un territorio de transición donde se presentan problemas como el despilfarro de un recurso escaso (el suelo), el deterioro ambiental (degradación de cuerpos de agua y tierras productivas) y el encarecimiento de las infraestructuras (dispersión y alejamiento de los pobladores respecto de las redes ya establecidas, crecientes gastos en transporte) (Tudela 1991). Para los habitantes pobres de la ciudad, la periferia representa no sólo una posición geográfica sino una situación social: estar al margen.

Situarse a orillas de la ciudad implica asentarse lejos de bienes y dispositivos que garantizan no sólo equipamientos e infraestructuras, sino también empleo, seguridad y estatus. La periferia, los suburbios, han devenido, en muchas ciudades, espacios duales, áreas donde lo mismo pueden hallarse espacios habitacionales privados de muy alta calidad que áreas residenciales muy empobrecidas: paisajes de la supervivencia, de la ilegalidad, de la clandestinidad; espacios de la delincuencia, de la migración, barrios degradados, deprimidos y peligrosos.

Diversos investigadores han observado que los problemas ambientales urbanos experimentan una variedad de transformaciones, algunas de las cuales pueden ordenarse en una serie de estadios. La fase inicial consiste en la presencia de organismos biológico patógenos los cuales pueden surgir de un

inadecuado saneamiento, el escaso abasto de agua limpia o el mal manejo de aguas residuales. En particular, el inadecuado tratamiento de las excretas es un problema. Más tarde, se observan estadios de contaminación, los cuales incluyen aquellos generados por la industria, como humos y solventes. Esta transición ha sido asociada también con la “transición epidemiológica”, o movimiento desde enfermedades infecciosas en las ciudades (como el cólera) a las enfermedades o situaciones crónicas, como el envenenamiento por plomo o la malnutrición.

En teoría, podría esperarse que las ciudades experimenten una fluida transición de una fase a otra. Sin embargo, para algunas ciudades o segmentos de la sociedad la transición a las últimas fases puede ocurrir antes que para el conjunto del país. La población pobre de algunas ciudades puede así continuar hallándose expuesta a organismos patógenos luego de que partes mejor situadas de la ciudad han adoptado mejores sistemas sanitarios. En algunos casos, los riesgos industriales pueden coexistir con problemas de saneamiento.

Las instituciones vinculadas con la tenencia de la tierra y vivienda tienen influencia en la exposición de la población pobre a riesgos ambientales. Los migrantes recientes que enfrentan amenazas de expulsión poseen pocos incentivos para adoptar mecanismos de protección o realizar inversiones en agua y saneamiento. Con frecuencia, los pobres también construyen viviendas en lugares que se hallan expuestos a riesgos e impactos ambientales, por ejemplo, tierras expuestas a deslizamientos o inundaciones, o cerca de vertederos municipales.

Algunos de estos problemas son, para los pobres urbanos, relativamente nuevos o se hallan alejados de su experiencia, y en consecuencia no saben cómo atenderlos. Incluso, algunos de estos problemas, como la contaminación o el envenenamiento con solventes o plomo, son difíciles de identificar o detectar como causa de síntomas. De manera semejante a lo que sucede al interior de las ciudades, su área de influencia y el tipo de influencias se está expandiendo y modificando. Por un lado, estarían las sustancias que salen de las ciudades, vistas como sólidos (la basura municipal), gases (emisiones industriales por ejemplo) o líquidos (descargas de aguas negras) y por otro los efectos de las crecientes demandas urbanas, incluyendo la expansión agropecuaria para cubrir sus necesidades alimentarias.

Una forma de visualizar que el tipo de influencias de las ciudades sobre el medio ambiente han ido modificándose es considerar que las descargas de aguas negras estén o no tratadas y están incrementándose como consecuencia directa del aumento de la población, aunque simultáneamente se sabe

que la diversidad de las medicinas o sustancias químicas que consume la población también aumenta día con día. Muchas sustancias farmacéuticas como antibióticos, hormonas y otros compuestos orgánicos asociados a repelentes, detergentes, esteroides y desinfectantes, han sido monitoreados en ríos o costas de Estados Unidos de América, demostrando por un lado que las plantas de tratamiento son ineficaces y por otro que la contaminación presente tiene niveles tan insospechados tanto como sus impactos sobre la flora y fauna acuáticas son desconocidos (Kolpin 2002).

Una vez en el medio ambiente, las sustancias descargadas por los drenajes urbanos tienen efectos directos potenciales. El incremento en el consumo de productos farmacéuticos que varían con las capacidades económicas y la misma estructura poblacional son preocupantes. Por ejemplo, con una población dominada por jóvenes como el caso de México, y ante un incremento en el uso de anticonceptivos, aunque no se cuenta con un monitoreo no sería descabellado argumentar que en las descargas estas sustancias están presentes y seguramente incrementarían en volumen, complejidad y efectos. La toxicidad de este tipo de sustancias apenas se está evaluando, pero ya se ha visto que la combinación de efectos sobre la biota marina no es despreciable (Cleuvers 2003). De manera semejante, y calificadas como “disruptores endocrinos”, en los sedimentos de Japón, Hosokawa *et al.* (2003) encontraron altas concentraciones de sustancias agroquímicos y otros productos tipo dioxinas en casi todas las bahías de ese país. Sus resultados muestran la permanencia de sustancias en concentraciones considerables dentro de los sedimentos de más de 40 años, y resaltan no sólo la necesidad de estudios a profundidad sino de políticas públicas que modifiquen sus efectos. Esto podría explicar ciertos fenómenos como el decremento de la población de ciertas especies, y modificaciones en la proporción de sexos de la vida acuática.

A la par estarían los desechos sólidos urbanos, entre los que son particularmente tóxicos los productos industriales, y de manera genérica aquellos de los que deberían disponerse en rellenos sanitarios. El déficit de depósitos para residuos peligrosos y de rellenos sanitarios es, sin duda, enorme en el país y no menor en el Golfo de México (CONAPO 1999, Semarnap 2000).

Desde el punto de vista de la relación entre estructura económica y pobreza urbana, las ciudades mexicanas enfrentan tres problemas principales: a) la degradación del ambiente urbano tiene un desproporcionado impacto negativo en los pobres; las áreas con más riesgo se encuentran habitadas frecuentemente por ellos; los pobres pagan más por los servicios básicos y la infraestructura; b) la estructura económica configura el marco en el que se

originan los problemas ambientales; la localización de las actividades económicas en y alrededor de las ciudades acentúa la severidad de los problemas ambientales; las variables económicas que influyen en los problemas ambientales son: patrones espaciales de localización de industrias con impactos sobre la salud, eficacia del control sobre la contaminación industrial, usos de la energía, tamaño y naturaleza del sector informal; c) el nivel de la riqueza urbana está asociado a ciertos problemas ambientales; el saneamiento es un problema de las ciudades de bajo ingreso; los residuos peligrosos, la contaminación atmosférica y la escasez de áreas verdes, son problemas prioritarios en las ciudades de altos ingresos. La contaminación de los cuerpos de agua y el inadecuado manejo de los desechos sólidos son problemas que afectan a las áreas urbanas en desarrollo, independientemente del nivel de riqueza.

En suma, a lo largo de estas páginas hemos procurado mostrar, a partir de múltiples evidencias empíricas, las principales bases demográficas, económicas y ambientales que caracterizan al Golfo de México. Podemos sugerir que las asimetrías de este complejo sistema, pueden agruparse en tres grandes dimensiones y procesos. Por un lado, desde el punto de vista demográfico, observamos que el sistema urbano norteamericano, concentra a sus habitantes en una suerte de ciudades (nodos) continuas y relativamente concentradas o uniformes, con poblaciones superiores a los 600 mil habitantes. Por otro lado, en el caso del sistema urbano mexicano se aprecia una mayor dispersión de estos nodos, en general pocas ciudades de más de 600 mil personas, y muchas de menor tamaño y en incremento, cuyos espacios internodales -las propias zonas rurales- contrastan, y que en algunos casos se pueden clasificar y distinguir como nuevos centros urbanos, como sería el caso de las ciudades petroleras.

La presión demográfica que esta peculiar forma de distribución espacial de la población suscita, se halla asociada a la singular forma en que se ha dado el desarrollo económico en ambas zonas del Golfo. Así, desde el punto de vista productivo, observamos que las estrategias de aprovechamiento en ambas zonas muestran ciertas constantes pero también importantes diferencias. Baste recordar el peso de la economía norteamericana como contexto explicativo de estos contrastes, pero como puede verse en la figura 4, el movimiento portuario en ambas naciones registra diferencias significativas. Para Estados Unidos de América, la comunicación entre las zonas industriales de sus dos litorales exige un vasto movimiento de carga a través del canal de Panamá y sobre el mismo Golfo. Para la economía mexicana, en cambio, el movimiento de

carga se cifra fundamentalmente en la exportación de hidrocarburos.

Finalmente, en términos del sistema natural, cabe apreciar que mientras la biodiversidad en el sur del Golfo es mayor respecto a la costa norteamericana, las formas de aprovechamiento y las dinámicas de deterioro siguen patrones distintos.

La pobreza rural y urbana muestra nuevos síntomas y vínculos, la migración a las ciudades costeras ha impuesto nuevos patrones espaciales y el surgimiento de retos para la gestión no sólo de los recursos naturales o la conservación, sino particularmente nuevos retos para los gobiernos locales que enfrentan la necesidad de dotar servicios en condiciones de escasa capacidad financiera, todo lo cual compromete el desarrollo. Las asimetrías entonces también se expresan porque las ciudades norteamericanas enfrentan retos distintos.

En la parte mexicana espacialmente también hay una diferenciación, digamos sectorial. En los últimos años se registra una suerte de “modernización” de las ciudades del Golfo, particularmente las turísticas: modelos de segregación espacial donde los centros históricos se abandonan en aras de una forma de urbanización centrada alrededor de las zonas comerciales para los sectores de altos ingresos que buscan aprovechar las ventajas ambientales y los valores paisajísticos de la costa.

Lo anterior rivaliza con la dinámica de las explotaciones petroleras, que en el siglo XXI adquiere nuevos rasgos y que ha producido al menos dos generaciones de ciudades tipo, pero que no sólo contrasta sino excluye otros intereses sectoriales, como el propio turismo. En un futuro muy próximo quizá veamos nuevos conflictos tanto urbanos como rurales derivados de la explotación de la nueva generación de yacimientos de combustibles, por ejemplo los descubiertos y anunciados por PEMEX frente a costas y en el paleocanal de Chicontepec, el aprovechamiento de gas en el Papaloapan o en la cuenca de Burgos.

La atracción de las ciudades no disminuirá, es el caso de la oferta de empleos de las maquiladoras, que en algún momento se concentraron en la frontera norte y hoy incluso se expanden más allá de la propia ciudad de Mérida. Podemos decir que la comunicación náutica y aérea han borrado y extendido este efecto de frontera.

Como contraparte en el sector agropecuario, en este espacio internodal al que nos referimos, cuenca arriba o en las planicies costeras, algunos cultivos que habían retenido a la población rural de toda la zona (maíz, caña de azúcar, plantaciones frutícolas), empiezan a perder importancia. La pérdi-

da de opciones de empleo en el campo y las restricciones de ocupación en las ciudades están generando flujos migratorios hacia las grandes ciudades de la región. Los programas de conservación o de políticas públicas con miras a construir una plataforma para el desarrollo que desee cubrir los rezagos y pasivos ambientales a la vez que generar nuevas oportunidades económicas tendrán que contemplar estos fenómenos para evitar nuevos fracasos.

CONSIDERACIONES FINALES A MANERA DE RECOMENDACIONES

Las políticas dirigidas a enfrentar los ritmos del deterioro ambiental en el Golfo de México tendrían que dividirse, regionalizarse y complementarse en distintas escalas.

Por un lado, las políticas podrían dirigirse territorialmente, localizarse y dividirse en tres grandes áreas: tierra adentro, litorales y de mar adentro. Por otro lado, deberían complementarse internacionalmente hacia recursos compartidos, tanto terrestres como marinos (como agua, ecoregiones, especies pesqueras o tortugas) y hacia estrategias de conservación de hábitats (como áreas de anidación de aves o reptiles y arrecifes).

Un reto para lo anterior es por supuesto la necesidad de proponer políticas transversales que eviten los efectos negativos de las políticas sectoriales, es decir, los programas que incentivan la ganadería y la expansión de la frontera agrícola se contraponen y anulan las propuestas de conservación y manejo de recursos naturales. En el contexto de los retos asociados al territorio costero, i.e., las planicies o lo que aquí denominamos tierra adentro (las cuencas incluidas), la Federación tiene una responsabilidad y los estados y municipios otras. Los dos primeros niveles de gobierno ejercen sus programas sectorialmente, y generalmente no están armonizados ni unos ni otros.

Incluso al interior de un sector, se desconoce o ignoran ciertos elementos del territorio que aíslan aun más las posibilidades de solución a los problemas, como es el caso de la pesca o de la explotación de petróleo con cuyos pasivos ambientales (la contaminación) y sociales (fenómenos de urbanización y segregación social) es difícil lidiar. En estos sectores no hay una visión de lo costero como aquí se propone, no hay una distinción clara de lo que es plenamente mar adentro y lo que es propiamente litoral, así la explotación de alta mar (petróleo o pesca) sucede independiente de los procesos urbanos en un caso, o de la pesca ribereña en otro. Las instituciones no promueven políticas o soluciones de manera paralela y coordinada entre ambos

espacios geográficos.

En otra dimensión, al interior de lo que denominamos tierra adentro, el espacio y las políticas deberían estar diferenciadas hacia las concentraciones de la población, las zonas urbanas o nodos y hacia los espacios interurbanos. Las políticas para mantener a la población rural en sus respectivos espacios y localidades, con niveles de empleo e ingresos dignos, con alternativas productivas que no extiendan la frontera agropecuaria y que, por el contrario, que garanticen la restauración de cañadas y vegetación natural son inexistentes. Ambos procesos están ligados. En el fondo, tanto en zonas rurales como en áreas urbanas la condición de los ciudadanos está en una seria crisis. De la misma manera en que estos no tienen opciones los gobiernos locales, con la responsabilidad de abastecer y dotar de servicios a una población creciente, tampoco tienen opciones y el rezago aumenta año con año.

Las políticas urbanas y rurales son complementarias, pero particularmente, muchas de las soluciones para potabilizar el agua, distribuirla y luego colectar las aguas negras, son tecnológica y financieramente un cuello de botella. Se requieren políticas públicas que identifiquen soluciones tecnológicas distintas y esquemas financieros de inversión novedosos. Consideramos que es una trampa elusiva de la Federación el hecho de que no desarrolle propuestas de política nacional para problemas que legalmente están en la competencia de los gobiernos locales, como son los casos de la basura y el tratamiento de aguas negras.

NOTAS

1. De acuerdo con estadísticas del INEGI, en 1990 la tasa de participación económica femenina era del 14.5%, mientras que para 1995 era ya del 32.7%. Cf. *Perspectiva estadística de Veracruz*, INEGI, 1997.

BIBLIOGRAFÍA

- Boege, Eckart y Rodríguez, Hipólito 1992. Desarrollo y medio ambiente en Veracruz, CIESAS-Golfo/Fundación Friedrich Ebert/Instituto de Ecología, A.C., México.
- Brambila Carlos 1992. *La expansión urbana en México*, El Colegio de México, México.
- Cabrera, Gustavo, 1993, Las regiones costeras, crecimiento y potencial demográfico. *Demos 6*, México. Se puede consultar en: <http://www.ejournal.unam.mx/demos/>

demos06.html.

- Cleuvers M. 2003. Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters* 142: 185-194.
- Commission for Environmental Cooperation (CEC) 1997. North America Eco-regions: Towards a common Perspective. Montreal, Canadá. 70 pp. www.cec.org.
- Consejo Nacional de Población 1999. La situación demográfica de México, 1999. La situación sociodemográfica de las zonas costeras. Pp. 73-89. Gobierno de México.
- Connolly Priscilla 1997. *El contratista de Don Porfirio, Obras públicas, deuda y desarrollo desigual*. FCE-UNAM, México.
- Damascos, M.A., N.M. Gazia y G.C. Gallopín 1995. Consecuencias de la Transformación de los ecosistemas de la América Latina. Estudios de Caso. En: Gallopín, G.C. *El futuro ecológico de un continente. Una visión prospectiva de la América Latina*. Ed. Universidad de las Naciones Unidas-FCE. Pp 11-121.
- Del Toro Madrueño, J.J. 2002. Fragmentación Geopolítica de la Zona Costera de Norte América: Implicaciones para su manejo y conservación. Tesis. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. División de Estudios Históricos y Humanos. CUCSH. Universidad de Guadalajara.
- García R. 1986. conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos. En: Leff, E. (coord). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. Siglo XXI Editores, México.
- García R. 2000. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Gedisa, Madrid. 252 pp.
- Gutiérrez T. y González J. 1999. Las costas mexicanas y su crecimiento urbano. *Inversiones Geográficas*. Boletín 40. UNAM, México.
- Hernandez-Santana, J.R. J.M. Martinez-Suarez, C.M. Lorenzo y A.D. González (coord.), 1999. *El Caribe contribución al conocimiento de su Geografía*. Instituto de Geografía Tropical, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba. 240 pp.
- Hosokawa Y., M. Yasui, K. Yoshikawa, Y.Tanaka, M. Suzuki 2003. The nationwide investigation of endocrine disruptors in sediment of harbours. *Marine Pollution Bulletin* 47 (2003) 132-138. Se puede consultar en: www.elsevier.com/locate/marpolbul.
- Kolpin, D. W, E. Furlong, M.T. Meyer, E. M. Thurman, S. D. Zaugg, L.B. Barber y H. T. Buxton 2002. Pharmaceuticals, Hormones, and Other Organic Wastewater Contaminants in U.S. Streams, 1999-2000: A National Reconnaissance. *Environ. Sci. Technol.* 36: 1202-1211.
- León, C., B. Graizbord, R. K. Paisley, E. Bricklemeyer y J. J. del Toro 2003. Environmental

- Challenges facing North American Integration: Coastal Zone Management and Landscape Units. Reporte del PIERAN-COLMEX.
- Restrepo, I. (coord.) 1988. *Atlas del Golfo y Caribe de México. Diagnóstico ambiental*. Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, México.
- Rodríguez Hipólito 2002. Veracruz. Del puerto de la conquista al de la independencia y la modernidad. Ciesas, Universidad Veracruzana, México.
- SEMARNAP 2000. *La gestión ambiental en México*. SEMARNAP, México. 374 pp.
- Stephen V. Smith, Dennis P. Swaney, Liana Talaue-Mcmanus, Jeremy D. Bartley, Peder T. Sandhei, Casey J. McLaughlin, Vilma C. Dupra, Chris J. Crossland, Robert W. Buddemeier, Bruce A. Maxwell y Fredrik Wulff, 2003. Humans, Hydrology, and the Distribution of Inorganic Nutrient Loading to the Ocean. *BioScience* 53(3): 235-245
- Toledo Ocampo, A. 1996. Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México. En: V. Botello, A., J.L. Rojas Galaviz, J.A. Benitez y D. Zarate Lomeli. *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC-Epomex-SEP. Pp. 1-17.
- Toledo, V.M, J. Carabias, C. Toledo y C. Gonzalez-Pacheco. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Fundación Universo Veintiuno. 402 pp.
- Transboundary freshwater dispute database 2000. Oregon State University.
- Tudela, F. 1991. Uso del suelo, vivienda y medio ambiente. En: *Los grandes problemas de la ciudad de México*. Plaza y Valdés, México.
- Tudela, F. 1992. *La modernización forzada del Trópico: El caso de Tabasco*. Proyecto Integrado del Golfo. El Colegio de México, CINVESTAV, IFIAS, UNRISD, México. 475 pp.
- UN 1997. *Statistical Yearbook*. UN, Nueva York.
- 1996. National Accounts Statistics: Main Aggregate and Detailed Tables, 1993. Nueva York.
- UNEP 1995. Global Programme of action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities. UNEP(OCA)/LBA/IG.2/7 [http:// www.gpa.unep.org/documents/default.htm](http://www.gpa.unep.org/documents/default.htm)
- Unikel Luis 1978. *El desarrollo urbano de México*. El Colegio de México, México.
- U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Commerce, Census Bureau; Statistics Canada; Transport Canada; Instituto Mexicano del Transporte; Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática; y Secretaría de Comunicaciones y Transportes, El Transporte de América del Norte en Cifras, BTS00-05, Washington, DC: 2000.
- Vergara Salas, Ignacio 1981. El problema de la contaminación marina producida por el transporte marítimo en la América Latina. En: O. Sunkel y N. Gligo (comps.). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. Fondo de Cultura Económica, México. Pp 408-429.

LA INVENCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO

Sergio Guevara Sada

...el que domina el mar domina todas las cosas.
Temístocles

El Golfo de México es un sistema complejo, donde los recursos naturales, la diversidad biológica y la diversidad cultural se acoplan al conjunto atmósfera-océano-tierra-sociedad.

Durante mucho tiempo el Golfo de México, en particular la zona costera ha estado abandonada y ha sido soslayada por los planes de desarrollo y el proyecto de país. En los últimos 90 años ha habido un creciente deterioro ambiental del Golfo de México en menoscabo de su gran potencial productivo y cultural. Esta situación es un reto y una oportunidad para México. El reto es revertir el deterioro que afecta la zona costera de los seis estados mexicanos del Golfo y que tiene consecuencias para cada uno de los cuatro países que con México comparten el Golfo: Canadá, Estados Unidos de América, Cuba y Guatemala.

La oportunidad es hacer que la región del Golfo de México se convierta en una parte sustantiva de la base material de subsistencia y desarrollo de México, por medio del uso racional de la costa y del mar, esto significa crear un nuevo modelo de desarrollo del país, que integre los altiplanos y las costas. Un modelo que haga gravitar la producción en las zonas costeras, y que al disminuir la presión que actualmente tienen los ecosistemas de los

altiplanos, permita recuperar las características y las condiciones de los ecosistemas de las tierras altas y de sus servicios ambientales.

Esta situación y posibilidad han sido expuestas desde la primera Conferencia de Gobernadores de los Estados del Golfo de México, llevada a cabo en 1995, y reiteradas en cada una de las siguientes ocho conferencias que se han realizado alternativamente en México y los Estados Unidos de América, hasta este mismo año. Se ha intentado que estas consideraciones formen parte de los Acuerdos de los Estados del Golfo de México emanados de cada una de las conferencias.

Un resultado halagüeño fue la Primera Reunión Técnica Binacional sobre Ecología y Medio Ambiente en el Golfo de México organizada en septiembre de 1995 con el fin de formar un consorcio de instituciones académicas mexicanas y norteamericanas encargado de integrar una visión ambiental del Golfo, y proponer las necesidades para el manejo integral de la zona costera. Esta reunión fue una de las primeras oportunidades de intercambiar información, ideas y posibilidades de colaboración entre instituciones mexicanas y norteamericanas, que tuvo éxito.

En aquellos años, también se involucró la Comisión de Cooperación Ambiental del Tratado de Libre Comercio para América del Norte que abrió temporalmente la posibilidad de contar con un capítulo para el Golfo de México.

Los esfuerzos se complementaron con la colaboración establecida entre los gobernadores de Veracruz y Tabasco con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología –CONACYT, para apoyar la investigación científica y tecnológica que cristalizó con la creación del Sistema Regional de Investigación del Golfo de México. SIGOLFO emitió cinco convocatorias anuales para proyectos enfocados a ecología y medio ambiente, salud, vivienda, alimentos, desarrollo tecnológico y social. Este sistema tan solo entre 1995 y 2000 apoyó 197 proyectos de otros tantos investigadores provenientes de prácticamente todas las instituciones académicas de los dos estados.

Los análisis y los resultados elaborados y obtenidos respectivamente han mostrado que la tarea de revertir el deterioro ambiental del Golfo es tan grande y multidimensional que sólo a través de la coordinación de personas, instituciones y gobiernos se puede lograr. En este contexto el Instituto de Ecología, A.C. creó el Programa de Recursos Costeros (PRC), con el fin de acoger la participación de todos aquellos estudiosos del instituto interesados en el Golfo de México y de vincular a otros grupos e instituciones del país y del extranjero con el mismo fin.

El PRC pronto dio frutos, estableció una colaboración con la Escuela de Medio Ambiente Costero de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) que se formalizó en 1998 con la firma de un convenio entre el Instituto de Ecología, A.C. y esta Universidad. Más tarde con otro convenio se creó el curso internacional de Ecología de Ecosistemas Costeros Tropicales con la Organización de Estudios Tropicales, OTS.

Algunos de estos esfuerzos dieron como resultado documentos y proposiciones importantes entre los que destacan:

- Términos de Referencia para una Política de Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y el Caribe (1999).
- Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe (2001 y 2003).

Las iniciativas, los documentos y los resultados de las investigaciones han sido dados a conocer de la manera más amplia posible en reuniones técnicas y privadas, nacionales e internacionales, a gobernadores mexicanos y norteamericanos, a Secretarios de medio ambiente de México, Canadá y EE.UU. a funcionarios encargados de la investigación científica y tecnológica y a funcionarios de universidades e instituciones académicas nacionales y extranjeras.

Gracias a su apoyo para hacer los acuerdos, para impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico, se ha acopiado un gran acervo de datos, de información y de experiencia acerca del Golfo de México, depositado en instituciones y grupos de investigación tanto nacionales como extranjeros. Se trata de cuestiones acerca de distintos tópicos de carácter biológico, físico, químico, geológico, social, económico, etc., que si bien todavía dejan grandes huecos en el conocimiento del Golfo, nos pone en el mejor de los momentos para intentar una síntesis natural, económica y social que nos acerque al manejo global del Golfo de México.

En este ensayo quiero destacar dos aspectos que me parecen de interés para el ambiente y para el desarrollo del Golfo. El primer aspecto es el Golfo de México como una entidad histórica, social, económica, política y natural. El segundo aspecto se enfoca a considerar al Golfo como una gran frontera nacional e internacional, de carácter política, biológica, económica y social. Basado en estos aspectos propongo que el proyecto de país que hasta ahora gravita en el altiplano mexicano sea enriquecido y fortalecido con la integración de la región costera.

UN SISTEMA COMPLEJO

El Golfo de México es una cuenca de agua protegida, la más grande del Océano Atlántico, con una superficie de 1,602,000 km². Es una unidad oceanográfica costera natural que forma parte de la Cuenca del Gran Caribe. El Golfo ocupa el noveno lugar en área, el quinto lugar de profundidad promedio y el noveno en volumen entre los océanos y mares semi cerrados del mundo. Por todo esto el Golfo está considerado entre los 50 grandes ecosistemas marinos más importantes a escala mundial, y México es el responsable soberano de cerca de 50% de esta superficie (Zárate-Lomelí, *et al.* publicado en este libro).

La cuenca de drenaje del Golfo es muy grande, tiene una superficie mayor de 5,180,000 km² que abarca cinco países: México, Estados Unidos, Guatemala, Cuba y Canadá. Las mayores extensiones de esta cuenca corresponden a México y a los EE.UU. México tiene cerca de 800,000 km² de superficie de drenaje continental hacia la costa del Golfo lo cual significa el 62% de la descarga fluvial nacional y Estados Unidos de América tiene una descarga fluvial al Golfo de 40% del total de aquel país (Zárate-Lomelí *et al.* en este libro) (véase figura 1).

Esas descargas fluviales se hacen a través de grandes cuencas hidrológicas como las de los ríos Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos y Pánuco en México y el complejo Misisipi-Ohio-Misuri en los Estados Unidos de América.

Las descargas de las cuencas hidrológicas se acumulan en el Golfo que almacena alrededor de 2.3 millones de km³ de agua que debido a las corrientes oceánicas, los anillos ciclónicos y anticiclónicos, las tormentas tropicales y extra tropicales, los huracanes, los nortes, las surgencias y cascadas, se convierte en un inmenso almacén de energía del sistema océano-atmósfera, que atenúa el clima frío del norte y favorece el desarrollo de los ecosistemas tropicales y subtropicales Toledo (1998).

Eso explica que dos áreas matrices de ciclones en el mundo se encuentren precisamente en el mar Caribe y en el Pacífico mexicano (SEGOB, 1994) los ciclones provenientes de ambas áreas pueden penetrar al Golfo de México, lo cual lo hace una región crítica de incidencia de huracanes.

El Golfo de México se caracteriza por tener una zona costera muy amplia, formada por la planicie costera muy ancha y la plataforma costera también muy extendida. La zona costera mexicana se despliega a lo largo de 2,252 km de litoral del Golfo, tiene una planicie costera con una superficie

LA CUENCA DE DRENAJE DEL GOLFO DE MÉXICO



Fuente: tomado de Moreno-Casasola 1999.

de 783,915 km² y una plataforma continental de 480,600 km². En esa zona costera de aproximadamente 1,264,515 km² se llevan a cabo intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, a través de un activo intercambio de energía y materiales entre ecosistemas terrestres, marinos, aguas epicontinentales y la atmósfera.

La zona costera se puede dividir en atención a la planicie costera en dos porciones, separadas por el eje volcánico transversal en la sierra de Naolinco. Al norte de la sierra se le denomina planicie costera nororiental y al sur está la planicie costera suroriental, integrada a su vez por la planicie costera istmeño-tabasqueña, la planicie costera de la península de Yucatán y la planicie costera de sotavento (Rzedowski 1981).

Cada una de las dos porciones de la planicie costera pertenece a una provincia que a su vez corresponde a una región biogeográfica. La planicie coste-

ra nororiental forma parte de la región xerofítica mexicana y la planicie costera suroriental a la región caribea (Rzedowski 1981). Esto significa que en su conjunto la planicie costera comparte dos regiones de gran diversidad una xerofítica subtropical y otra caribea tropical. Esto explica la gran diversidad de ecosistemas, de comunidades y de especies de plantas y animales de estas dos regiones, que a su vez enriquecen los ecosistemas que forman la interfase acuático-terrestre y agua salada-agua dulce a lo largo del litoral del Golfo.

La gran diversidad biológica de la zona costera está en más de 37 estuarios y lagunas costeras que cubren una superficie de 6,786 km² correspondiente al 43% de la superficie lagunar estuarina nacional. En los humedales, que abarcan 4,232 km² de manglar equivalente al 59% del total nacional, en 12,292 km² de popal y tular que es aproximadamente 75% del total nacional y en el palmar de sólo 106 km². En la zona costera se concentra el 70% de los ríos estuarios lagunas costeras y pantanos del país (Zárate-Lomelí *et al.* publicado en este libro).

Hemos mencionado antes que la planicie costera tiene una superficie aproximada de 783,915 km²; ésta es tan extensa porque se trata de toda la cuenca de drenaje o la cuenca hidrológica total que abarca el 62% del escurrimiento total nacional. Esta planicie está integrada por aproximadamente 24,000 Km² de ecosistemas acuáticos, semi acuáticos y desembocaduras de ríos, lo cual deja más de 750,000 km² a los ecosistemas terrestres entre los que destacan las dunas, las selvas, los encinares y los pastizales o sabanas, donde la riqueza de especies de plantas y de animales es enorme.

La plataforma continental y los 11,018 km² de ecosistemas dulceacuícolas y salobres tienen en conjunto un área de 491,618 km² esta área es clave para la alimentación, cría y reproducción de gran cantidad de especies: cinco especies de tortugas marinas anidan en más de 20 playas; más de 627 especies de aves residentes y migratorias dependen de los humedales para protección, alimentación y reproducción, al menos 249 especies de mamíferos terrestres y 24 especies de mamíferos marinos y 329 especies de peces dependen de esta área crítica (Zárate-Lomelí *et al.* publicado en este libro).

En la plataforma continental se localizan importantes formaciones arrecifales; más de 25 arrecifes de banco que se distribuyen desde la plataforma de Yucatán hasta la región de la laguna de Tamiahua y en el atolón de Alacranes ubicado en la parte norte de la plataforma de Yucatán, considerado como uno de los atolones más grandes de todo el Caribe. En estas formaciones se encuentran más de 39 especies de hidrocorales pétreos y escleractíneos, al menos 29 especies de gorgonáceos, más de 46 especies de macroalgas y 56 especies de peces de arrecife (Zárate-Lomelí, *op cit.*

Nacional Autónoma de México. En todo el Golfo hay sólo un acuario en el Puerto de Veracruz.

El total de la superficie protegida es de 1,980 km², que se desglosa en 42.8% de rías y lagunas, 0.2% de playas, 19.5% de arrecifes, 29.6% de pantanos, petenes y ciénegas y 7.8% de comunidades terrestres. Estas cifras muestran que la diversidad de ecosistemas y comunidades del Golfo no está representada significativamente en este conjunto de áreas naturales protegidas. Los menos representados son los ecosistemas terrestres de la planicie costera, en especial las selvas húmedas y secas, los encinares de baja altitud y los pastizales naturales (figura 2).

A pesar de que el Golfo de México tiene mayor biodiversidad que otras zonas costeras del Pacífico mexicano y del Golfo de California, dispone de menor número y extensión de Áreas Naturales Protegidas como se muestra en la figura 3, tomada de Moreno-Casasola (2004).

A pesar de lo anterior, existe la información acerca de lo que se debe conservar en el Golfo de México en los catálogos de regiones prioritarias para la conservación, elaborados por la Comisión Nacional para el Cono-

FIGURA 3. RESERVAS COSTERAS

cimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). La Comisión identificó en el capítulo de Regiones Prioritarias Marinas (1998) 16 regiones costeras y tres marinas, en el capítulo de Regiones Terrestres Prioritarias (2000), se determinaron 12 áreas y en el capítulo de Cuencas Hidrográficas Prioritarias se señalaron ocho cuencas (figura 4).

Varias de estas áreas prioritarias coinciden entre sí, como ocurre con algunas áreas marinas y terrestres que corresponden con nueve áreas de la zona costera, lo cual hace a estas áreas de alta prioridad para la conservación.

FIGURA 4. REGIONES PRIORITARIAS MARINAS, TERRESTRES E HIDROLÓGICAS



Fuente: adaptado de Arriaga *et al.* 1998, 1999, 2000.

Las cuencas hidrográficas identificadas como prioritarias también coinciden con los ocho sistemas costeros principales. Resulta interesante ver la coincidencia de la prioridades marinas, terrestres y cuencas, claro reflejo de la interacción de los ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas en el Golfo de México (figura 4).

A pesar de las pocas áreas naturales protegidas que existen, de la urgencia que el deterioro ambiental exige, de las buenas posibilidades para la conservación y de las facilidades para decretar áreas debido a la baja densidad de población y las pocas áreas urbanas existentes, no hay un plan de creación de Áreas Naturales Protegidas en ninguno de los seis estados, aun cuando a nadie escapa la importancia de decretar sitios como el sistema lagunar de Alvarado y Humedales del Papaloapan, la Laguna de Tamiahua-Pueblo Viejo y la Laguna Madre.

La diversidad biológica mejor conocida del Golfo es la de los humedales, lagunas costeras y esteros. No deja de llamar la atención la poca información que tenemos acerca de la diversidad más allá de la plataforma continental y de los ecosistemas terrestres de la propia planicie costera.

Los sistemas terrestres son el vestíbulo del área de drenaje del Golfo; se trata del bosque tropical húmedo, del matorral xerófilo, del bosque tropical caducifolio, del bosque mesófilo de montaña, del bosque de coníferas y del bosque de encinos.

Estas formaciones y comunidades terrestres de la planicie costera dan forma al paisaje costero. Las condiciones físicas que imperan en esta zona son muy peculiares a causa de los vientos, las mareas, el paso de huracanes, de tormentas tropicales, de las inundaciones que impactan las condiciones del suelo arenoso y rocoso. La perturbación es la constante de la zona costera, y la flora y fauna se combinan y recombinan para colonizar y recolonizar los espacios perturbados. Son sistemas naturales muy peculiares por su vulnerabilidad y cambio constante. Estos paisajes de la planicie costera son el resultado del desplazamiento de las especies de altitudes medias hacia la planicie y a lo largo de la costa (Guevara 2004).

Si se toma en cuenta lo anterior, se puede entender el sistema de flujos de agua, de materia, de energía, también el flujo de especies de plantas y de animales que ascienden y descienden de los altiplanos a la costa y el flujo que existe a lo largo de la planicie costera. Así, se puede dar forma a la compleja estructura y dinámica de las comunidades y los paisajes costeros.

Este conocimiento acerca de la interacción e integración de los ecosistemas permite describir la situación actual y las perspectivas de conservación, res-

tauración y uso, así como la apropiación de los recursos naturales a lo largo de la historia de ocupación de estas regiones.

EL MUNDO FRAGMENTADO

El Golfo de México es un mundo fragmentado (Carré y Séguin 1998). La historia antigua del mundo, hasta antes del descubrimiento de América transcurrió en el Mar Mediterráneo y su entorno y la historia reciente desde 1500 hasta ahora ha transcurrido en el Mar Caribe y Golfo de México y sus alrededores y ésto ha tenido grandes implicaciones para el Golfo de México.

El imperio español conquistador y colonizador de América continental e insular se desagregó de forma creciente a partir del siglo XVII hasta el siglo XIX, y dio lugar a más o menos 30 entidades políticas en el Caribe y cinco más en el Golfo de México (figura 5). Se formaron mosaicos de estados, de pueblos y culturas, creados por las influencias europea y africana, que diluyeron a las culturas indígenas creando sincretismo y mestizaje y dando lugar a sociedades inestables donde los conflictos de todo tipo han devenido en eventos violentos o guerras civiles, aún hasta la fecha (Carré y Séguin 1998) (véase figura 6).

Las culturas y sociedades prehispánicas mesoamericanas y circuncaribes fueron inicialmente colonizadas por España, y tiempo después fueron colonizadas por Francia, Inglaterra y Holanda quienes se establecieron de manera violenta en las islas antillanas, en los puntos más difíciles de defender para España.

Con el tiempo Francia crea la Compañía de las Islas de América (1635), Holanda la Compañía Holandesa de las Indias Occidentales (1621) e Inglaterra interviene en los litigios internacionales, y así poco a poco controlan las islas de las antillas con enorme beneficio económico. Las plantaciones y explotaciones en las islas son trabajadas por esclavos africanos que llegan en gran número a esta región (Carré y Séguin 1998).

A raíz del éxito de las explotaciones agrícolas y mineras, surgen conflictos europeos. El siglo de las luces envolvió a Francia y España en gran inestabilidad política que da lugar a la aparición de otra potencia nacional en la región del Gran Caribe, se trata de los Estados Unidos de América.

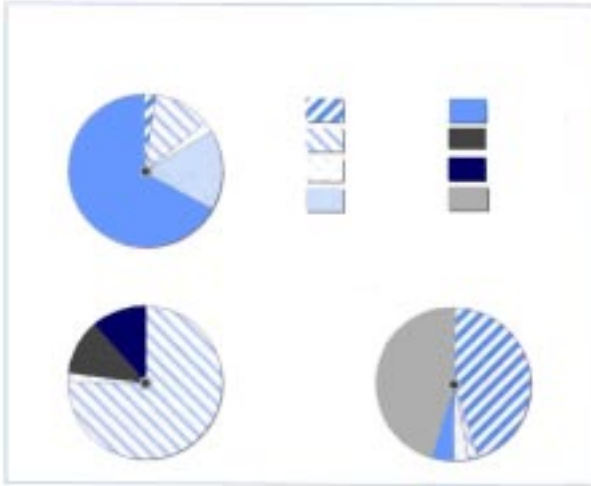
Estados Unidos de América con gran visión política y económica, aprovecha la tensión europea para adquirir Luisiana de Francia en 1803 y Florida de España en 1819. Más tarde durante la confusión y la inestabilidad social y política provocada por las luchas de independencia en América,

FIGURA 5. DIVISIÓN POLÍTICA DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

FIGURA 6. EJEMPLOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR GRUPOS ÉTNICOS



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

logra que México le ceda en 1836 el territorio de Texas, con lo cual ocupa un lugar destacado en el Golfo y en el Caribe.

La fragmentación del mundo del Caribe y del Golfo limitó el predominio de cada uno de los países europeos, pero favoreció la penetración de los intereses norteamericanos. Hoy parece ser que se desarrolla un proceso de integración regional bajo la égida de los Estados Unidos, vieja aspiración y motor de las acciones emprendidas por las potencias europeas, integración norteamericana impulsada por la Doctrina Monroe en 1823 y afirmada por la Alianza para el Progreso en 1960.

Más recientemente los procesos de integración y de fragmentación regional continúan a través de los programas de aprovechamiento de los recursos naturales, de conservación de la biodiversidad, y de bienestar económico y social como parte de los tratados de libre comercio en la región o fuera de la región. Estos tratados son la nueva visión y apetitos de los países o consorcios europeos, asiáticos y americanos, es el nuevo esquema de independencia y dependencia para el Golfo de México y el Caribe (figura 7).

La diversidad y la ocupación del espacio de las culturas mesoamericanas y circuncaribes, ya de por sí compleja se embrolló más por efecto de la colonización de distintos países europeos. Más tarde los movimientos sociales y las guerras de invasión y de independencia dieron como resultado una diversidad inimaginable de usos del suelo, de formas de producción y modelos de desarrollo. Que se desglosan en distintos tipos de agricultura, de ganadería, de minería y de explotación forestal, así como de distintos patrones de poblamiento, urbanización y comunicaciones.

La situación económica, social y política de la región desde el siglo XVI hasta hoy es incierta e inestable, y ésto se percibe claramente en el flujo actual de la emigración obligada por la situación crítica de la económica o la política, hacia distintos países europeos y los Estados Unidos (figura 8).

LA SUMA DE TODAS LAS FRONTERAS

El Golfo de México es la suma de todas las fronteras. La frontera multi dimensional; entre los altiplanos y el mar, entre lo terrestre y lo acuático, entre lo marino y lo dulceacuícola, entre la plataforma continental y las aguas azules, entre lo tropical y lo subtropical, entre culturas y sociedades entre estructuras económicas y modelos de desarrollo y entre estados y países es la frontera entre América del Norte y Centroamérica, entre el Caribe y Sudamérica y aún podría considerarse entre Asia y Europa.

Estas interfases o fronteras entre condiciones o componentes del sistema complejo del Golfo lo hacen estructuralmente muy rico y funcionalmente problemático. La situación de la región cambia con facilidad a causa de factores naturales, sociales, económicos o políticos. Las fronteras cambian de sitio en el tiempo y en el espacio y se modifica la dirección e intensidad de los flujos a través de cada una de las fronteras. Un modelo del Golfo de México basado en este concepto de frontera multidimensional resulta en un diagnóstico y replanteamiento de la relación hombre-hombre y hombre naturaleza.

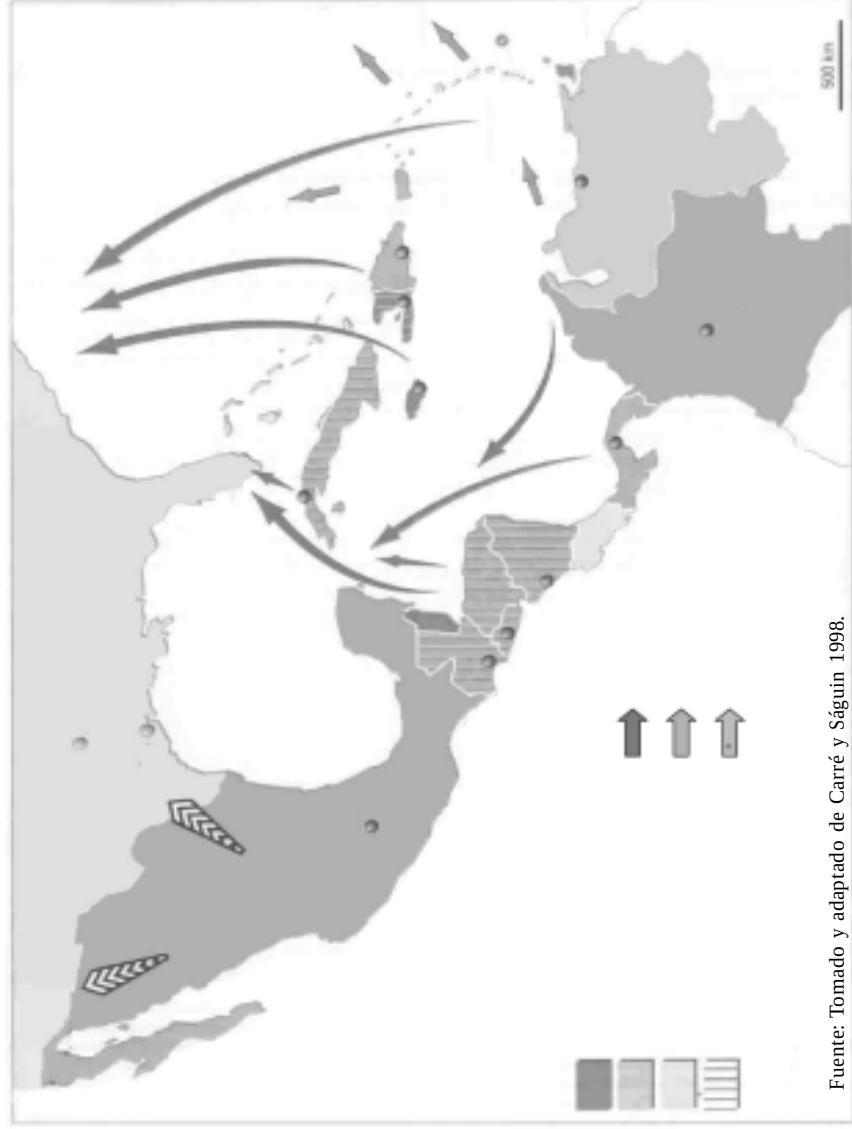
Las fronteras se pueden definir en el espacio y/o en el tiempo, dependen de procesos políticos, económicos, sociales o naturales, son semi permeables y están subordinadas entre sí. Cada frontera tiene un trazo determinado, durante un cierto tiempo y su permeabilidad varía modificando la intensidad y dirección del flujo de corrientes marinas, de vientos, de migración de plantas y de animales, de movimiento de mercancías, de energéticos, de población, de escurrimientos dulceacuícolas, recursos naturales y movimientos culturales entre otros. En función de la compresión y la

FIGURA 7. TRATADOS REGIONALES DE LIBRE COMERCIO



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

FIGURA 8. MIGRACIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y LAS ANTILLAS



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

descompresión ejercida por las condiciones políticas, económicas, sociales o naturales de la región y aun desde fuera de la región del Golfo de México.

Es el escenario ambiental, social, económico y cultural americano ideal para la cooperación internacional para integrar el mundo fragmentado del Golfo de México. Es un desafío a la creación, a la conservación y a la restauración de la diversidad biológica, de la diversidad cultural, al bienestar social y a la calidad de vida como nunca antes ha ocurrido en el Golfo de México.

DE VUELTA AL MAR

Desde el neolítico el crecimiento demográfico ha ocurrido en los litorales; 25% de la población del planeta vive en una banda costera de 25 km de ancho y 60% vive en una banda de 200 km de ancho. Casi 80% de las ciudades más grandes del mundo están en los litorales.

En el año 2000 la población mexicana era de 100 millones, distribuida en ciudades el 60%, 13% en zonas semiurbanas y 27% en zonas rurales (INEGI). El 54% vive en estados que no son costeros y 46% vive en la costa; dos tercios en el Pacífico y un tercio en el Golfo y el Caribe. Los estados donde hay mayor población en municipios costeros son: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Sonora, Nayarit, Campeche y Quintana Roo. En contraste en Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Chiapas y Yucatán predomina la población asentada tierra adentro. Actualmente de las 126 ciudades más grandes del país, 48 son costeras (Garza y Rivera 1995).

México es un país de altiplano, la mayor parte de la población vive en las tierras altas y las montañas, en alturas que van de 1,000 a 2,000 metros de altura sobre el nivel del mar, aun cuando el altiplano ocupa aproximadamente solo la cuarta parte del territorio. A pesar de que en la geografía mexicana son muy pocos los sitios cuya distancia al mar es mayor de 500 km. (Rzedowski 1981); esto quiere decir que el territorio recibe una fuerte influencia del mar que lo rodea. A pesar de ello México es el único país marítimo en el que no cuentan sus puertos entre sus ciudades más grandes (Carré y Séguin 1998).

La paradoja es la gran extensión de litoral y la casi inexistente influencia en la economía y cultura, el desapego de los mexicanos para con sus mares y costas. En el interior del país no hay conciencia acerca de la costa y su significado (León en prensa). Esta situación tiene mucho que ver con la ocupación del territorio mexicano.

La Ciudad de México, capital del país fue también la capital del Virreinato de la Nueva España, y fue inicialmente la ciudad capital del imperio Azteca;

esta sobreposición de ciudades, dice mucho acerca del origen del centralismo que ha privado en México desde entonces y hasta ahora.

En torno a esta ciudad y a esta región del altiplano se ha ordenado y organizado el espacio mexicano; la distribución y el crecimiento de la población, el desarrollo económico y social y la cultura en general. El territorio se divide en grandes regiones o zonas definidas por sus relaciones comerciales, económicas y políticas. Regiones que comparten comunicaciones, fuentes de producción, mercados y modelos culturales y que se encuentran todas articuladas alrededor de la región centro (figura 9).

En esta figura se ubican algunas de las regiones más importantes; las regiones costeras que se destacan son la del Golfo de México y el Pacífico centro y sur que son pequeñas en relación con la región centro y la región norte. La comparación está hecha con base en el tamaño de la red urbana que le da coherencia a cada una. Se puede señalar que las regiones costeras tienen un desarrollo basado casi exclusivamente en actividades primarias y el turismo mientras que las regiones centro y norte se basan en un conjunto de grandes ciudades y zonas industriales. El flujo económico entre las regiones es de las costas hacia al centro, y de ahí hacia el norte atravesando una gran región más o menos desarticulada hasta llegar a la región norte que se extiende a lo largo de la frontera con Estados Unidos de América, desde Tijuana hasta Matamoros.

En la figura 10 se muestra el destino del flujo de las regiones mexicanas más allá de la frontera con los EE.UU. El flujo principal proveniente del centro de México se divide en dos en la región norte. El flujo del oeste a través de Sonora y Baja California tiene como destino la costa del estado de California, en especial las áreas de las ciudades de Los Ángeles y San Francisco, y el flujo del este a través de Chihuahua y Nuevo León llega a la costa del estado de Texas, alrededor de las ciudades de Dallas y Houston. Paradójicamente México desde el punto de vista económico y social está más vinculado con la costa estadounidense, que con las costas del Pacífico, Golfo o Caribe mexicanos.

La explicación del acendramiento mexicano tierra adentro tiene raíces antiguas. Los pueblos mesoamericanos no eran navegantes; utilizaron los humedales y los ríos como vías de comunicación, y en ocasiones recorrían porciones de costa, pero el mar en general no era utilizado como vía de comunicación. Sus comunicaciones eran estrictamente terrestres, sus rutas y caminos estaban bien trazados, mantenidos y disponían de infraestructura de apoyo a lo largo y ancho de los altiplanos y de los pasos entre las montañas.

FIGURA 9. LA ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO MEXICANO



Fuente: Tomado y adaptado de Carré y Ságuin 1998.

Estas comunicaciones terrestres fueron aprovechadas por la administración colonial, para fraccionar y dividir el territorio y a sus pobladores en un diseño adecuado para sus fines económicos y políticos. Esta situación favorecía también al sistema productivo español basado en la agricultura, ganadería y minería, de suelos en zonas semiáridas. Además las mayores vetas de los minerales valiosos estaban en las montañas alrededor de los altiplanos.

Esto explica porqué la mayor cantidad de la población se encontraba y se encuentra por arriba de 500 m de altitud, cuando la mayor disponibilidad de agua está por debajo de esta cota (León, en prensa).

Otra razón de peso para haber privilegiado la tierra adentro sobre las costas fue que en el litoral del país había pocos o tal vez ningún puerto de abrigo natural, en realidad sólo había contados sitios para puertos más o menos adecuados.

Es de considerar también que España perdió la América insular y buena parte de los litorales a manos de Francia, Portugal, Inglaterra y Holanda, debido a la carencia de un sistema de comunicaciones y aprovisionamiento eficiente entre islas y costas. A diferencia, del sistema inglés, que fincó su control y administración en la movilidad de su flota comercial y de su armada bien organizada y poderosa, que le permitió establecerse en islas y litorales. Es curioso, como los ingleses llegaron a crear islas artificiales móviles formadas por flotas de barcos que actuaban como centros administrativos y de toma de decisiones, amén de su capacidad militar, dándoles facultad para controlar grandes extensiones de mar y costas.

La última y no menos importante razón es que el altiplano tiene un menor riesgo de desastres naturales que la costa, sometida al arbitrio de los vientos, de las fluctuaciones estacionales y anuales del nivel del mar, de los cursos y caudales de los ríos, de las lluvias y de un suelo medroso e inestable plagado de malsanos humedales y pantanos, con referencia a esto, alguna vez Alexander von Humboldt dijo "...México está protegido por su propia costa" (Siemens, comunicación personal).

Ahora después de más de cinco siglos de civilización en el altiplano, este empieza a dar muestras de agotamiento, por la pérdida de fertilidad de los suelos, por la disminución de la cantidad y calidad de agua disponible, por la saturación de los asentamientos urbanos, por la calidad del aire y por la disminución de los recursos naturales disponibles.

A pesar de que la colonización española se extendió por extensos territorios de América, esta situación de recogimiento en el altiplano sólo ocurrió en el caso de México y de Guatemala Carré y Séguin (1998). Esta situación pecu-

liar puede ser la garantía de nuestro futuro, y transformarnos de un país que solo mira hacia el interior, en un país que también mira hacia el mar. Las costas y litorales son una reserva de alimentos, energéticos, comercio, turismo, por lo que ocupar las costas especialmente las del Golfo, no sólo brindará una gran riqueza sino que convertirá a México en un país más abierto al mundo.

La costa es un puente de comunicación entre estados y países, y es una magnífica oportunidad de alcanzar un desarrollo sustentable. El reto para lograrlo es crear una nueva cultura y una distinta relación entre la sociedad y la naturaleza. Tenemos que preparar el camino para en un futuro cercano iniciar el acercamiento al mar, nuestra siguiente frontera.

El futuro de la base material de subsistencia y desarrollo de México está en el uso racional de las costas; se trata de elaborar un nuevo modelo de desarrollo del país, que integre los altiplanos y las costas. Un modelo que incremente la producción de las zonas costeras, con el fin de disminuir la presión que pesa sobre los ecosistemas de los altiplanos. De esta forma podríamos recuperar las características y las condiciones de ecosistemas de las tierras altas y de sus servicios ambientales.

El modelo de largo plazo de “sube y baja”, significa que el estado de los ecosistemas del altiplano serían controlados por su repercusión en la costa y la productividad de la costa aliviaría la situación ambiental de los altiplanos. Es un modelo de país racional, global e integral, y es probablemente la última llamada a la nueva relación de la sociedad mexicana con el medio natural.

LOS RECURSOS DEL GOLFO

El Golfo de México contiene a escala regional el conjunto de recursos naturales más rico del país. Los recursos pesqueros, energéticos, acuíferos, agrícolas, ganaderos y forestales, y aún se pueden incluir como recursos de otro tipo las comunicaciones nacionales e internacionales y la disponibilidad de espacio. La base de esta riqueza de recursos es la diversidad biológica del Golfo, que es probablemente la mayor que se pueda encontrar a escala regional en el continente americano.

Las pesquerías son consideradas como el segundo recurso costero de importancia para la región con más de 350,261 ton/año de recursos costeros demersales con un valor aproximado de 240 millones de dólares, que da empleo a más de 90,000 personas.

De camarón se extrae más de 30,000 ton/año, de ostión 49,000 ton/año, la almeja produce 2,000 ton/año, además se pesca langosta, pulpo, jaiba,

mero, pargo, huachinango, corvina, robalo, mojarra y tiburón.

La agricultura ocupó en 1990 una superficie de 2,172,467 ha y produjo 4,227,923 ton, de maíz, frijol, arroz, soya, cártamo y sorgo.

Más del 80% del petróleo crudo y 90% de la producción nacional de gas se origina en el Golfo. Los recursos energéticos son enormes, los yacimientos de la cuenca de Villahermosa y la sonda de Campeche son considerados entre los mayores yacimientos en producción del hemisferio occidental. Existe una gran compleja infraestructura petrolera para extracción, procesamiento, almacenamiento y transporte, refinerías, petroquímicas, plataformas y ductos.

Esta disponibilidad de recursos naturales de alto rendimiento para consumo interno y exportación son un apoyo sustantivo del argumento acerca del potencial del Golfo de México para el desarrollo futuro del país.

DESARROLLO Y ABANDONO

Los recursos naturales que se extraen del Golfo son de enorme cuantía y el potencial de uso es aún más grande; con base en buena parte de ello es que México es actualmente un fuerte exportador, y ocupa el primer lugar en la exportación de toda Latinoamérica, facturando alrededor de 60% del total de todos los países. Cuenta con nueve de las diez compañías exportadoras de autos, petróleo, cemento y eléctricos más fuertes de la región.

Sin embargo, la marina mercante mexicana es casi inexistente, México no cuenta con transporte marítimo para trasladar sus exportaciones, elemento básico para el desarrollo del comercio exterior.

El desarrollo portuario mexicano es producto de políticas del siglo pasado. Desde 1935 el presidente Cárdenas reconoció la inexistencia de la marina mercante mexicana y la importancia de crearla y desarrollarla. Responsabilidad que recayó años después en PEMEX.

Ruiz Cortines en 1959 creó el Programa de Progreso Marítimo conocido como la Marcha al Mar, que consistía en mover cantidades importantes de población del altiplano a las costas, y así aprovechar las riquezas del mar, para ello preveía integrar una red marítimo portuaria, acondicionar y construir astilleros mejorar las comunicaciones y transportes entre puertos establecer las bases para el desarrollo de la marina mercante.

En 1976 se le asignó tal tarea a la Secretaría de Marina y en 1977 se reasignó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Durante la administración del presidente Echeverría y del presidente López Portillo la flota petro-

lera mexicana era la más grande de América Latina. Esta flota fue perdiendo importancia hasta ahora, en que el 98% de los cargamentos de importación y exportación son transportados por buques de banderas extranjeras manejadas por 114 compañías navieras. El 45% de los permisos solicitados pertenecen a buques con banderas de Estados Unidos de América, el 12% a Vanuatu, el 12% a Panamá, el 10% a Liberia, San Vicente-Las Granadinas y Bahamas y el 21% restante a países europeos y asiáticos.

El cabotaje mexicano no está protegido como el de los EE.UU. por el Jones Act que no permite que el cabotaje lo hagan embarcaciones extranjeras. Adicionalmente en el renglón de pago de fletes, PEMEX establece precios más bajos a las compañías extranjeras que a las mexicanas para la venta de los combustibles, que entre descuento e IVA resultan entre 18 y 20% más caros.

El turismo se ha desarrollado de manera desmedida en el Golfo. Lamentablemente el modelo turístico predominante es ajeno al medio natural y social y ocupa el espacio de manera arbitraria y desordenada, desarticulando los procesos naturales, sociales, económicos y comprometiendo su propio futuro.

La extracción de recursos naturales renovables y no renovables del Golfo de México, no está basado en un plan de desarrollo de exportaciones que incluya la creación de infraestructura, como instalaciones portuarias y de transporte, y el crecimiento desordenado del turismo apunta a un gran deterioro producido por las actividades productivas y extractivas. Destaca el efecto que tiene la industria del petróleo y la deforestación ocasionada por el avance de la frontera agropecuaria; actualmente el 40% de la superficie total de los seis estados ha perdido su vegetación original.

El desarrollo agrícola y urbano de las tierras altas produce contaminación de ríos, estuarios, lagunas costeras, humedales y en general afecta a la producción pesquera en general.

De continuar el desarrollo urbano, industrial, agropecuario y turístico como hasta ahora, siguiendo iniciativas locales de ordenamiento y de planificación furtivas, no explícitas, y sin un plan de desarrollo regional del Golfo de México, el deterioro ambiental y la pérdida de recursos naturales será irreversible, la inversión en infraestructura inalcanzable, la densidad de población incontrolable, el deterioro social peligroso, y será una región de conflicto y no una región de oportunidad para el futuro de México.

EL DESENLACE

El Golfo de México es la fuente actual y potencial de recursos naturales más

importante de México, sin embargo es una de las regiones más deterioradas y afectadas ambientalmente. Es la gran oportunidad para el desarrollo armónico del país.

Hay muy poco trabajo interinstitucional y multidisciplinario para definir geográfica, social, y económicamente al Golfo de México, lo que ha acarreado que los planes de desarrollo elaborados en distintas escalas estén incompletos e inconexos y por tanto no son funcionales.

Aunque se ha tenido éxito en la creación de organizaciones nacionales e internacionales de carácter político, social y académico, aún no son capaces de diagnosticar, identificar y proponer los elementos de un plan para el desarrollo del Golfo de México

La indefinición del Golfo de México y la falta de acuerdos y coordinación limitan la elaboración de la regionalización del Golfo de México, que es la base del desarrollo regional americano.

No se deben soslayar los esfuerzos y las proposiciones hechas para avanzar en esa dirección, se podrían mencionar algunos como:

- El Programa para el Golfo de México, formulado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos en 1988.
- El Consejo de Negocios para el Desarrollo Sostenible del Golfo (Business Council for Sustainable Development of the Gulf)
- La Cámara México Estadounidense para el Golfo
- El Tratado de los Mares
- Tratado de Libre Comercio de América del Norte
- El Acuerdo para el Desarrollo Económico para la Cuenca del Gran Caribe.

México debe proponerse como objetivo estratégico de desarrollo y crecimiento incorporar la región del Golfo de México al resto del país con el fin de visualizar un nuevo proyecto, basado en una relación cualitativa y cuantitativa distinta entre la sociedad mexicana y el medio natural, que sea más productiva, más justa y que se proyecte al futuro. Adicionalmente, permitirá a México establecer una relación más armónica con los países del Golfo y el Caribe y del mundo en general.

AGRADECIMIENTOS

Graciela Sánchez-Ríos hizo el trabajo técnico, acopió información y corrigió el texto, Kerenha Hernández consiguió datos y elaboró figuras y gráficos,

Patricia Moreno-Casasola compartió generosamente su información, Alfred Siemens hizo comentarios muy valiosos al contenido de este ensayo y un revisor anónimo contribuyó sensiblemente a dar coherencia y calidad al texto.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, Cabrera L., E. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López y V. Aguilar Sierra (coord.) 1998. *Regiones Prioritarias Marinas de México*. CONABIO, México.
- Arriaga, Cabrera, L., J. M. Espinóza-Rodríguez, C. Aguilar-Zúñiga, E. Martínez-Romero, L. Gómez-Mendoza y E. Loa loza. (coords.) 2000. *Regiones Terrestres prioritarias de México*. CONABIO, México.
- Carré, F. y A. De Séguin 1998. *Mexique, Golfe, Caraïbes: une méditerranée américaine?* Presses Universitaires de France.
- Garza, G. Y S. Rivera 1995. *Dinámica macroeconómica de las ciudades de México*. INEGI-COLMEX, México.
- Gore, R.H. 1992. *The Gulf of Mexico. A Treasury of Resources in the American Mediterranean*. Pineapple Press, Inc. Sarasota, Florida.
- Guevara, S. 2004. El Paisaje del Viento. En Moreno-Casasola (ed). *Entorno Natural y Cultural de la Costa Veracruzana: La Mancha*. Fish and Wildlife Service e Instituto de Ecología, A.C. México.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.). 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. Assessment, sustainability and management*. Blackwell, Science.
- León, C. 2004. Piezas de un rompecabezas: dimensión socio-económica de las costas de México. En: Rivera, A.E., G. Villalobos, Z., I. Azuz A. y F. Rosado (eds.). *Manejo costero en México*.
- Moreno-Casasola, P. (ed.) 2004. *Entorno natural y cultural de la costa veracruzana: La Mancha*. Fish and Wildlife Service e Instituto de Ecología, A.C. México.
- Rzedowsky, J. 1981. *La vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
- SEGOB 1994. *Atlas Nacional de Riesgos*. Dirección General de Protección Civil, México.
- 1994. *Prontuario de Consecuencias en el siglo XX Mexicano*. Subsecretaría de Protección Civil, SEGOB, México.
- Toledo A. 1998. Al rescate del Golfo de México. Un patrimonio natural irremplazable. *La Jornada Ecológica*. Suplemento La Jornada. Marzo de 1998, México.
- Zárate-Lomelí, D., A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz-Pérez, A. Lara-Domínguez, C. Ojeda de la Fuente y S. Guevara 2004. Lineamientos para el Programa Regional de Manejo Integrado de la Zona costera del Golfo de México y Caribe. En: *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México*. SEMARNAT, INE, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, México.

SOBRE LOS AUTORES

AGUILAR-BETANCOURT, CONSUELO. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana, Cuba.

AGUIRRE GÓMEZ, RAÚL. Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Circuito Exterior. C. P. 04510, México D. F.

ÁLVAREZ-TORRES, PORFIRIO. Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Ambiente, A.C. (CeIBA).

ARENAS FUENTES, VIRGILIO. Centro de Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Dr. Luis Castelazo s/n. Km 3.5 de la carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Ánimas, Xalapa, Veracruz, México. Apdo. Postal 663. 91000. correo-e: ljimenez@uv.mx

ARREOLA ALEMÓN, ROBERTO. WWF – México. Calle Santa Tecla #40, Col. Monserrat, Delegación Coyoacán, CP 04330, México, D.F.

BAQUEIRO CÁRDENAS, ERICK RAÚL.

BARRAS, JOHN. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

BERNARDEZ, AMAYA. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP-SEMARNAT). Camino Al Ajusco 200. Col. Jardines en la Montaña, México, D.F.

BOTELLO-VÁZQUEZ ALFONSO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad

Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Contaminación Marina. Correo electrónico: Vazquez-Botello@mar.icmyl.unam.mx.

BRITO, ROBERTO. Facultad de Ciencias Pesqueras, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

BRULÉ, THIERRY. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México

CAMPOS, JESÚS.

CARRANZA-EDWARDS, ARTURO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

CASO CHÁVEZ, MARGARITA. Instituto Nacional de Ecología, Periférico Sur 5000, 5° Piso, Col. Insurgentes Cuicuilco, México D.F., 04530, México

CASTAÑEDA L., OFELIA. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Área de Ecosistemas Costeros. Av. Michoacán y La Purísima s/n. Col. Vicentina. C. P. 09340.

CLAIRAIN, ELLIS. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180

CLAIRAIN, ELLIS. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180

COLÁS-MARRUFO, TERESA. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México

CONTRERAS E., FRANCISCO. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Área de Ecosistemas Costeros. Av. Michoacán y La Purísima s/n. Col. Vicentina. C. P. 09340. A. P. 55-535. Tels. 58044745, 46 y 38 (fax). Correo electrónico: fce@xanum.uam.mx

COOPER, EDWIN L. Laboratory of Comparative Immunology, Department of Neurobiology, David Geffen School Of Medicine at UCLA, University of California, Los Angeles, Los Angeles California 90095-1763

DAY, JOHN W. Dept. of Oceanography and Coastal Sciences and Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

DE LA MAZA ELVIRA, ROBERTO. CONANP

DE LANZA ESPINO, GUADALUPE. Instituto de Biología, Departamento de Zoología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, México 04510. Correo-e:gdlle@servidor.unam.mx.

DELGADO-ESTRELLA, ALBERTO. Grupo Vía Delphi, S.A. de C.V., Av. Tulum 269, Int. 19. SM. 15-A, C.P. 77500 Cancún, Quintana Roo. México.

DÉNIEL, CHRISTIAN. Institut Universitaire Européen de la Mer, UBO, Place Nicolas Copernic-Technopôle Brest-Iroise, 29280 Plouzané, Francia.

DÍAZ-DE-LEÓN, ANTONIO. Instituto Nacional de Ecología/El Colegio de México, INE/ COLMEX

ESCOBAR BRIONES, ELVA. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Sistemas Oceanográficos y Costeros. A.P. 70-305 Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F. Correo-e: escobri@mar.icmyl.unam.mx

FELDER, JR., DARRYL L.. Biology Department. University of Louisiana-Lafayette. Lafayette, Louisiana 70504.

FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, JOSÉ IGNACIO. Instituto Nacional de la Pesca (INP-SAGARPA)

GALLARDO DEL ÁNGEL, JULIO C.. Circuito Teodoro A. Dehesa # 348, Frac. Lucas Martín, C.P. 91100, Xalapa, Veracruz.

GELABERT, ROLANDO. Facultad de Ciencias Pesqueras, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

GÍO-ARGÁEZ, RAÚL. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-305, Coyoacán D. F. 04510. Correo-e: raulg@mar.icmyl.unam.mx

GOLD BOUCHOT, GERARDO. Departamento de Recursos del Mar, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida. ggold@mda.cinvestav.mx

GÓMEZ ROJAS, JUAN CARLOS. Instituto de Biología, Departamento de Zoología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apartado Postal 70-153, México 04510.

GONZÁLEZ-SANSÓN, GASPAR. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de la Habana, Cuba.

GRACIA, ADOLFO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Apartado Postal 70-305. México, D. F. 04510, México Correo-e: gracia@mar.icmyl.unam.mx

GUEVARA SADA, SERGIO. Instituto de Ecología, A.C.

HART, SYLVIA A. Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A&M University-Corpus Christi. 6300 Ocean Drive. Corpus Christi, Texas 78412

Herrera-Silveira, Jorge A. Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A.

Comín y Chris Madden.

Iturriaga, José N. Procuraduría federal de Protección al Ambiente (Profepa).

Jiménez Badillo, Lourdes. Centro de Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Dr. Luis Castelazo s/n. Km 3.5 de la carretera Xalapa-Las Trancas, Col. Industrial Ánimas, Xalapa, Veracruz, México. Apdo. Postal 663. 91000. Telf: (228) 8-13-60-59. Fax: (228) 8-12-57-46. e-mail: ljimenez@uv.mx

Jiménez, Sergio. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Johnston, James. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana 70506.

Johnston, James. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Lafayette, Louisiana 70506

Jordán-Dahlgren, Eric. Laboratorio de Sistemas Arrecifales Coralinos, UAPM, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Ap. Postal 1152, Cancún 77500, Q Roo, México. jordan@mar.icmyl.unam.mx.

Justic, Dubravko. Dept. of Oceanography and Coastal Sciences and Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Kemp, G. Paul. Dept. of Environmental Studies, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Lara Domínguez, Ana Laura. Instituto de Ecología, A.C.

Lara-Domínguez, Ana Laura. Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C. CONACYT

León, Cuauhtémoc. Programa Lead, México, El Colegio de México.

López-Lemus, Luis Gerardo. Consultoría Transdisciplinaria.

Lot, Antonio. Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70233C.P. 04510 México, D.F. Correo-e: loth@servidor.unam.mx

Machain-Castillo, Ma. Luisa. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-305, Coyoacán D. F. 04510 machain@mar.icmyl.unam.mx

Manuel Ramírez-Flores, Oscar. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Am-

biente (PNUMA).

Márquez-M., René.

Mendoza-Alfaro, Roberto. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

Miranda, Gustavo. Pemex Exploración y Producción, Región Marina Noreste. Cd. del Carmen, Campeche, México.

Mitsch, William. School of Natural Resources and Olentangy River Wetland Research Park, Ohio State University, Columbus, Ohio 43202.

Monreal-Gómez, María Adela. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Morales Arjona, L. J.. Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de Yucatán

Morales de la Garza, Eduardo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

Moreno, Teresa. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Carmen, Cd. del Carmen, Campeche, México.

Moreno-Casasola, Patricia. Instituto de Ecología A.C., México.

Morton, Robert. U.S. Geological Survey, Center for Coastal and Regional Marine Studies, St. Petersburg, Florida 33701

Ojeda de la Fuente, C. Subsecretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Ortega-Argueta, Alejandro. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, Av. Luis Castelazo s/n, Col. Industrial Las Animas C.P. 91190, Xalapa, Veracruz, México.

Ortega-Ortiz, Joel G. Oregon State University Marine Mammal Program, Hatfield Marine Science Center, 2030 SE Marine Science Drive, Newport, Oregon 97365, U.S.A. email: joel.ortega@oregonstate.edu

Ortiz Pérez, M. Instituto de Geografía, UNAM.

Pascual, Cristina. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México.

Pérez-Díaz, Esperanza. CINVESTAV Unidad Mérida, Antigua Carretera a Progreso Km.6, A.P. 73 Cordemex, C.P. 97310, Mérida, Yucatán, México.

Rabalais, Nancy N. Louisiana Universities Marine Consortium. 8124 Hwy. 56, Chauvin, Louisiana 70344 U.S.A.

Ramírez-Flores, Oscar. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA.

Rodríguez, Hipólito. CIESAS, Golfo, México..

Rosales-Hoz, Leticia Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Química Marina y Contaminación. Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria, C.P. 04510. México, D.F.

Rosales-Hoz, Leticia. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510, México.

Rosas, Carlos. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México. crv@hp.fciencias.unam.mx

Salas-de-León, David Alberto

Salinas, Wilver.

Sánchez, Ariadna. Laboratorio de Ecología y Biología Marina Experimental, Facultad de Ciencias, UNAM. Apdo. Post 69, Cd. del Carmen, Campeche, México. crv@hp.fciencias.unam.mx

Sánchez-Gil, Patricia. Ecosistemas y Planificación Ambiental para el Desarrollo Sustentable Ecoplads S.C. México.

Steyer, Gregory. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

Steyer, Gregory. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center, Baton Rouge, Louisiana 70894.

Temple, Paul. Dept. of Environmental Studies, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803.

Theriot, Russell. Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi 39180.

Toledo, Alejandro. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. México

Tunnell, John W.. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. Texas A&M University-Corpus Christi. 6300 Ocean Drive. Corpus Christi, Texas 78412

Vázquez de la Cerda, Alberto Mariano. Investigador titular C del Instituto de Ingeniería, Universidad Veracruzana. Académico y Asesor en la Secretaría de Marina.

Vázquez García, Aquilino. Instituto Nacional de Ecología-Semarnat. Correo-e: aqvazque@ine.gob.mx

Velarde González, Enriqueta. Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Luis Castelazo Ayala s/n, km 3.5 Carretera Xalapa-Las Trancas-Veracruz, Xalapa, Veracruz, C.P. 91190.

Velasco-Mendoza, Habacuc.

Villanueva-Fragoso, Susana. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Contaminación Marina.

Yáñez-Arancibia, Alejandro. Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C CONACYT

Young Ko, Jae. Coastal Ecology Institute, School of the Coast and Environment, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana 70803

Zárate Lomelí, D. Instituto de Ecología, A.C.

Diagnóstico ambiental del Golfo de México,
compilado por Margarita Caso,
Irene Pisanty y Exequiel Ezcurra
se terminó de imprimir
en los talleres gráficos de la empresa
SyG, Cuapiniol 20,
col. Pedregal de...
durante el mes de agosto de 2004,
de acuerdo con los términos
de referencia de la invitación
restringida INE-3IP/009-04

Se tiraron 1,000 ejemplares.



Diagnóstico ambiental del Golfo de México

Margarita Caso, Irene Pisanty y
Exequiel Ezcurra (compiladores)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Instituto de Ecología, A.C.
Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
del
GOLFO DE MÉXICO

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL
DEL GOLFO DE MÉXICO

*Margarita Caso, Irene Pisanty
y Exequiel Ezcurra
(Compiladores)*

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

HARTE RESEARCH INSTITUTE FOR GULF OF MEXICO STUDIES

Primera edición: noviembre de 2004

D.R. © Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
Periférico sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco,
C.P. 04530. México, D.F.
www.ine.gob.mx.

COORDINACIÓN EDITORIAL, DISEÑO DE INTERIORES
Y TIPOGRAFÍA: Raúl Marcó del Pont Lalli
DISEÑO DE LA PORTADA: Álvaro Figueroa
FOTO DE LA PORTADA: Pablo Cervantes
CORRECCIÓN DE ESTILO: Irene Pisant y, Margarita Caso
con el apoyo de Eduardo Chagoya Medina

ISBN: 968-817-705-9

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

Volumen 1

<i>Presentación</i>	13
<i>Resumen ejecutivo</i>	15
I. FÍSICO QUÍMICA DEL GOLFO DE MÉXICO	
La hidrodinámica del Golfo de México	47
<i>María Adela Monreal-Gómez, David Alberto Salas-de-León, Habacuc Velasco-Mendoza</i>	
Análisis descriptivo de las masas de agua oceánica que arriban al Golfo de México	69
<i>Alberto M. Vázquez de la Cerda</i>	
Características físicas y químicas del Golfo de México	105
<i>Guadalupe de Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas</i>	
II. LA BIOTA DEL GOLFO DE MÉXICO	
Mamíferos marinos del Golfo de México: estado actual del conocimiento y recomendaciones para su conservación	137
<i>Joel G. Ortega-Ortíz, Alberto Delgado-Estrella y Alejandro Ortega-Argueta</i>	

Ostrácodos bentónicos del sur del Golfo de México <i>Ma. Luisa Machain-Castillo y Raúl Gío-Argáez</i>	163
Las tortugas marinas del Golfo de México. Abundancia, distribución y protección <i>René Márquez-M.</i>	175
Estado del conocimiento de las comunidades bénticas en el Golfo de México <i>Elva Escobar Briones</i>	201
Biología, explotación y gestión de los meros (Serranidae, Epinephelinae, Epinephelini) y pargos (Lutjanidae, Lutjaninae, <i>Lutjanus</i>) del Golfo de México <i>Thierry Brulé, Teresa Colás-Marrufo, Esperanza Pérez-Díaz y Christian Dénier</i>	247
Las aves del Golfo de México y las áreas prioritarias para su conservación <i>Julio C. Gallardo del Ángel, Enriqueta Velarde González y Roberto Arreola Alemón</i>	301
Estado actual de los recursos malacológicos del Golfo de México <i>Erick Raúl Baqueiro Cárdenas</i>	323

III. LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO

El Golfo de México: pasado, presente y futuro. Una colaboración entre Estados Unidos de América, México y Cuba <i>John W. Tunnell Jr., Darryl L. Felder y Sylvia A. Earle</i>	361
Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos <i>Francisco Contreras E. y Ofelia Castañeda L.</i>	373
Impacto de la urbanización en zonas costeras. Caso de estudio: zona conurbada Altamira-Madero-Tampico, Tamaulipas, México <i>Sergio Jiménez, Wilver Salinas y Jesús Campos</i>	417

Interacciones ecológicas estuario-mar: marco conceptual para el manejo ambiental costero <i>Alejandro Yáñez-Arancibia, Ana Laura Lara-Domínguez, Patricia Sánchez-Gil y John W. Day</i>	431
Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual <i>Patricia Moreno-Casasola</i>	491
Flora y vegetación de los humedales de agua dulce en la zona costera del Golfo de México <i>Antonio Lot</i>	521
Arrecifes coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico <i>Eric Jordán-Dahlgren</i>	555
La geología ambiental de la zona litoral <i>Arturo Carranza-Edwards, Leticia Rosales-Hoz, Margarita Caso Chávez y Eduardo Morales de la Garza</i>	573
Los ecosistemas marinos de la región noroccidental de Cuba <i>Gaspar González-Sansón y Consuelo Aguilar-Betancourt</i>	603

Volumen 2

IV. MANEJO DE LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Perspectivas de la conservación en el Golfo de México <i>Roberto de la Maza y Amaya Bernárdez</i>	637
Hidrocarburos en el sur del Golfo de México <i>Gerardo Gold Bouchot</i>	657
Distribución y contaminación de metales en el Golfo de Mexico <i>Alfonso Vázquez Botello, Susana Villanueva Fragoso y Leticia Rosales Hoz</i>	683
Aprovechamiento y conservación del recurso camarón <i>Adolfo Gracia</i>	713

La sustentabilidad de las pesquerías del Golfo de México <i>Antonio Díaz-de-León, José Ignacio Fernández, Porfirio Álvarez-Torres, Oscar Ramírez-Flores y Luis Gerardo López-Lemus</i>	727
La pesca en el Golfo de México. Hacia mayores biomasas en explotación <i>Virgilio Arenas Fuentes y Lourdes Jiménez Badillo</i>	757
Hipoxia en el Golfo de México <i>Nancy N. Rabalais</i>	773
La condición reproductiva del camarón blanco <i>Litopenaeus setiferus</i> (Crustacea; Penaeidae): evidencias de deterioro ambiental en el sur del Golfo de México <i>Carlos Rosas , Edwin L. Cooper, Cristina Pascual, Roberto Brito, Rolando Gelabert, Teresa Moreno, Gustavo Miranda y Ariadna Sánchez</i>	791
Eutrofización costera en la península de Yucatán <i>Jorge A. Herrera-Silveira, Nancy Aranda Cirerol, Luis Troccoli Ghinaglia, Francisco A. Comín y Chris Madden</i>	823
El delta del Misisipi: funcionamiento del sistema, impactos ambientales, y manejo sustentable <i>John Day, Paul Templet, Jae-Young Ko, William Mitsch, G. Paul Kemp, James Johnston, Gregory Steyer, John Barras, Dubravko Justic, Ellis Clairain, Russell Theriot</i>	851
La observación de impactos en el Golfo de México mediante imágenes de satélite <i>Raúl Aguirre Gómez</i>	883
Lineamientos para el programa regional de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y Caribe <i>D. Zárate Lomelí, A. Yáñez-Arancibia, J. W. Day, M. Ortiz Pérez, A. Lara Domínguez, C. Ojeda de la Fuente, L. J. Morales Arjona y S. Guevara Sada</i>	899

Entre la ciencia y la política. Integrando los componentes marinos, costeros y continentales del Golfo de México 937
Alejandro Toledo

Los impactos de las actividades relacionadas con el petróleo y el gas en la disminución de los humedales costeros en el delta del Misisipi 961
Jae-Young Ko, John Day, John Barras, Robert Morton, James Johnston, Gregory Steyer, G. Paul Kemp, Ellis Clairain y Russell Theriot

V. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Hacia un manejo integrado del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México 985
Antonio Díaz-de-León, Porfirio Alvarez-Torres, Roberto Mendoza-Alfaro, José Ignacio Fernández-Méndez y Oscar Manuel Ramírez

La normatividad de las zonas costeras y marinas 1007
Aquilino Vázquez García

Monitoreo y vigilancia de las zonas costeras. Marco legal de las inspecciones de PROFEPA 1033
José N. Iturriaga

Ambivalencias y asimetrías en el proceso de urbanización en el Golfo de México: presión ambiental y concentración demográfica 1043
Cuauhtémoc León e Hipólito Rodríguez

La invención del Golfo de México 1083
Sergio Guevara Sada

PRESENTACIÓN

*Margarita Caso, Irene Pisanty
y Exequiel Ezcurra*

La naturaleza es un sistema complejo cuyas interacciones son multidimensionales. Dado que el manejo y la gestión son formas de intervenir en la naturaleza, hacerlo de modo responsable y efectivo supone conocer estos mecanismos de interacción. Dentro de esta óptica, la misión fundamental del Instituto Nacional de Ecología es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental y promover el uso sustentable de los recursos naturales.

En la compleja problemática que involucra el uso y la protección de los recursos naturales, los que derivan del mar tienen características particulares. La amplitud e interconexión de los ecosistemas costeros y marinos, así como su inaccesibilidad, contribuyen a la dificultad para estudiarlos.

El Golfo de México es prácticamente un mar interior, parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán. La masa de agua está bordeada al oeste, sur y sureste por 6 estados de México, al norte y noroeste por 5 de Estados Unidos y al Oeste por la isla de Cuba.

La zona recibe un importante aporte de agua dulce, ya que desembocan las descargas de los principales ríos de Norteamérica: la sección mexicana recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello et al. 1998); por parte de Estados Unidos, el Río Mississippi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90 por ciento del influjo de agua dulce hacia el Golfo de México (Day et al. 2004, Rabalais 2004).

En la zona costera del Golfo de México se encuentra una gran diversidad de hábitats costeros de alta productividad que son sistemas interconectados, como bahías, deltas, lagunas costeras y estuarios, humedales, pastos marinos, y arrecifes de coral.

Los ambientes costeros son fuertemente afectados por el desarrollo de un gran número de actividades que con frecuencia son incompatibles entre sí. En la actualidad las actividades humanas son directa o indirectamente la principal causa de las modificaciones de la biodiversidad marina y cuyos efectos son, contrariamente a muchas de las perturbaciones naturales que han existido continuamente en el océano, casi siempre irreversibles (National Research Council 1995). La mayoría de las amenazas actuales y potenciales de la biodiversidad marina ocurren en la zona costera y son resultado directo de las tendencias demográficas de la población humana: se estima que casi el 70% de la población global vive en la costa, o a no mas allá de 60 km de distancia de ésta, y el porcentaje sigue aumentando, por lo que el total de la población puede llegar a duplicarse en menos de 30 años (Norse 1994).

En respuesta a la compleja problemática de este ecosistema compartido por tres países, se requiere un tratamiento conjunto, transfronterizo e interdisciplinario que contribuya a prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, con el objeto de mantener e incluso mejorar sus capacidades productivas. Ante esta situación, surge la necesidad de realizar un diagnóstico ambiental del Golfo de México, que permita identificar problemas transfronterizos, áreas de atención prioritaria de manera integrada, revisar el conocimiento existente e identificar las amenazas que existen en el Golfo de México.

Mediante la realización del taller “Diagnóstico Ambiental del Golfo de México” realizado en la ciudad de Veracruz en agosto de 2003, hemos querido propiciar un encuentro entre varios expertos en diversos temas ambientales del Golfo de México fortaleciendo el intercambio académico entre investigadores de diferentes disciplinas e instituciones con amplio conocimiento de la zona y autoridades ambientales del gobierno Federal. El carácter internacional del evento permitió estrechar los lazos de colaboración entre tres países que comparten los recursos de tan importante región ecológica. La publicación de este libro es la culminación de dicho esfuerzo. Consideramos que este será un primer paso para establecer un plan de acción a mediano y largo plazo para estrechar los mecanismos de cooperación regional y avanzar hacia un desarrollo sostenible integrado del Golfo de México.

Primera parte
FÍSICO QUÍMICA DEL GOLFO DE MÉXICO

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO. RESUMEN EJECUTIVO*

*John W. Day, Antonio Díaz de León, Gaspar González Sansón,
Patricia Moreno-Casasola
Alejandro Yáñez-Arancibia (coordinador)*

RESUMEN

Esta síntesis ejecutiva resume los aportes de los 38 capítulos resultantes de la participación de 96 autores provenientes de 55 instituciones (federales o estatales, instituciones paraestatales del sector industrial, universidades y centros de investigación federales, estatales o privadas y organizaciones ambientalistas no gubernamentales), tanto de México como de Estados Unidos. En algunos capítulos participan profesionales de Cuba, España, Francia y Venezuela. La información se ha obtenido de los propios resúmenes de cada capítulo, o de la información complementaria que los autores de capítulos enviaron posteriormente. Para la presentación de la información, se ha seguido la metodología que utiliza la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO en sus informes o conclusiones de reuniones técnicas, enumerando correlativamente párrafos secuenciales, lo

* Este resumen ejecutivo es parte de los resultados del Taller internacional desarrollado en el Puerto de Veracruz, los días 20 a 22 de agosto de 2003, organizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) y el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL-CONACYT). El grupo de trabajo que elaboró esta resumen fue designado por el Instituto Nacional de Ecología.

cual evita información recurrente y otorga un sentido natural al enfoque de ecosistema. Ninguno de los párrafos tiene interpretación por parte del grupo de trabajo y se respetó el punto de vista y perspectivas que surge de todos y cada uno de los capítulos. En cada párrafo se ha omitido citar como referencia algún capítulo en específico, tanto porque en la mayoría de cada uno de ellos hay referencias cruzadas, como para otorgar a cada uno el aval de todos los capítulos y de todos los participantes en el libro.

La información se ha reunido en cuatro secciones: 1) escenario ambiental, 2) escenario socio económico, 3) normatividad y perspectivas de gestión y manejo y 4) identificación de problemas y áreas de atención prioritaria. Esto refleja los temas desarrollados en el taller de Veracruz, que fueron: a) físico química del Golfo, b) la biota del Golfo, c) los ecosistemas del Golfo, d) impactos y manejo de la zona costera, y e) aspectos socioeconómicos. Esos temas ofrecieron la información para cumplir con los objetivos del taller, que fueron: 1) realizar un diagnóstico ambiental transfronterizo, 2) generar la información interdisciplinaria útil en la toma de decisiones para prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, como forma de mantener y mejorar las condiciones y capacidades productivas, 3) identificar problemas y áreas en los que hace falta investigación científica y tecnológica, y 4) promover el manejo integrado y el desarrollo sostenible de las áreas costeras y el ambiente marino del Golfo de México. El grupo de trabajo agradece la distinción de la responsabilidad otorgada por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), así como el respaldo de los 80 autores involucrados en esta obra.

I. EL ESCENARIO AMBIENTAL

1. La superficie del Golfo de México, incluyendo el cuerpo de agua y los humedales costeros, de México y Estados Unidos, es *ca.* 1,942,500 km². Sólo el cuerpo de agua tiene una superficie aproximada de 1,507,639 km². La profundidad promedio del Golfo es *ca.* 1,615 m, y el volumen de agua es aproximadamente 2,434,000 km³.
2. La cuenca de drenaje total del Golfo de México es *ca.* 5,180,000 km², descargando más del 80% del agua dulce de los Estados Unidos a través de más del 60% de su geografía continental, y más del 62% del total nacional de México a través de más del 40% de su geografía continental. Los meses de abril-mayo constituyen el periodo de mayor descarga fluvial en las costas de Estados Unidos (después de los deshielos y lluvias

- continentales). Septiembre-octubre es la época de mayor descarga fluvial en las costas de México (después de las lluvias continentales).
3. En la costa mexicana del Golfo, la estacionalidad climática meteorológica se caracteriza por un periodo de secas de febrero a mayo, uno de lluvias de verano de junio a octubre con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos anticiclónicos (nortes) de octubre a febrero. Estos tres periodos son constantes pero se traslapan de manera relativa, y su intensidad está variando por efectos del cambio climático global.
 4. La circulación oceánica en el Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de la Florida. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de la Florida siguiendo una trayectoria de lazo. A mesoescala, las principales características son la Corriente de Lazo, un gran giro anticiclónico frente a la costa de Tamaulipas, la corriente de frontera oeste, y la circulación ciclónica sobre la plataforma de Texas-Louisiana, de Florida, de la Bahía de Campeche y en la periferia de la Corriente de Lazo.
 5. En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASSC), el Agua Intermedia Antártica y el Agua Profunda Noratlántica. Dentro del Golfo el ASSC puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos masas de agua de menor salinidad; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México y el Agua Común del Golfo.
 6. El flujo de masas a través del Canal de Yucatán varía estacionalmente, aunque en promedio en la capa superior a los 500 m se presenta un transporte de $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$, con máximos en primavera y verano. La fricción de fondo que experimenta esta corriente al chocar contra el talud continental, se ha propuesto como el mecanismo que da origen a la surgencia noreste de Yucatán.
 7. El análisis de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, en las masas de agua y su comportamiento, permite fundamentar la importancia de los giros en la distribución de esos parámetros, destacando los ciclónicos por el enriquecimiento que propician en aguas superficiales y subsuperficiales (según la intensidad del giro), y el enriquecimiento de nutrientes en los anticiclónicos.
 8. La productividad natural del Golfo de México depende de las interacciones de procesos terrestres y marinos que convergen en la zona costera, condicionado por los procesos climático meteorológicos e hidrológicos.

9. La distribución de la clorofila-*a* en aguas oceánicas sugiere que el Golfo de México es considerado como oligotrófico (en la capa superficial), no sólo por su concentración de nutrientes, sino por el contenido de este pigmento, aún en el área de surgencia; pero se registran valores más altos en las aguas costeras y en la nutriclina.
10. En Cuba, la información existente sobre los ecosistemas costero-marinos de la región noroccidental, es muy general y enfocada en buena medida a determinar variaciones espaciales en escala, principalmente de decenas de kilómetros. Las variaciones temporales han sido investigadas en forma limitada, considerando las variaciones estacionales. Particularmente notoria es la ausencia de investigaciones que analicen las variaciones interanuales en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costero-marinos.
11. En Cuba predomina la idea que los arrecifes de coral, los manglares y las praderas de pastos marinos tienen un buen estado de conservación; aunque existe una explotación excesiva de los peces con importancia comercial. Esta perspectiva se basa en el hecho de que la zona costera, en su mayor parte, está muy poco poblada; la actividad agrícola no es muy intensa y no hay un desarrollo industrial o turístico. Complementariamente, existe el criterio de que las aguas de la plataforma continental (por orientación, longitud y amplitud), se renuevan con gran eficiencia a partir de su interacción con el océano.
12. La zona costera del Golfo, tanto de México como de los Estados Unidos, contiene más de 200 sistemas lagunares-estuarinos. Más del 75 % del total nacional de humedales costeros, de ambas naciones se localiza en el Golfo de México.
13. Las lagunas costeras, estuarios y hábitats asociados en el Golfo de México sirven como protección, reproducción y áreas para la crianza de recursos pesqueros estuarino-dependientes. En Estados Unidos, estas pesquerías proveen aproximadamente el 72% de la pesquería de camarón, 66% de producción de ostiones, y 18% de capturas comerciales de peces. En México, corresponde al 45% de la pesquería de camarón, 90% de producción de ostiones y 40% de captura comercial de peces. Actualmente todo el Golfo de México aporta capturas pesqueras de más de 1×10^6 ton/año, sin considerar el descarte de la pesca incidental o acompañante del camarón.
14. El complejo deltáico Usumacinta-Grijalva marca claramente la frontera de sedimentos terrígenos costeros hacia el sur de Campeche, Tabasco y

Veracruz, y carbonatados (kársticos) hacia el norte de Campeche y Yucatán. Esta característica se refleja no sólo en la granulometría de las playas, sino también en ambientes sedimentarios de la plataforma continental nerítica. Se reconoce al sistema de Laguna de Términos como el centro de esta frontera sedimentaria.

15. La dinámica de las interacciones ecológicas estuario-mar en el Golfo de México depende de la fisiografía e hidrodinámica costera, condicionada por la geomorfología y los pulsos climático-meteorológicos.
16. La estructura funcional de los ecosistemas lagunares-estuarinos a lo largo del gradiente latitudinal desde el delta del río Bravo hasta la costa Caribe de México, sugiere tres regiones: a) una región distintiva desde la Laguna Madre de Texas/Tamaulipas hasta la Laguna de Tamiahua Veracruz, pudiéndose prolongar hasta el centro-norte del estado de Veracruz, b) otra región desde la Laguna de Alvarado y delta del Papa-loapan en Veracruz hasta la Laguna de Términos y los Pantanos de Centla delta Usumacinta/Grijalva en Tabasco y Campeche y c) la costa norte y oriental de la Península de Yucatán. Los niveles de productividad primaria acuática, presupuesto climático de agua, gradientes físico químicos y estructura trófica, se correlacionan con estas regiones.
17. Por el perfil de ecosistemas contrastante pero representativos de la zona costera del Golfo de México, se sugieren cuatro categorías: a) sistemas lagunares-estuarinos semiáridos (Laguna Madre de Texas/Tamaulipas, y Laguna Celestún en Yucatán), dominados por procesos marinos y limitado drenaje fluvial, b) sistemas intermedios no dominados por ríos (Laguna de Tamiahua en Veracruz), c) sistemas dominados por ríos (Laguna de Alvarado delta del Papaloapan en Veracruz, Pantanos de Centla delta Grijalva/Usumacinta en Tabasco, Laguna de Términos delta Usumacinta en Campeche), dominados por procesos costeros y gran aporte fluvial, expresando un delta progradante y amplia pluma estuarina sobre la plataforma continental y d) sistemas kársticos del litoral Caribe (Laguna arrecifal Puerto Morelos y Sistema lagunar de Sian Ka'an en Quintana Roo), dominados por procesos marinos y con aporte freático de agua dulce.
18. El presupuesto climático del agua, la descarga de ríos, el tiempo de residencia de la zona de mezcla, la concentración de nutrientes y fertilizantes y la eficiencia del entrampamiento de sedimentos, sugiere que los sistemas lagunares-estuarinos estudiados en la zona costera del Golfo

son altamente susceptibles a la eutrofización.

Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental nerítica, desde la Sonda del Misisipí hasta la Sonda de Campeche, está condicionada por procesos costeros (*i.e.*, descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, en dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas.

20. Las lagunas costeras y los estuarios, son importantes tanto por su biodiversidad, como por las actividades socioeconómicas que sostienen. Por tratarse de una zona de mezcla de aguas oceánicas y dulceacuícolas, el entendimiento de sus propiedades físico químicas es fundamental para la comprensión de su funcionamiento y las implicaciones para su manejo sustentable. El análisis de parámetros como: hidrología, nutrientes y productividad primaria, en escalas temporales y amplio rango latitudinal, permite proponer valores “promedio” que pueden ser útiles para entender una regionalización costera, y como valores de referencia para monitorear la salud de estos ecosistemas.
21. La Laguna Madre de Texas/Tamaulipas, Laguna de Tamiahua, Laguna de Alvarado y delta del Papaloapan, Pantanos de Centla y delta Usumacinta/Grijalva, Laguna de Términos y delta Usumacinta/Grijalva, Laguna Celestún, Sistema lagunar Sian Ka'an, y Laguna arrecifal Puerto Morelos son ecosistemas, contrastantes pero representativos, para comprender las interacciones ecológicas estuario-mar y la estructura funcional costera del Golfo de México y Caribe, en un gradiente latitudinal.
22. Las aguas protegidas mesohalinas y la plataforma continental marina interactúan y se conectan a través de bocas estuarinas. Las islas de barrera están interrumpidas por éstas, pero también el encuentro de los ríos y el mar constituye una boca estuarina. En este subsistema ocurre un activo intercambio de organismos, agua, contaminantes, nutrientes, materia orgánica y sedimentos. Esto involucra procesos de transporte y mezcla, movimientos migratorios, variaciones en diversidad y abundancia biótica, cambios ontogenéticos en ciclos biológicos, dinámica en la ecología trófica, además de cambios en los gradientes físico químicos y la productividad del ecosistema.
23. Hay suficiente información para comprender la importancia ambiental de la Laguna Madre en Tamaulipas y la Laguna de Términos en Campe-

che; la primera con grandes restricciones de aporte fluvial y la segunda con la mayor descarga de ríos en el Golfo. Aunque contrastantes, ambas están identificadas como regiones prioritarias costero-marinas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Se requiere establecer algún tipo de protección para el sistema de Laguna Madre y desarrollar acciones concretas en la Laguna de Términos para fortalecer su programa de manejo.

24. Los humedales se encuentran dentro de los ecosistemas mas productivos del Golfo de México. Se establecen a lo largo de gradientes de inundación y de salinidad. En la frontera hacia el mar se encuentran las lagunas costeras y estuarios, cuya productividad depende, por una parte, de los procesos ecológicos que ocurren en los humedales de la planicie costera, y por otra, de los procesos marino-costeros en la plataforma continental adyacente.
25. Los humedales costeros son las zonas que reciben la recarga freática de las montañas y planicies tierra adentro. Su funcionamiento y conservación dependen de la situación ambiental y del manejo del agua en regiones muy alejadas. Localmente, los distintos humedales de México se han caracterizado por su composición florística y estructura, la cual es resultado en gran medida del hidroperiodo de los humedales.
26. Las playas y dunas son ambientes de sedimentación de gran importancia, formados por granos de arena que han sido transportados por ríos y escurrimientos hasta la costa, así como por corrientes litorales y vientos. Estos sedimentos circulan libremente dentro de sus respectivas celdas costeras bajo patrones estacionales de acumulación y erosión.
27. Los recursos pesqueros críticos (peces, crustáceos, moluscos) en la plataforma continental nerítica del Golfo de México dependen de la calidad de las aguas y hábitats (*i.e.*, descarga de ríos, superficie de lagunas costeras y estuarios, cobertura vegetal de humedales costeros, dinámica ecológica estuario-mar, turbidez, carga orgánica e inorgánica, entre otros). La sustentabilidad de las pesquerías depende de la integridad ecológica de los ecosistemas costeros.
28. Labiodiversidad y cobertura de la vegetación de los humedales costeros, son importantes indicadores de la salud y evolución de los humedales del Golfo de México. Reflejan el impacto antropogénico en una hidrología errática, la expansión de la frontera agropecuaria, el reemplazo de la vegetación acuática por comunidades monoespecíficas con

- características de malezas y exóticas. Pero la vegetación también refleja su vulnerabilidad frente al cambio climático global, por ser particularmente sensible al ascenso relativo del nivel medio del mar.
29. La combinación de los factores del impacto industrial en las costas de Luisiana ha incrementado el estrés sobre la cobertura vegetal natural y la muerte de las plantas, dando como resultado en una reducción significativa de formación de suelo orgánico e incremento sustancial del ascenso relativo del nivel medio del mar en la región noroccidental del Golfo de México.
 30. Los humedales costeros del Golfo de México son ricos en especies herbáceas y leñosas, y son un componente prioritario en la integridad ecológica de la estructura funcional de la zona costera.
 31. Las playas y dunas del Golfo de México son sumamente dinámicas y muy frágiles. La topografía favorece la presencia de: a) ambientes de dunas activas, b) ambientes de hondonadas húmedas e inundables y c) ambientes estabilizados, cada uno con diferentes microambientes y grupos florísticos distintivos.
 32. La vegetación de las playas y dunas está conformada estructuralmente por comunidades pioneras, pastizales, matorrales, selvas, humedales y ambientes acuáticos, que son clave en el funcionamiento del ecosistema. Este mosaico hace a las dunas costeras un sistema diverso y heterogéneo. Las especies presentan adaptaciones *sui generis* y para muchas de ellas todavía se conoce poco de su ecología y fisiología.
 33. La flora de playas y dunas tiene especies que le son características, y especies endémicas propias de esos ambientes. Para el Golfo de México se han registrado 429 especies y 89 familias y en el Caribe 456 y 78, respectivamente. Las mayores similitudes entre floras se dan entre el Golfo y Caribe y entre el Golfo y la flora del Pacífico tropical. En el Golfo de México se han identificado 9 especies endémicas y en la Península de Yucatán 32 especies endémicas.
 34. Estructuralmente, los arrecifes coralinos del Golfo de México, desde el Banco de Campeche hasta los litorales veracruzanos, están bien desarrollados, lo que refleja condiciones favorables para su crecimiento durante la mayor parte de la transgresión holocénica. Estas comunidades, que han formado los arrecifes del margen occidental del Golfo de México (desde Antón Lizardo hasta *Flower Gardens*), operan como un sistema semicerrado en escalas de tiempo ecológicas, debido al relativo aislamiento del Golfo, así como a la elevada influencia conti-

mental, que limitan el aporte larval. Por ello la comunicación entre los arrecifes del Caribe mexicano y la Sonda de Campeche está restringida por efecto de la barrera temporal.

35. El ecosistema más característico de la región noroccidental de Cuba es el que se estructura en torno a los arrecifes de coral; que se correlacionan con manglares y fondos arenosos donde crecen fanerógamas submarinas (seibadales). Se reconoce una fuerte interacción ecológica entre manglar-seibadal-arrecife, lo cual es clave para la comprensión del ecosistema costero-marino de la región. Menos significativo son los pequeños estuarios asociados a bahías y desembocaduras de ríos.
36. El Golfo de México es un área de gran diversidad de especies de aves y zona importante en las rutas migratorias del Este del continente americano. En el Golfo existen 228 especies de aves, de las cuales 50 (22.3%) son marinas, 112 (50%) acuáticas y 62 (27.7%) terrestres. Las marinas obtienen su alimento principalmente del mar, las terrestres se alimentan básicamente de recursos terrestres y las acuáticas son las acuáticas-playeras que obtienen su alimento del medio acuático en la zona costero-marina.
37. De estas aves, 32 especies están catalogadas en la legislación mexicana (NOM-059-ECOL-2001). 18 se encuentran bajo protección especial, 9 amenazadas y 5 en peligro de extinción. Otras 7 están bajo alguna categoría de riesgo en la UICN (3 vulnerables, 2 con bajo riesgo y 2 en peligro de extinción). De éstas, 3 especies de aves marinas (6%), 28 especies acuáticas o playeras (25%) y 6 especies terrestres (9.7%) se encuentran en alguna de estas categorías. Esto constituye el 16% del total de las especies, con el 15% clasificadas por la NOM-059 y el 3% por la UICN. Se reporta una especie acuática probablemente extinta que migraba por las costas del Golfo, *Numenius borealis*.
38. Entre las áreas importantes para la conservación de las aves del Golfo de México se encuentran: el delta del río Bravo, la Laguna Madre y los humedales del sur de Tamaulipas. Los humedales del norte de Veracruz, el estuario del río Tecolutla, los humedales de Laguna Tamiahua, Tuxpam, La Mancha y Alvarado con el delta del Papaloapan. En Tabasco, la Laguna Mecoacán y los Pantanos de Centla. En Campeche, la Laguna de Términos, Los Petenes y las islas en la Sonda de Campeche. Estos dos últimos estados con los humedales del delta Usumacinta/Grijalva. En Yucatán, Dzilam de Bravo, Ichká Ansijo, Ría Lagartos, Ría Celestún, Humedales costeros del norte de la Península de Yucatán, Arrecife Alacranes, e Isla Contoy.

39. En el Golfo de México se ha registrado la presencia de 29 especies de mamíferos marinos: 28 especies de cetáceos (ballenas y delfines) y una especie de sirenio (manatí). La foca monje del caribe *Monachus tropicalis* es el único pinnípedo que habitó el Golfo. Se extinguió a mediados del siglo XX a consecuencia de la cacería por poblaciones locales.
40. La mayoría de las especies de cetáceos del Golfo de México habitan aguas oceánicas con profundidades mayores a los 200 m. Sólo toninas y delfines moteados del Atlántico se encuentran comúnmente cerca de la costa, sobre la plataforma continental, variando su presencia estacional dependiendo de la época del año y de la disponibilidad del alimento en función de la productividad de los ecosistemas. Incluso las toninas pueden acercarse a lagunas costeras y estuarios. Algunas especies oceánicas, como el delfín tornillo y el delfín de dientes rugosos, han sido registradas en la plataforma nerítica de Yucatán y en el litoral de Tabasco.
41. Tanto el manatí *Trichechus manatus* como los delfines en las costas del Golfo de México, han reducido sus poblaciones considerablemente, por caza directa o incidental. En las cuencas del Usumacinta/Grijalva y del Papaloapan se encuentran los últimos remanentes de manatí en la costa mexicana del Golfo. Actividades urbanas, industriales y turísticas costeras, como la extracción de petróleo, el tráfico marítimo, las aguas residuales contaminantes, afectan drásticamente a las poblaciones de mamíferos marino-costeros. Todas las especies de mamíferos marinos mexicanos están incluidas en la NOM-059-ECOL-2001.
42. México se distingue por compartir el hábitat de 10 de las 11 variedades de tortugas marinas que existen en la actualidad. La única tortuga ausente es *Natator depressus* circunscrita a la región australiana. En el Golfo de México se presentan 5 especies, en orden de abundancia: blanca *Chelonia mydas*, caguama *Caretta c. caretta*, carey *Eretmochelys i. imbricata*, lora *Lepidochelys kempi* y laúd *Dermochelys c. coriacea*.
43. Debido a la sobreexplotación, todas las poblaciones de tortugas marinas fueron diezgadas, razón por la cual, se iniciaron actividades de protección a mediados de los años 1960, se redujeron los permisos de captura a partir de 1973. Para la tortuga lora se inició un programa binacional con Estados Unidos en 1978, y a partir de 1990 se decretó en México una veda total para todas las tortugas marinas, aún vigente. Para la tortuga lora se observa una sensible recuperación de sus poblaciones. La caguama se ha mantenido estable y la laúd en el periodo

histórico no se ha distinguido por ser una especie abundante en esta zona.

44. En las costas mexicanas del Golfo de México se han registrado al menos 586 especies de peces. Se considera que el 60% son especies relacionadas con sistemas lagunares-estuarinos, por actividades de alimentación en aguas protegidas o en áreas de influencia de la pluma estuarina, y por actividades de reproducción o protección de juveniles (la relación aumenta a 75 % para especies dominantes). La mayor abundancia se registra en las áreas de influencia de las plumas estuarinas desde la región del delta del Papaloapan hasta el delta del Usumacinta/Grijalva (costa del sur de Veracruz hasta Campeche) sobre la plataforma nerítica. Asociaciones ecológicas marcadas se diferencian, en función de la batimetría, tipo de sedimentos, disponibilidad de alimento, descarga de ríos y productividad acuática. Destaca la Laguna de Términos con registros extremos de 214 especies de peces.
45. Los meros y pargos del Golfo de México se caracterizan por tener una madurez sexual tardía, un periodo de reproducción estacional, una fecundidad alta, una estructura social compleja y por formar agregaciones de desove. Son especies longevas, de crecimiento lento, con tasas de mortalidad naturales bajas y constituyen un importante grupo de depredadores importantes en zonas de arrecifes, alimentándose de otros peces y macroinvertebrados.
46. El bentos del Golfo de México se ha estudiado ampliamente en la zona costera. Los hábitats mejor documentados incluyen la plataforma continental nerítica lodoso, arrecifes de coral o de ostiones, marismas salobres, raíces de manglar, pantanos y pastos marinos en lagunas costeras y estuarios, y en menor grado las playas y costas rocosas. Recientemente se ha iniciado la exploración de las comunidades bénticas del talud continental, asociados a los fondos con actividad quimiosintética, junto con las comunidades bénticas de cañones, escarpes y montes en la planicie abisal. De los resultados existentes se puede reconocer que existe una diversidad grande de ecosistemas, hábitats y especies. Esto permite sugerir que el Golfo de México tiene una biodiversidad potencial elevada, equivalente a la reconocida en *hotspots* terrestres de ambientes tropicales y subtropicales.
47. Las listas de especies bentónicas para vertebrados e invertebrados son extensas, y se han ubicado en 27 de los 28 phyla reconocidos para ambientes marinos, incluyendo 13 endémicos marinos. De estos phyla,

- 6 son frecuentes y abundantes en las comunidades bénticas del Golfo de México: gusanos poliquetos, crustáceos peracáridos y decápodos, equinodermos, moluscos, nemátodos e hidróides. La riqueza biológica depende de factores determinantes, como el tipo de sedimento, la concentración y calidad de materia orgánica en sedimento, la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo y el transporte lateral y resuspensión por corrientes de fondo.
48. Entre las comunidades bénticas más complejas en el Golfo de México, se han reconocido las asociaciones de otros componentes bénticos sésiles, como son las de pastos marinos, de microalgas carbonatadas, de gusanos pogonóforos y de arrecifes de coral. La riqueza de especies en la planicie abisal es similar a la que se ha reconocido en la plataforma continental, pero la composición de especies es diferente, al igual que la talla de los organismos que tiende a disminuir con la profundidad.
 49. Actualmente se han registrado aproximadamente 300 especies de ostrácodos bentónicos, agrupados en 5 asociaciones faunísticas, en función del tipo de sustrato, la profundidad y la dinámica oceánica. Este grupo faunístico es muy abundante. Son importantes en las cadenas alimentarias bentónicas y son reconocidos indicadores ecológicos de la calidad de los fondos marinos.
 50. En las costas mexicanas del Golfo, al sur del paralelo 21°N, se han estudiado los ostrácodos, en un rango batimétrico entre 15 y 3,500 m. Entre 15 y 60 m de profundidad se encuentran 2 asociaciones: una en la parte occidental del Golfo, en sedimentos terrígenos influenciados por descargas fluviales, y marcados cambios estacionales en salinidad, concentración de materia orgánica, turbidez y estabilidad del ambiente; la segunda asociación se localiza en el Banco de Campeche, en sedimentos carbonatados, con poca o nula influencia fluvial, salinidad y temperatura estable y mucho menor contenido de materia orgánica. Entre ellas se encuentra una zona de transición frente a la Laguna de Términos.
 51. Las comunidades de ostrácodos en zonas arrecifales son distintas, incluyendo una alta diversidad de especies. También hay asociaciones diferentes en masas de aguas de elevada salinidad. En áreas de explotación petrolera, las especies no son diferentes, pero su abundancia es menor.
 52. El ciclo de vida del recurso pesquero del camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum* de la Florida es complejo, ya que pasa las etapas juveniles en la Bahía de la Florida, caracterizada por grandes cambios

hidrográficos y ambientales en escalas diurnas y estacionales. Los organismos incorporados a la población necesitan migrar de la bahía hacia *Dry Tortugas* para desovar y los huevos sufren advección de la corriente del Golfo hacia la Bahía de la Florida a través de complejos meandros formados por la contracorriente a lo largo de *Florida Keys*. Las corrientes de mareas y las condiciones del nivel del mar son fundamentales para los mecanismos de retención de las larvas que controlan el éxito del reclutamiento de las mismas.

53. La temperatura estacional, la salinidad y el viento, juegan papeles importantes en la dinámica de población de las larvas reclutadas y son variantes ambientales clave que controlan el reclutamiento exitoso para la industria pesquera de *Farfantepenaeus duorarum*. Los resultados se basan en más de 370 meses de análisis y evaluaciones del camarón rosado y del ambiente, que permiten modelar y pronosticar las reacciones dinámicas de esta especie frente a cambios ambientales a escalas variables en el Golfo de México.
54. El patrón estacional del reclutamiento del camarón rosado *F. duorarum* para la industria pesquera ha cambiado drásticamente por decenios. La temporada pico de reclutamiento para la industria pesquera era de septiembre a noviembre, pero desapareció durante la década de 1980, disminuyendo de *ca.* 10 millones de libras de desembarco por temporada a *ca.* de 5 millones de libras a partir de ese momento. Este cambio se puede explicar por la considerable alteración en el nivel del mar, que afectó el reclutamiento de larvas que generaba el reclutamiento pico para la industria pesquera dos meses después. Por otra parte, la segunda temporada anual de reclutamiento pico es determinada por las condiciones ambientales que prevalecen en el periodo de marzo a junio y que no están asociadas con los cambios en el nivel del mar.

II. EL ESCENARIO SOCIOECONÓMICO

55. El Golfo de México es una frontera internacional de México, los Estados Unidos y Cuba, hacia la región del Gran Caribe en la zona nor-occidental tropical, subtropical y templada del océano Atlántico.
56. Cinco entidades federativas de Estados Unidos bordean el Golfo (Florida, Alabama, Misisipi, Luisiana y Texas) lo que representa alrededor de 2,934 km de litoral de la Unión Americana. A su vez 5 estados mexicanos bordean el Golfo y uno en la costa Caribe (Tamaulipas,

- Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo) lo que representa cerca de 3,200 km de costa. La región de Cuba frente al Golfo se extiende entre los 21° 51' 40" y los 21° 8' 52" latitud norte y los 84° 57' 54" y 82° 21' 35" longitud oeste.
57. Entre México y los Estados Unidos, aproximadamente 55 millones de personas viven en los estados costeros del Golfo de México (40 millones en Estados Unidos y 15 millones en México).
 58. En los Estados Unidos, el 38% de todo el petróleo y 48% del gas natural, como reservas, se ubican en las costas del Golfo. En México más de su 80% del petróleo y más del 95% de su gas natural se produce en las costas del Golfo de México.
 59. En Estados Unidos *ca.* 45% del tonelaje de embarque pasa a través de los puertos del Golfo, y en México el 75% del tonelaje de embarque utiliza los puertos de esta zona.
 60. La historia regional del Golfo es una historia ambiental, donde el petróleo, el turismo, los puertos, las plantaciones, la ganadería, las pesquerías y la industria, constituyen las líneas que construyen los polígonos de más larga duración en la composición territorial del Golfo y sus procesos de urbanización.
 61. El Golfo de México es un recurso importante y mantener su productividad optimizará su utilidad social y económica, no sólo para los estados litorales de los Estados Unidos y México, sino para ambos países en su totalidad.
 62. Aunque los problemas ambientales del Golfo de México son regionales en lo particular, sus orígenes son nacionales por el contexto socioeconómico en que se presentan. En su mayoría, los problemas son comunes para los diferentes estados litorales y, en casos específicos, las soluciones pueden ser similares para todas las entidades federativas de México en el Golfo.
 63. Puesto que los ecosistemas no reconocen fronteras políticas, al observar el Golfo de México como un todo, se detectan diversos problemas que cruzan los estados, los litorales o las líneas de jurisdicción federal regional, así como también las fronteras internacionales.
 64. El Golfo de México es un ecosistema compartido y, por lo tanto, debe ser considerado una frontera política internacional sujeta a las mismas regulaciones que las fronteras terrestres.
 65. Las actividades que modulan la economía del Golfo de México son: la explotación de petróleo y gas, la industria petroquímica, el transporte

marítimo, los recursos pesqueros, la producción de energía eléctrica, la expansión urbana, el turismo, los usos agropecuarios y forestales en la llanura costera. En este marco, se debe promover la instrumentación de proyectos científicos y tecnológicos con perspectiva regional, orientados a resolver problemas prioritarios.

66. La zona costera sur del estado de Tamaulipas está bajo la influencia de una creciente zona metropolitana que integra a las ciudades de Tampico, Madero y Altamira (incorporando las localidades de Pueblo Viejo, Pánuco y Tampico Alto del estado de Veracruz). Esta región es uno de los polos de desarrollo urbano, industrial y portuario, de mayor importancia económica de la región costera del Golfo de México. El corredor industrial es muy extenso, con infraestructura comercial y de servicios para satisfacer las necesidades prioritarias de distintos sectores del desarrollo. El crecimiento poblacional, principalmente en el municipio de Altamira, para el periodo 1970- 2000 fue de más del 400%.
67. El turismo en el Golfo de México se ha desarrollado principalmente en las playas y dunas costeras. Además del beneficio económico, estos ecosistemas proporcionan importantes servicios ambientales para el desarrollo social y económico de las costas. Actúan como zona de amortiguamiento entre el mar, la tierra y la atmósfera, protegen la zona costera durante tormentas y huracanes, atrapan la arena, filtran el agua, proporcionan hábitats especializados para la flora y la fauna. Actualmente se encuentran entre los ecosistemas más afectados por la acción humana, como desarrollos turísticos lineales, transformación en potreros para ganadería extensiva, siembra de cocotales, lo cual ha modificado la geomorfología y eliminado la cubierta vegetal original.
68. En Cuba, en términos de desarrollo económico, se prevé a futuro tanto el desarrollo turístico costero, como la exploración de gas y petróleo en las aguas profundas de su zona económica exclusiva hacia el Golfo de México. Estas dos actividades podrían incrementar las amenazas de origen antrópico en la frontera oriental del Golfo.
69. En las costas de Luisiana, los impactos por la actividad de extracción de petróleo y gas, la producción de petroquímicos, y actividades industriales ligadas al súper puerto de Louisiana, son dramáticos y alarmantes. Estas actividades están directamente ligadas a la pérdida de humedales costeros en el Delta del Misisipí, subsidencia incrementada 2 o 3 veces por encima de la tasa normal promedio regional, canalización y/o relleno de humedales que han alterado la hidrología de la

- llanura costera hasta umbrales de irreversibilidad, aumento de la intrusión de la cuña salina tierra adentro, y reducción y derivación catastrófica del flujo natural del río y del aporte natural de sedimentos (ambos parámetros vinculados directamente a la productividad y persistencia de los humedales).
70. Los humedales del Golfo han sido extensamente utilizados por el hombre para incrementar la frontera agropecuaria y para ampliar los terrenos donde establecer asentamientos urbanos e industrias. Ello ha implicado la modificación del hidropériodo, la desecación y la tala. Los humedales perdieron su capacidad para generar bienes y servicios, desconociéndose la interconexión que mantienen con sistemas adyacentes, reduciéndose la productividad primaria y secundaria natural de la región.
 71. Los humedales cumplen servicios ambientales de gran importancia como el control de inundaciones, la protección de la zona costera, la conservación de los mantos freáticos costeros, la dilución de contaminantes y protección de la calidad del agua, la fertilización del suelo, la creación de hábitats de aves y vida silvestre. También proporcionan posibilidades de actividades acuáticas recreativas y deportivas, incrementan el valor de la propiedad por su alto valor estético y anímico, e implican otros valores de tipo socio cultural y ético. Al mismo tiempo, por su alta productividad, también juegan un papel importante en la captura de carbono.
 72. Muchos de los recursos pesqueros más importantes se encuentran excesivamente explotados y la tendencia de las capturas son descendentes. Los sistemas de explotación se encuentran sobre capitalizados y las regulaciones aplicadas no han detenido el deterioro de los recursos, sino que han agravado algunos conflictos sociales.
 73. El deterioro de las pesquerías comerciales de peces, crustáceos y moluscos, supera el promedio mundial, pero también se refleja en las poblaciones de tortugas y mamíferos marinos. La implicación socio-económica es evidente.
 74. Es urgente en el Golfo de México revisar la sobrecapitalización de la actividad pesquera, el esfuerzo de pesca excesivo, la sobre pesca biológica, la regulación inoperante, la destrucción de los ecosistemas costeros, la contaminación multifocal, la pesca hormiga ribereña, y los efectos del cambio climático global. Se requiere explorar la creación de artes de agregación de juveniles y arrecifes artificiales y orientar la

obtención de datos de pesca, no para fines de estadísticas socioeconómicas sino para fines biológicos y ecológicos.

75. En el Golfo de México las mareas rojas y negras se han convertido en fenómenos regulares, con importantes pérdidas económicas y conflictos sociales agudos por el uso de recursos, haciendo la gobernabilidad local y regional más complicada y compleja.
76. En el Golfo de México se observan 23 especies de mero de los género *Epinephelus*, *Myctoperca*, *Cephalopholis*, *Alphestes*, *Dermatolepis*, *Gonioplectrus* y *Paranthias*, así como 11 especies de pargo del género *Lutjanus*. Constituyen un recurso pesquero de alto valor económico y social, asociado con fondos duros de tipo coralino o rocoso, la mayoría a menos de 100 m de profundidad y varios de ellos distribuidos a lo largo de toda la costa del Golfo desde la Florida hasta el extremo oriental de la Península de Yucatán y Cuba.
77. La gran diversidad de especies, hábitos y hábitats de los moluscos bivalvos y gasterópodos, ha permitido que se desarrollen pesquerías específicas a lo largo de la costa del Golfo de México. Puede afirmarse que los bivalvos son un recurso subexplotado en todo su litoral, mientras que los gasterópodos han sido sobreexplotados en todo el litoral de la Península de Yucatán, pero están subexplotados desde Tamaulipas hasta Tabasco. Para ambos grupos de moluscos se desconoce su potencial de captura para las costas del Golfo.

III. NORMATIVIDAD Y PERSPECTIVAS DE GESTIÓN Y MANEJO

78. En el sistema jurídico mexicano, la norma suprema establece en su artículo 27, párrafos tercero y cuarto, que la Nación tiene el dominio inalienable e imprescriptible de todos los recursos naturales del suelo, el subsuelo, la plataforma continental y los zócalos submarinos de las islas, los mares territoriales y patrimoniales, los ríos y lagos, las lagunas y los esteros y, en general, la propiedad originaria de todas las tierras y aguas en su espacio geográfico y legal.
79. Para la gestión ambiental del Golfo de México y su zona costera, la normatividad se basa en el siguiente marco jurídico, sus correspondientes reglamentos, dispositivos administrativos, y las normas oficiales mexicanas: la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales que regula todo lo relativo al uso y protección de las aguas en el territorio nacional, incluyendo diversos

- aspectos de su posible contaminación, la Ley General de Vida Silvestre que tiene por objeto la conservación y el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre y su hábitats, la Ley de Pesca aplicable a la extracción de los recursos pesqueros y la acuacultura, la Ley General de Bienes Nacionales que establece disposiciones para la administración y explotación de la Zona Federal Marítimo Terrestre y los terrenos ganados al mar y la nueva Ley General del Desarrollo Forestal Sustentable.
80. El Golfo de México, como “gran ecosistema marino”, requiere una atención modular de gobernabilidad para hacer frente con su desarrollo sustentable; por ejemplo: i) variabilidad y productividad del ecosistema, ii) recursos marinos y pesquerías, iii) salud del ecosistema y conservación de la biodiversidad, iv) aspectos económicos y sociales, y v) gobernabilidad, arreglos y modelos regionales viables para la sustentabilidad.
 81. La ciencia y la tecnología son fundamentales para fortalecer la toma de decisiones en el manejo del Golfo de México como “gran ecosistema marino” y atender cuestiones como por ejemplo: a) ¿Cuáles son los mecanismos de productividad natural?, b) ¿Cuál es la estacionalidad de los recursos pesqueros?, c) ¿Cómo asegurar la calidad del agua y de los hábitats ?, d) ¿Dónde están localizados los recursos no-vivos?, e) ¿Cuál es el umbral para la sustentabilidad del desarrollo económico?, f) ¿Cuál es el conocimiento necesario para mitigar el cambio climático global?, g) ¿Cuál es el desafío para las tecnologías ambientales?
 82. La geología ambiental de la zona litoral ayuda al diagnóstico del Golfo de México porque es una disciplina que analiza procesos terrestres, acuáticos y aéreos de manera integrada. De forma natural o antrópica, la porción terrestre es afectada por fenómenos erosivos o por asolves. Igualmente la porción acuática, es más susceptible aún a la contaminación del agua y los sedimentos, en ocasiones con daños irreversible a la biota. El viento y los procesos meteorológicos modelan dunas y playas, y en ocasiones condicionan la distribución de flora y fauna asociadas. La prevención de daños a la franja litoral es prioritaria dentro del contexto de la protección de recursos naturales y áreas críticas en la zona costera.
 83. Los diferentes programas de monitoreo que se sugieren, pueden ayudar a instituciones como la Semarnat, CFE, PEMEX y la Secretaría de Marina. Esto haría eficiente el uso de la información y respaldaría la toma de decisiones políticas.

84. Con el enfoque de ecología funcional, el manejo ambiental de la zona costera del Golfo de México y mar Caribe, tiene grandes desafíos: a) asegurar el funcionamiento de las interacciones ecológicas estuario-mar, b) preservar la hidrología y la cobertura vegetal de los humedales costeros, c) proteger los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos, dunas y playas, y d) mantener el suministro de agua dulce a los estuarios para asegurar la persistencia de la fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica.
85. El uso de la tecnología satelital en la observación y el seguimiento de impactos en el Golfo de México ofrece innumerables ventajas. Por un lado, la cobertura y la resolución espacial que poseen las imágenes permiten tener una visión sinóptica y detallada de zonas costeras en las que sea necesaria una evaluación confiable de la magnitud de los impactos de cualquier índole que incidan en el Golfo. Por otro lado, la posibilidad de observar a largo plazo, la evolución temporal de algún tipo de evento, en escala diurna, semanal, mensual o estacional, sólo es posible mediante el uso de dichas imágenes. La relación costo/beneficio es siempre favorable cuando se evalúa la información proporcionada a través de su análisis e interpretación.
86. El Golfo de México es uno de los más importantes (ecológica y económicamente hablando) “grandes ecosistemas marinos” del planeta. La iniciativa *El Golfo de México pasado, presente y futuro*, recientemente impulsada por el Harte Research Institute for the Gulf of México Studies, es un nuevo esfuerzo de colaboración para atraer el enfoque, las preocupaciones y la atención, sobre este único pero a menudo subestimado recurso natural marino-costero. La mejor oportunidad para el uso y la conservación exitosa, sustentable y a largo plazo del Golfo se basa en el desarrollo de colaboración y alianzas entre científicos, administradores, tomadores de decisión política, y la participación pública en los Estados Unidos, México y Cuba. El Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) en México, se ha comprometido con este esfuerzo, reuniendo científicos líderes de los tres países, para integrar el conocimiento actual y priorizar tópicos para la agenda del Golfo de México.
87. La investigación orientada al manejo y desarrollo sustentable en la zona costera del Golfo de México incrementará la capacidad de respuesta de las instituciones y la eficiencia en la toma de decisiones. Es decir, se optimizará el costo-beneficio en el uso racional de los recursos

- naturales.
88. Afrontar la realidad regional a través de sus problemas y prioridades ambientales, contribuye a hacer pertinente y eficiente la investigación científica, a formar recursos humanos con una especialización apropiada, a fortalecer las instituciones académicas, a incrementar la capacidad de gestión del sector oficial, a robustecer los programas de manejo, y a atenuar la incertidumbre del desarrollo social y económico.
 89. Son numerosas las razones para concebir un *consorcio de instituciones* académicas, normativas, y ONG, como una iniciativa de protección regional e internacional del Golfo de México. Aspiración ya mencionada por la *Delta Assembly* de Estados Unidos en 1992; por la Conferencia de Gobernadores del Golfo de México Mex-EE.UU. en 1995 en su primera reunión técnica sobre ecología, salud y medio ambiente, efectuada en el Instituto de Ecología (INECOL A.C); por el Simposio *The Gulf of Mexico. A Large Marine Ecosystem*, NOAA, EE.UU. en 1995. Las instituciones mexicanas están preparadas para dar ese gran paso, tópico de agenda urgente en la presente década.
 90. La Semarnat y el Programa de Recursos Costeros del INECOL A. C., han definido términos de referencia para un Programa de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y mar Caribe (Programa MIZC-Golfo/Caribe), con los siguientes fundamentos: a) la importancia científica, económica, social y geopolítica de la región, b) los acuerdos de México en su agenda nacional e internacional, c) el conocimiento científico sobre vulnerabilidad, integridad ecológica y riesgo costero, e incertidumbre para el desarrollo sustentable, y d) el vínculo entre los sectores académico, social, económico y jurídico normativo, para las entidades federativas mexicanas en la zona costera del Golfo y el Caribe.
 91. Para la formulación, formalización, implementación, evaluación y definición de prioridades del Programa MIZC-Golfo/Caribe, la SEMARNAT y el Programa de Recursos Costeros del INECOL A.C., crearon el instrumento Panel, como una iniciativa regional cuyos talleres han definido la integración como la palabra clave, a través de seis niveles básicos de integración: a) entre sectores (actividades costa/tierra y costa/mar), b) entre el componente terrestre y el acuático de la zona costera, c) entre los tres niveles de gobierno, d) entre los estados y municipios costeros de la región, e) entre disciplinas sociales, económicas, políticas, legales, científicas y tecnológicas, y f) entre las agendas de México y Estados Unidos en el Golfo.

92. En el contexto de vínculo entre las cuencas hidrológicas y la zona costero-marina, son pocos los trabajos que abordan la complejidad ecosistémica que significa la comprensión estructural e impactos, en un espacio donde hay enormes recursos de uso común, que son apropiados como recursos colectivos en forma privada (o para fines públicos en forma excluyente respecto a otros usuarios). Se sugieren indicadores de análisis, así como un catálogo de áreas de intervención para investigaciones regionales más profundas, hacia una aproximación de gestión de recursos, que incorpore entidades federativas, cooperativas, comunidades rurales, empresas e inversiones.
93. En la zona costera del sur de Tamaulipas, los impactos ambientales tienen su principal origen en la falta de planificación del desarrollo bajo consideraciones ambientales, como la carencia de ordenamientos ecológicos del territorio. Las escasas proyecciones sobre la demanda de servicios urbanos y reservas territoriales con vocación para la urbanización, han generado enormes problemas, algunos de ellos muy críticos, como la disposición final de residuos sólidos. La zona ha perdido más del 60% de la cobertura vegetal original, entre ellas extensas zonas de manglar; ya no cuenta con más del 40% de sus marismas y la contaminación del agua y del suelo es actualmente alarmante. Consideramos que esta situación es extrapolable a los otros estados del Golfo de México, en mayor o menor grado.
94. En la zona costera sur de Tamaulipas, la elaboración de un ordenamiento ecológico del territorio, con perspectiva regional, puede ser el instrumento de planeación que apoye a la zona en la búsqueda de un esquema de desarrollo con criterios de sustentabilidad viable a corto, mediano y largo plazos.
95. No existe en la legislación ambiental de México ninguna normatividad para el manejo de playas y dunas costeras. En México apenas se inicia la evaluación del grado de erosión de las playas y lo que ello implica para la estabilidad de las dunas y los proyectos de desarrollo turístico costero. Estos sistemas son muy vulnerables al cambio climático global y al ascenso relativo del nivel medio del mar.
96. Debe ser una prioridad tomar medidas para conservar el funcionamiento de las playas y las dunas costeras, y la estructura funcional de su biodiversidad; crear nuevas áreas naturales protegidas; reglamentar su uso, conservación y manejo; redefinir la zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar, con base en criterios geomorfo-

- lógicos y ecológicos, en función de las diferentes regiones costeras del Golfo de México y su delimitación; identificar áreas vulnerables y de alto riesgo e impulsar los estudios de impacto ambiental específicos para dunas y playas con base a la conservación del funcionamiento y protección de su dinámica costera.
97. A excepción de los manglares, no existe en México una normatividad para el manejo y conservación de los humedales. Secretarías y dependencias gubernamentales de los distintos niveles, con un enfoque productivo, tienen la posibilidad de modificar la hidrología de los humedales, cambiar el uso del suelo, e impulsar programas de producción agrícola, pecuaria o pesquera.
 98. Para la pesca del Golfo de México, es particularmente relevante sustituir el concepto de manejo de pesquerías, por el de aprovechamiento de procesos ecológicos y de ecosistemas. Se requiere promover el aprovechamiento integral, disminuir el desperdicio de más del 30% de la captura, reducir la captura y crear mecanismos que aumenten el valor de la captura, explorar biotecnologías, e instrumentalizar la maricultura, particularmente de recursos tropicales.
 99. Para el recurso pesquero de meros y pargos, además de los métodos convencionales utilizados a la fecha para la protección de estas especies y el manejo de sus pesquerías, la implementación de un método no-convencional como la creación de áreas marinas protegidas (AMP), surge como una opción original, atractiva y prometedora, para asegurar una regulación efectiva de la conservación y aprovechamiento de estas pesquerías renovables.
 100. El colapso de la pesquería del camarón en el Golfo de México se explica por la reducción de la capacidad de pesca, la contaminación, la pérdida restrictiva de áreas de arrastre, las condiciones ambientales y deterioro de hábitats de crianza. A pesar de que estos factores pueden actuar en forma combinada, ejerciendo presión sobre las poblaciones de camarón, el factor pesquero es el determinante en la reducción de las existencias de camarón, lo que condiciona las estrategias futuras para la gestión y manejo de las pesquerías.
 101. Actualmente existe un enorme esfuerzo de gestión y manejo para la protección de las tortugas marinas, con la participación de las instituciones normativas, (la SEMARNAT, la Secretaría de Marina, el sector turismo), diversas organizaciones no gubernamentales y numerosos grupos ambientalistas. No obstante, todavía su accionar es poco eficaz,

normalmente descoordinado, y en ocasiones con gran desconocimiento del ciclo de vida de estos animales, lo que conlleva a que las crías protegidas sean liberadas en tiempos y lugares inadecuados, lo cual reduce sus posibilidades de supervivencia. También hay liberación de crías con fines turísticos y sin estacionalidad climática ni conexión biológica. Adicionalmente, el manejo artificial de los nidos y áreas de protección de crías se lleva a cabo con poca higiene y utilizando alimentación “balanceada”, propiciando que las tortugas liberadas pueda tener muchas limitaciones o ser portadoras de alguna infección inducida. Falta fortalecer prioritariamente el manejo integrado y la protección y conservación de las tortugas marinas.

102. La administración pesquera de bivalvos y gasterópodos es inadecuada en el Golfo de México, por tratarse de una actividad secundaria de la pesca ribereña artesanal y porque se le maneja como grupo faunístico, sin considerar que se trata de especies distintas, con estrategias de vida muy diferentes y requerimientos de hábitats muy diversos. Adicionalmente, son recursos de fácil acceso y muy vulnerables durante los periodos de agregación reproductora, además de altamente susceptibles a la contaminación costera y deterioro de hábitats por erosión y azolves.
103. Para Cuba, es una recomendación prioritaria promover la ejecución de un programa regional integrado, encaminado a la evaluación general del estado actual de la biodiversidad costero-marina de su región noroccidental para establecer la distribución de los hábitats principales, detectar las amenazas debidas al impacto de las actividades humanas, recomendar normas de uso y conservación de recursos naturales, y proteger y utilizar racionalmente especies de interés comercial actualmente utilizadas y amenazadas a futuro.
104. Históricamente, el manejo del río Misisipi y su delta ha tenido una orientación socioeconómica para la navegación y control de inundaciones, con múltiples regulaciones de agencias federales, estatales y locales, lo que ha dado como resultado una desorganización, desarticulación y manejo contradictorio e inefectivo.
105. Actualmente el manejo de la zona costera de Luisiana se está revertiendo, a partir de la legislación de 1990 (*Breaux Act*) *The Coastal Wetlands Planning, Protection and Restoration Act*. Conforme a este marco jurídico se están desarrollando diversos proyectos de restauración, siendo actualmente el más exitoso la recuperación de la deriva

- natural del río. Sin embargo, el éxito no estará asegurado si no se considera un manejo sustentable integrado, con los siguientes puntos: 1) modificar el enfoque inicial de navegación y control de inundaciones, incluyendo ahora la protección de los humedales con la misma prioridad, 2) derivar el cauce natural del río hacia los humedales deteriorados y el aporte de agua y sedimentos, lo que ayudará sustancialmente a la restauración, 3) utilizar las entradas naturales de energía al sistema (*i.e.*, cauce del río y mareas) para la restauración de humedales, y 4) diseñar arreglos institucionales comprensivos, para: i) incrementar el intercambio de información entre los diferentes sectores de usuarios (*i.e.*, propiedad privada de la tierra, pescadores, industriales) y las múltiples agencias gubernamentales, para fortalecer la comprensión del complejo funcionamiento del sistema costero y las consecuencias de las opciones de manejo alternativo, ii) favorecer los estudios holísticos, más que disciplinarios, sobre las causas de la pérdida de humedales, deterioro de la calidad del agua, y relación entre la dinámica natural del sistema y las actividades económicas, y iii) considerar los impactos acumulativos y a largo plazo, en las decisiones de manejo del delta del Misisipí.
106. Las áreas prioritarias costero-marinas del Golfo de México, para su gestión ambiental deben considerar programas de monitoreo de las comunidades plantónicas, bentónicas y nectónicas, su biodiversidad y estructura funcional en la salud del ecosistema.
 107. Se requiere identificar especies y técnicas que permitan el monitoreo rápido y permanente de ecosistemas, hábitats y poblaciones. Se pueden usar valores de los componentes sanguíneos como base para determinar los cambios en el estado nutricional y en el estado de salud de las poblaciones silvestres de camarones de la región. Esos resultados permiten proponer a *Litopenaeus setiferus* como una especie centinela, no controversial y de bajo costo para el monitoreo ambiental de los cambios potenciales que las actividades humanas pudieran ejercer en estos ecosistemas.
 108. Hay suficiente información sobre el recurso camarón para sostener que las diferentes especies poseen un potencial reproductivo que puede permitir su recuperación en el mediano plazo, siempre y cuando las estrategias de gestión y manejo sean adecuadas, y se considere el mantenimiento de la población reproductora a través de un balance de la mortalidad por pesca ejercida por los diferentes actores de la

pesquería, a lo largo del ciclo de vida del camarón, asegurando la viabilidad de la población.

IV. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y AREAS DE ATENCIÓN PRIORITARIA

109. De continuar la tendencia de cambio climático en el Golfo de México, humedales, planicies costeras, islas de barrera, bocas estuarinas, dunas y playas, entre otros hábitats críticos, mostrarán deterioro, erosión e inundaciones.
110. Los principales problemas a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: a) pérdida de hábitats críticos, b) contaminación de agua y sedimentos, c) aumento de turbidez y nutrientes, d) reducción en la descarga de agua dulce y su calidad a la llanura costera y al mar, e) alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión entre los humedales y el mar, f) erosión litoral, g) pérdida de biodiversidad, y h) deterioro a la salud pública.
111. La PROFEPA ha detectado como las principales afectaciones al medio ambiente costero-marino: a) modificación y destrucción del hábitat, por los grandes desarrollos inmobiliarios turísticos, que incluyen hoteles, condominios, fraccionamientos y campos de golf, b) destrucción de la línea de costa, dunas y ecosistemas adyacentes, por marinas, muelles, espigones, deportes acuáticos, cuatrimotos areneras, c) deforestación y tráfico ilegal de madera en ambientes costeros, d) captura y tráfico ilegal de especies marinas protegidas, como mamíferos y quelonios, e) tráfico ilegal de especies terrestres protegidas de fauna y flora, f) introducción de flora y fauna no nativa, g) colisiones de barcos o anclas contra arrecifes coralinos, h) descarga de contaminantes al mar y al subsuelo, i) emisiones contaminantes a la atmósfera, por calderas, chimeneas industriales, j) manejo inadecuado de combustible y residuos, por sistemas de contención de derrames, separación de residuos, sustancia para lavar cloro y k) elevado consumo de energía y agua.
112. Las mediciones permanentes del impacto ambiental por las actividades antropogénicas sobre la cuenca marino-costera del Golfo de México se realizan con bastante certeza y desde hace bastante tiempo. No obstante, hace apenas poco más de una década que se reconoce la importancia de las interrelaciones entre las causas originales de los impactos signifi-

- cativos, desde las cuencas hidrológicas y hasta la zona costero-marina.
113. En el caso de la región noroccidental de Cuba, la contaminación se circunscribe a porciones limitadas de la costa; sin embargo, puede llegar a ser muy severa. Es notorio el impacto de una ciudad grande y diversos desarrollos industriales en el caso de Bahía de La Habana con el puerto más importante del país. El impacto de las aguas de la bahía está bien documentado en estudios sobre la fauna marina. Existe un programa gubernamental para el saneamiento de esta zona pero se requiere fortalecer un programa de monitoreo ambiental. Varios ríos de la región se encuentran contaminados, principalmente los que atraviesan la ciudad de La Habana y zonas adyacentes.
 114. Las presiones ambientales en la zona costera de Luisiana se atribuyen principalmente al impacto de actividades humanas, como: 1) construcción de bordos a lo largo del curso del río Misisipí, evitando el derrame natural del río sobre los humedales asociados, 2) alteración hidrológica masiva dentro del delta debido a la navegación, drenaje y construcción de infraestructura relacionada al desarrollo energético, incluyendo construcción de canales y provocando intrusión salina, erosión costera y exposición de la línea de costa, y 3) represas para actividades económicas humanas
 115. El delta del Misisipí ha estado sujeto a múltiples presiones ambientales (*stress*), incluyendo: 1) alta tasa de ascenso relativo del nivel medio del mar (más de 10 mm/año), 2) alta tasa de pérdida de humedales (más de 100 km²/año), 3) deterioro de la calidad del agua (altos niveles de contaminación orgánica e inorgánica) y 4) hipoxia sobre la plataforma continental nerítica (18 a 20,000 km² de “zona muerta”).
 116. La erosión o el asolve de las playas en el Golfo de México (por factores naturales o antrópicos) es un problema muy importante relacionado con el suministro de sedimentos, el relieve de las playas, el ascenso relativo del nivel del mar debido al cambio climático global, y cambios en las variaciones de energía relacionados con el movimiento de los sedimentos.
 117. En términos de circulación oceánica y costera, la presencia de huracanes y los vientos del norte, producen en verano e invierno un intenso oleaje en el norte de la Península de Yucatán, condicionando una pérdida de sedimentos litorales, vulnerando las playas de la región. Por otra parte, a lo largo de todo el litoral del Golfo, se requiere de estudios profundos de oleaje y de estructura vertical de las corrientes y su efecto sobre la resuspensión y el transporte de sedimentos.

118. La contaminación, especialmente la de fuentes terrestres se ha incrementado generando regiones desérticas y anóxicas en la zona costera del Golfo de México.
119. La eutrofización se liga directamente con el incremento de hipoxia y el florecimiento de algas tóxicas, así como un incremento de bioacumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos nocivos en los niveles tróficos superiores de la trama trófica costera. Por la magnitud de las interacciones ecológicas estuario-mar, la superficie de la cuenca de drenaje, el uso de agroquímicos en la llanura costera, la extensión de la pluma estuarina, la circulación litoral, la profundidad de la plataforma continental nerítica, y los ambientes sedimentarios terrígenos, *hipotéticamente* en la región que va desde la Laguna de Alvarado y el delta del Papaloapan hasta los Pantanos de Centla y la Laguna de Términos y el delta del Grijalva/Usumacinta, se encuentra la plataforma continental nerítica con mayor potencial a presentar hipoxia importante en el corto plazo. Urge su estudio.
120. Los síntomas del proceso de eutrofización se reflejan en el aumento de concentración de clorofila-*a*, disminución en la concentración del oxígeno disuelto, florecimiento de algas nocivas, y reducción de la cobertura de vegetación acuática sumergida, entre otros. Existe evidencia de esto para la zona costera en la Península de Yucatán, con registros de mareas rojas, pérdida de pastos marinos, intoxicaciones humanas por consumo de productos del mar, e incluso el cierre de playas a la actividad turística. Los resultados indican que los síntomas del proceso de eutrofización se reflejan a diferentes escalas espaciales y temporales, y es fundamental definir los indicadores, tanto para los diferentes componentes bióticos del ecosistema, como para los distintos tipos de ecosistemas costeros.
121. Debe ser una prioridad la investigación básica de los factores que favorecen la eutrofización en cada tipo de ecosistema costero del Golfo de México, complementado con un vigoroso programa de monitoreo de los principales indicadores de este proceso, con el propósito de dar seguimiento al diagnóstico obtenido y sugerir medidas de mitigación.
122. Dada, por una parte, la relativa frecuencia y regularidad de los giros oceánicos (ciclónicos fríos y con mayor contenido de nutrientes de Yucatán; y ciclónicos-anticiclónicos, este último caliente y con menor contenido de nutrientes, frente a Laguna Madre de Tamaulipas, respectivamente), y por otra, el efecto de afloramiento dinámico en la

- Península de Yucatán con mayor contenido de nutrientes, representa una prioridad establecer programas de monitoreo físico químico, circulación, temperatura, nutrientes y carga orgánica, así como hidrocarburos, pesticidas y bacterias, frente a las descargas fluviales, lo cual permite entender la circulación litoral y registrar cambios en la calidad del agua.
123. Los niveles de metales, como Pb, Cr, Cd y Ni, muestran tendencia a aumentar de forma considerable, originando diversos problemas de contaminación en los litorales del Golfo de México, principalmente en cuerpos de aguas semicerrados como bahías, estuarios y lagunas costeras. Las concentraciones de Cd Pb y Cr se han incrementado hasta en dos órdenes de magnitud, con respecto a los niveles reportados en las dos últimas décadas. Estas concentraciones son mayores a las dadas a conocer por otros autores como tóxicas para los organismos, y ocasionan daños a las pesquerías importantes en la zona costera, como el ostión *Crassostrea virginica* en lagunas costeras de Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas.
 124. El deterioro de las pesquerías de *Crassostrea virginica*, contaminadas por metales como Pb, Cr, Cd y Ni, ocasiona enormes daños a la economía de núcleos de pobladores ribereños dedicados a la producción y captura de estos recursos pesqueros. Esto es consecuencia de la ausencia de programas efectivos de vigilancia de la contaminación y control de calidad sanitaria, y sobre todo por la carencia de normas mexicanas que regulen las concentraciones permisibles de metales en agua, sedimentos y organismos.
 125. Hay muy poca información científica publicada sobre el efecto de la presencia de hidrocarburos en los organismos marinos, o la salud de los ecosistemas; pero paradójicamente, hay mucha información contenida en informes técnicos de proyectos auspiciados por PEMEX y realizados por distintas instituciones. Algunas de las concentraciones reportadas de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos de lagunas costeras sobrepasan los valores considerados como altos para el norte del Golfo de México, e incluso rebasan la concentración "criterio" de la NOAA. Pero en la Sonda de Campeche las concentraciones reportadas son bajas. La información disponible sugiere que en algunos casos las concentraciones de hidrocarburos son altas, pero no existe suficiente información para determinar si hay efectos nocivos sobre el ambiente o la salud humana.
 126. Aún cuando desde los años 1970 ha disminuido la producción de

petróleo y gas en humedales y aguas protegidas de la zona costera de Luisiana, paradójicamente se ha incrementado el volumen de petróleo y gas transportado a través de los humedales y desde la plataforma continental, hacia el Súper Puerto de Luisiana. Por lo tanto, los impactos ambientales negativos sobre los humedales costeros (por actividades relacionadas con la energía), continúan aún cuando ha disminuido la producción de petróleo y gas.

127. La vulnerabilidad de los sistemas arrecifales del Golfo de México determina recomendar: a) que no aumente la intensidad de los impactos directos e indirectos de origen local, que actualmente afectan la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina, b) reducir la magnitud de esos impactos a través de la aplicación estricta de las regulaciones existentes, y c) impedir efectivamente la generación de nuevos impactos o nuevos efectos de antiguos impactos que, potencialmente o efectivamente, puedan afectar la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita la plataforma continental nerítica del Golfo.
128. La vulnerabilidad de las comunidades bentónicas se asocia con frecuencia a los ciclones de verano, fragmentación de hábitats y perturbación de la heterogeneidad espacial. Normalmente, la recuperación de la comunidad se da en escala decadal. Otras perturbaciones por fenómenos naturales como los frentes fríos anticiclónicos, eventos como El Niño, La Niña, o la Oscilación del Atlántico están siendo apenas exploradas. Las perturbaciones de fuentes antrópicas son: exceso de nutrientes por ríos y su relación con hipoxia y anoxia en la zona costera, reducción de sedimentos por presas, destrucción de manglares y pastos marinos, bioacumulación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, dragado de sedimentos y relleno de humedales costeros. La recuperación de las comunidades es todavía más lenta.
129. Debido a sus características biológicas complejas, las especies de meros y pargos son muy sensibles a los altos niveles de presión pesquera y resultan particularmente susceptibles de alcanzar niveles de sobre explotación actual en la zona costera del Golfo de México. Desde Estados Unidos hasta el sur del Golfo de México se les considera como sobreexplotados y aprovechados al máximo sustentable. Son un recurso multispecífico en alto riesgo.
130. En el Golfo de México la pesca se realiza en todos los ámbitos y ecosistemas prácticamente sin una regulación adecuada. Persiste el concepto de que la pesca es inacabable, que se requiere invertir y que la

- pesca artesanal es sobre partes insignificantes de la población explotable. Falta conocimiento sobre la genética de poblaciones y se subvalora la estructura poblacional en las lagunas costeras como parte de la interconectividad ecológica entre las aguas protegidas y el mar.
131. El recurso camarón del Golfo de México se encuentra en riesgo. El incremento descontrolado del esfuerzo pesquero, particularmente en las pesquerías artesanales, está ocasionando una sobrepesca del crecimiento y sobrepesca del reclutamiento del camarón blanco *Litopenaeus setiferus* y el camarón rosado *Farfantepenaeus duorarum*, con un colapso de estas poblaciones en Campeche. El camarón café *Farfantepenaeus aztecus*, aún cuando tiene poblaciones en mejores condiciones, también muestra una tendencia sostenida de disminución de la captura total anual.
 132. En sus áreas de distribución, desde Nueva York hasta la plataforma continental nerítica frente a Laguna de Términos, el camarón blanco *Litopenaeus setiferus*, está expuesto a diferentes presiones ambientales (i.e., pesca excesiva, contaminación por pesticidas y efectos diversos de la industria petrolera), las cuales son intensas en la zona sur de su distribución en la Sonda de Campeche. Indicadores sanguíneos en estas poblaciones reflejan el estado nutricional, fisiológico e inmunológico en el sur del Golfo de México.
 133. La introducción de especies exóticas es poco controlada y sus efectos están débilmente documentados en el Golfo de México.

LA HIDRODINÁMICA DEL GOLFO DE MÉXICO

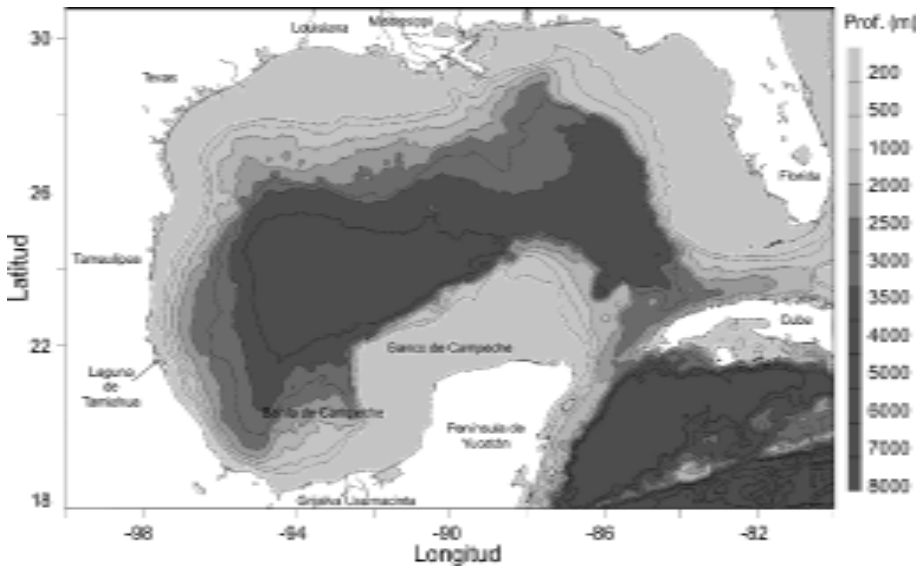
*María Adela Monreal-Gómez, David Alberto Salas-de-León
y Habacuc Velasco-Mendoza*

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México, ubicado en la zona subtropical, es una cuenca semi-cerrada que se comunica con el mar Caribe y el Océano Atlántico a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de Florida, respectivamente. El Golfo presenta una batimetría muy variable (figura 1): el Canal de Yucatán en su parte occidental tiene una plataforma continental angosta de apenas 2 km mientras que al norte de la Península de Yucatán presenta un ancho de 250 km. El Banco de Campeche, definido desde la parte oriental de la Laguna de Términos hasta Isla Mujeres, es muy extenso y tiene un fondo con una pendiente muy suave, el talud es pronunciado y aproximadamente uniforme, excepto en la zona del Cañón de Campeche. La plataforma frente a Veracruz y Tamaulipas es muy estrecha, y se ensancha frente a Texas-Luisiana continuando hasta Florida. En el centro del Golfo la profundidad es cercana a los 3,600 m.

Debido a su ubicación, durante el invierno el Golfo es influenciado por las masas de aire frío y seco que provienen del continente (Canadá, Estados Unidos de América y México) las cuales al encontrarse con las masas de aire propias del Golfo, de origen marítimo y tropical, provocan fuerte frontogénesis o frentes fríos principalmente de octubre a abril (Tapánes y González-Coya 1980: 337). La presencia de un frente frío en el Golfo produ-

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN Y BATIMETRÍA (M) DEL GOLFO DE MÉXICO



ce vientos que soplan de norte a sur, conocidos localmente como Nortes, que alcanzan los 30 m s^{-1} . El frente frío genera vientos intensos y descenso de temperatura del aire que al encontrarse con las masas de aire cálido y húmedo forman nubes que pueden provocar lluvias invernales. La extensión de los Nortes varía de un año a otro, principalmente entre años “normales” y años con presencia del fenómeno de El Niño. Durante los años que se hace presente dicho fenómeno, los Nortes son menos frecuentes, más intensos y llegan más al sur. En el verano el Golfo es influenciado por tormentas tropicales, de las cuales el 60% alcanza intensidad de huracán. En general, septiembre es el mes que presenta el mayor número de tormentas.

Estas características meteorológicas sobre el Golfo de México influyen no solamente la zona costera, debido a la descarga de agua dulce, sino que modifican también la posición de la termoclina haciéndola más profunda e influyen en la circulación en general.

Las técnicas que se han empleado para detectar las principales características de la circulación en el Golfo han sido muy diversas, entre otras se

pueden mencionar la utilización de datos hidrográficos *in situ*, de modelos numéricos y de imágenes de satélites de altimetría y de temperatura superficial del océano.

MASAS DE AGUA

En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua, las cuales entran al Golfo de México a diferentes profundidades: el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe ($AS_{t_s}C$) se encuentra en la capa superior, a mayor profundidad llega el Agua Intermedia Antártica (AIA) y en la capa de fondo se presenta el Agua Profunda Noratlántica (APNA). Sin embargo, dentro del Golfo se ha reportado un número mayor de masas de agua (figura 2); ya que una vez que el $AS_{t_s}C$ se encuentra en el Golfo, esta puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos nuevas masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México ($AS_{t_s}GM$) y el Agua Común del Golfo (ACGM).

El $AS_{t_s}C$ es cálida y salina con valores de temperatura y salinidad alrededor de 22.50 °C y 36.60 UPS, respectivamente (figura 2). Al llegar al Golfo de México a través del Canal de Yucatán, forma la Corriente de Lazo que frecuentemente encierra un giro anticiclónico, que fluye en dirección de las manecillas del reloj.

El $AS_{t_s}GM$ se forma adentro del Golfo durante el invierno, cuando el paso de los frentes fríos atmosféricos produce una mezcla convectiva en la capa de los 200 m, lo que provoca la disminución de salinidad y pérdida de calor sensible y latente, transformando el agua del núcleo de los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo en agua de menor temperatura y salinidad, con valores alrededor de 22 °C y 36.40 UPS.

El ACGM, también se forma dentro del Golfo mediante dos mecanismos principales; cuya característica común, es el iniciar con $AS_{t_s}C$. Durante los meses de invierno se produce un enfriamiento y consecuentemente una mezcla convectiva (Elliott 1982: 1301), formando así el ACGM. Sin embargo, esta mezcla sólo afecta la capa superior, por lo que el mecanismo más importante en la formación de esta masa de agua es la colisión del giro anticiclónico con el talud y la plataforma continental de Tamaulipas (Vidal *et al.* 1992: 2155; Vidal *et al.* 1994a: 571). Este choque del giro anticiclónico en el talud y en la plataforma origina una zona de divergencia y convergencia horizontal, donde se produce una dilución del agua subtropical con agua de salinidad menor a 36.30 UPS, la cual se localiza arriba de la termoclina

principal. El ACGM tiene salinidad y temperatura alrededor de 36.40 UPS y 22.5 °C respectivamente, y conforma el 4.83% del agua que se encuentra en el Golfo de México.

El AIA tiene su origen en el límite ente los frentes polares antárticos; después de formarse viaja hacia el norte cerca del talud continental del Atlántico occidental, y en su trayecto va cambiando levemente sus características y su extensión. En la parte oriental del mar Caribe, esta agua se encuentra entre 700 y 900 m, con salinidad de 34.75 UPS, en el Caribe central se distribuye entre 650 y 850 m, con salinidades mayores a 34.80 UPS. Al llegar al Canal de Yucatán presenta temperatura de 6.3 °C y una salinidad alrededor de 34.86 UPS, y se localiza entre 700 y 950 m. En el centro del Golfo de México esta agua se caracteriza por tener un valor de salinidad de 34.88 y se encuentra entre 700 y 850 m. Esta masa de agua se identifica por el mínimo de salinidad en el Golfo, con temperaturas de 6.1-6.3 °C y salinidades entre 34.86 y 34.89 UPS.

El giro anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo mueve el remanente del AIA hacia las costas de Tamaulipas; esto ocurre a una profundidad entre 700 y 1,100 m; esta agua sale en pequeñas cantidades a través del Estrecho de Florida. El volumen del AIA representa el 73.71% del agua del Golfo de México.

La formación del APNA tiene lugar principalmente en latitudes altas, donde el agua de alta densidad se hunde y llena el fondo de las cuencas con aguas frías.

La figura 2 muestra un diagrama T-S de mediciones que se llevaron a cabo en la Bahía de Campeche en verano de 1996 y en primavera y verano de 1997. Los registros se realizaron en la capa de 1,000 m. Las bajas salinidades se registraron frente al sistema Grijalva-Usumacinta, donde la variación de la temperatura entre las diferentes épocas es considerable.

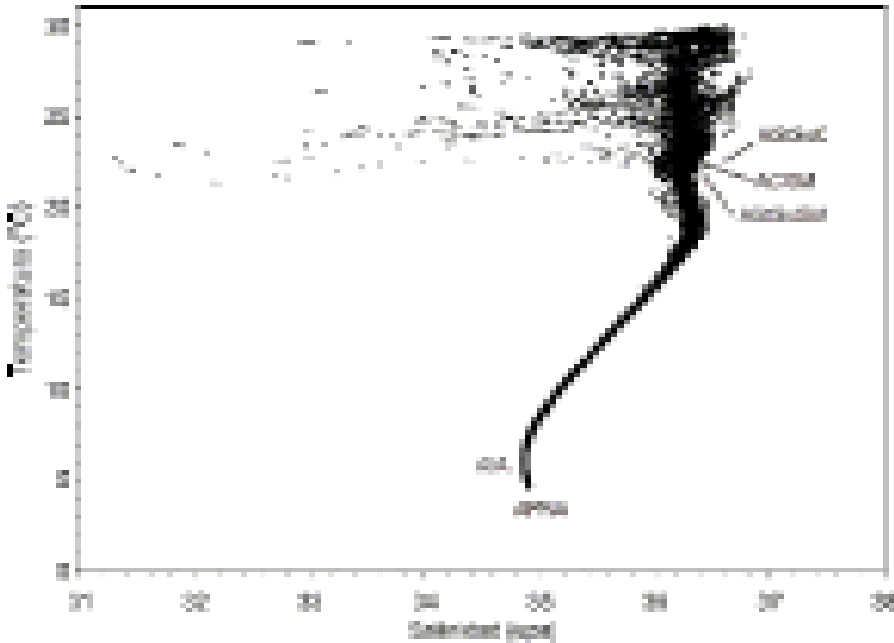
La distribución vertical de estas masas de agua es tal, que el agua Subtropical Subsuperficial y el Agua Común del Golfo se encuentran en la capa superior de los 250 m. En la capa intermedia se encuentra el remanente del Agua Intermedia Antártica, y a mayores profundidades el Golfo es ocupado por Agua Profunda Noratlántica.

CIRCULACIÓN

El sistema de corrientes en el Golfo de México se origina en el Mar Caribe. La circulación de mayor escala en el Golfo es dominada por la Corriente de Lazo que une la Corriente de Yucatán con la Corriente de Florida, por un

FIGURA 2. MASAS DE AGUA EN EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO.

AGUA SUBTROPICAL SUBSUPERFICIAL DEL CARIBE ($AS_{TS}C$), AGUA SUBTROPICAL SUBSUPERFICIAL DEL GOLFO DE MÉXICO ($AS_{TS}GM$), AGUA COMÚN DEL GOLFO (ACGM), AGUA INTERMEDIA ANTÁRTICA (AIA), AGUA PROFUNDA NORATLÁNTICA (APNA)



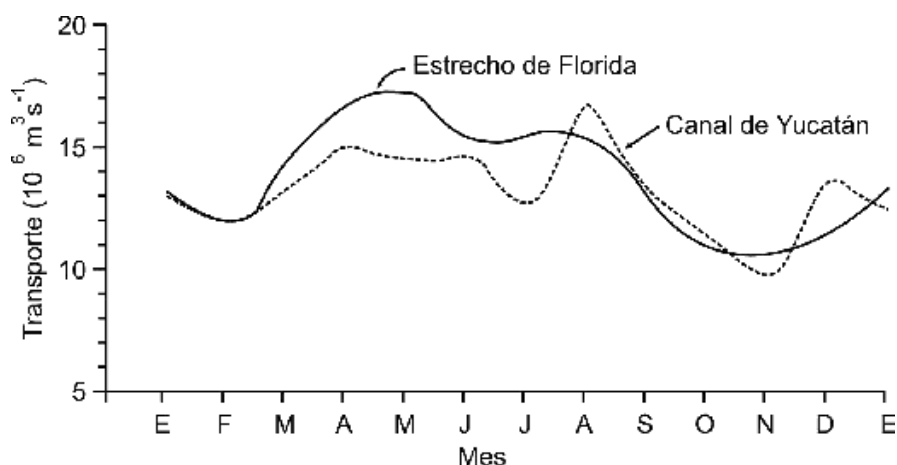
gran giro anticiclónico que se desprende de la corriente de Lazo y viaja hacia el oeste como una onda de Rossby y la corriente de frontera oeste. Además de esas características cuasi permanentes, existen grandes zonas con circulación ciclónica, como la plataforma continental de Texas-Luisiana (Cochrane y Kelly 1986: 10655, Hamilton 1992: 2193), la plataforma oeste de Florida y en la Bahía de Campeche (Monreal-Gómez y Salas-de-León 1990: 102).

Existen rasgos hidrográficos de menor escala pero de gran importancia para el Golfo, como la surgencia topográfica estacional en el margen oriental de la plataforma de Yucatán y el frente halino debido a la descarga del sistema Grijalva-Usumacinta, entre otros.

Se han elaborado varias hipótesis para explicar cada una de las características de la circulación en el Golfo. Sin embargo, la mayoría de los estudios coinciden en que el flujo que entra a través del Canal de Yucatán y que sale a través del Estrecho de Florida es el principal mecanismo de forzamiento de la circulación.

El flujo que entra a través del Canal de Yucatán varía a lo largo del año, teniendo sus máximos en primavera y verano (figura 3). Si bien en la capa superior de los 500 m se ha reportado un flujo promedio de $14 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, el flujo total en las fronteras abiertas se ha estimado en $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Schmitz y Richardson 1968: 692). La primera respuesta de la circulación a la variación temporal del flujo que pasa a través del Canal de Yucatán se manifiesta como la variación en la intensidad, dirección y extensión de la corriente de Yucatán, en la penetración de la Corriente de Lazo y en la formación de giros anticiclónicos y ciclónicos.

FIGURA 3. TRANSPORTE GEOSTRÓFICO A TRAVÉS DEL CANAL DE YUCATÁN Y DEL ESTRECHO DE FLORIDA EN LA CAPA SUPERIOR DE LOS 500 M



Fuente: según Molinari *et al.* 1978: 994.

LA CORRIENTE DE LAZO

El Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASSC) con alto contenido de sal y calor, entra al Golfo a través del Canal de Yucatán y se mueve en el sentido de las manecillas del reloj (anticiclónicamente), observándose una corriente en forma de lazo hasta el Estrecho de Florida (figura 4).

Las variaciones en el transporte a través de las fronteras abiertas, conjuntamente con la variación del ángulo de incidencia de la corriente de Yucatán han sido consideradas como responsables de la trayectoria y extensión de la Corriente de Lazo, la cual presenta la intrusión máxima en verano y la mínima en invierno (Leipper 1970: 648, Molinari y Morrison 1988: 10,651). Lo anterior es un promedio del comportamiento de la Corriente de Lazo ya que su trayectoria e intensidad tienen una gran variabilidad estacional y anual.

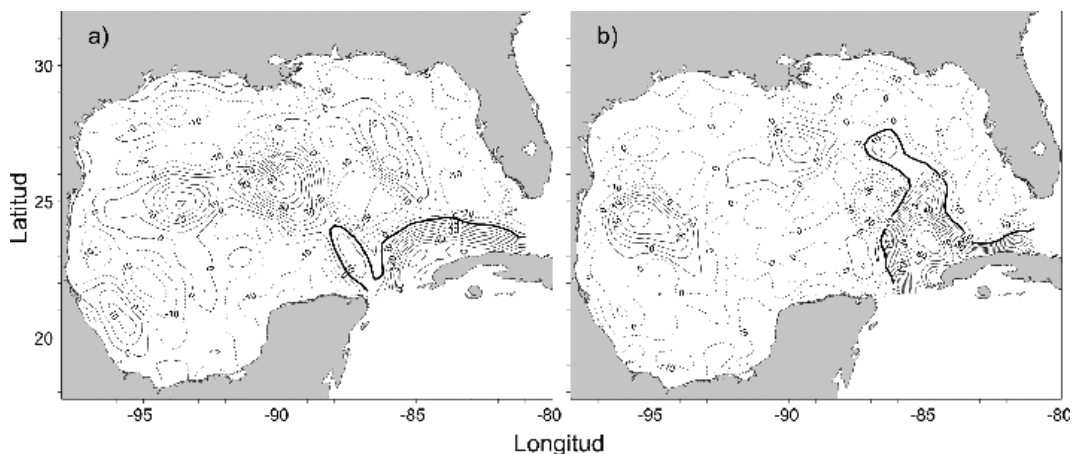
Las imágenes de altimetría que muestran la anomalía de la superficie del mar (*Sea Surface Height*, o SSH), revelan la extensión de la Corriente de Lazo el 15 de abril (figura 4a) y el 15 de agosto (figura 4b) de 2002. Las isolíneas con valores positivos de SSH representan una circulación anticiclónica, mientras que los valores negativos se encuentran en zonas de circulación ciclónica (en sentido contrario de las manecillas del reloj). En la figura correspondiente a abril se puede observar que se desprendió un giro anticiclónico, quedando la Corriente de Lazo confinada a la región próxima a Cuba. Entre la corriente de Lazo, el giro anticiclónico y la plataforma de Florida existe un giro ciclónico y un giro anticiclónico de forma elíptica. En la plataforma de Yucatán se observa una corriente de tipo ciclónica. En agosto la penetración de la Corriente de Lazo llegó hasta los 27 °N, el gran giro anticiclónico se encuentra frente a la plataforma de Tamaulipas. Al oeste de la Corriente de Lazo es notable un giro ciclónico intenso, al igual que en la Bahía de Campeche y en las Plataformas de Florida y de Texas-Luisiana. Es interesante notar que en agosto la mayoría del Golfo tiene SSH negativas debido a que en los meses anteriores se presenta un menor flujo que entra a través del Canal de Yucatán (figura 3); en agosto se tiene el máximo del flujo de entrada generando una Corriente de Lazo intensa; sin embargo, este efecto aún no se nota en el resto del Golfo. En abril se observan más áreas con circulación anticiclónica, probablemente debido a que de febrero a abril se presenta un incremento en el flujo de masa que entra a través del canal de Yucatán, llegando al máximo secundario en abril

(figura 3); este incremento paulatino permite el “llenado” del Golfo y la gran cantidad de regiones positivas de SSH (figura 4a).

La variabilidad de la Corriente de Lazo depende de diversos factores, entre otros se puede mencionar la variación del parámetro de Coriolis con la latitud (efecto- β) (Hurlburt y Thompson 1980: 1,618), la inestabilidad barotrópica, la estratificación y la inestabilidad baroclínica, variaciones del flujo a través de las fronteras abiertas y variaciones en el ángulo de incidencia de la Corriente de Yucatán.

FIGURA 4. ALTURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR (CM) TOPEX/ERS-2.

A) 15 DE ABRIL, B) 15 DE AGOSTO DE 2002



La intrusión de la Corriente de Lazo en latitudes mayores a los 27 °N y la presencia de meandros a ambos lados del lazo favorecen el estrangulamiento de esta corriente y el desprendimiento de núcleos cálidos de alta salinidad (Elliott 1982: 1295).

CORRIENTE DE FRONTERA OESTE, GIROS CICLÓNICOS Y ANTICICLÓNICOS

Existe una corriente muy intensa hacia el norte en la costa oeste del Golfo de México, la cual es una repuesta de la circulación a la variación del parámetro de Coriolis con la latitud (Monreal-Gómez 1986: 121). A este tipo de corriente se le denomina *corriente de frontera oeste*. Sturges y Blaha (1976: 369) propusieron para esta corriente el nombre de Corriente mexicana y mencionaron que es similar y casi tan importante como la Corriente del Golfo (*Gulf Stream*). Estos autores consideran que los vientos son favorables a esta corriente y que la extensión del Golfo no es una limitante para que exista. Sin embargo, no es solamente el viento el mecanismo de formación de dicha corriente, también el flujo a través del Canal de Yucatán contribuye a su formación (Monreal-Gómez 1986: 161).

El desprendimiento del giro anticiclónico a partir de la Corriente de Lazo se ha asociado a la variación del flujo a través del Canal de Yucatán, en particular al máximo de la intrusión de la corriente de Lazo. Estos eventos se presentan con intervalos entre 3 y 25 meses, por lo que no es posible hablar de un período promedio y debe admitirse su alta variabilidad, lo que le confiere una característica de un proceso recurrente pero aperiódico.

Una vez que se desprende el giro anticiclónico de la Corriente de Lazo se propaga hacia el oeste (Hurlburt y Thompson 1980: 1646) con una velocidad de traslación que va de 2.1 a 4 km día⁻¹ (Johnson *et al.* 1992: 2,212), alcanzando la frontera oeste del Golfo al cabo de varios meses. En su desplazamiento hacia el oeste los anticiclones sufren cambios en tamaño y forma disminuyendo su radio y excentricidad debido a la disipación y dispersión de energía, por lo que el giro anticiclónico en el oeste es considerado como un remanente de aquel que se desprende de la Corriente de Lazo. El talud continental produce la desintegración del anticiclón dando origen a la formación de giros más pequeños o secundarios (Lewis *et al.* 1989: 8,166), los cuales son ciclónicos y anticiclónicos. El choque del anticiclón con el talud continental da origen a la masa de Agua Común del Golfo.

Los giros anticiclónicos que viajan hacia el oeste encierran agua cálida y salina y transportan energía de este a oeste del Golfo, son muy energéticos y en el oeste se localizan en la banda entre 22 y 27°N con un diámetro promedio de 300 km.

En ambos lados de la Corriente de Lazo, entre el Banco de Campeche y la plataforma oeste de Florida, se forman meandros que llegan a generar cir-

culación ciclónica que más tarde se transforma en pequeños giros ciclónicos, y cuando estos llegan a unirse provocan el estrangulamiento de la Corriente de Lazo y el desprendimiento de los giros anticiclónicos.

Las plataformas continentales de Texas-Luisiana y del oeste de Florida así como de la Bahía de Campeche son zonas donde frecuentemente se presentan giros ciclónicos con diámetros de aproximadamente 150 km. Se han propuesto varios mecanismos de formación de dichos giros, entre otros, el rotacional ciclónico del esfuerzo del viento (Vázquez de la Cerda 1993: 54), el encuentro de los giros anticiclónicos con el talud continental en el oeste del Golfo (Smith 1986: 1,262, Vidal *et al.* 1994b: 7,594), la formación del gran giro anticiclónico y la geometría de la costa.

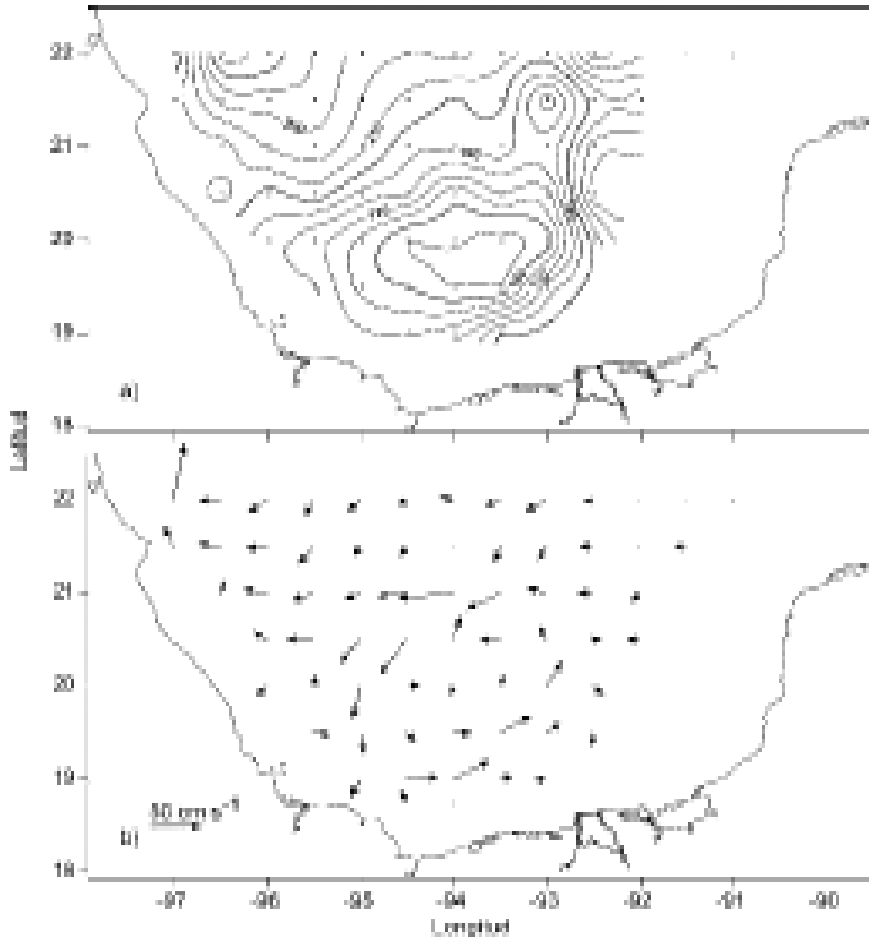
El gran giro anticiclónico que viaja hacia el oeste se encuentra con el talud continental, cede aproximadamente un tercio de su masa y transfiere momento angular, dando origen a dos giros ciclónicos, uno al norte y otro al sur del gran anticiclón. Se ha observado que la velocidad tangencial del anticiclón es de 30 cm s^{-1} y de 60 cm s^{-1} para los ciclónicos (Vidal *et al.* 1994b: 7,573).

Hamilton (1992: 2197) estudió los giros al norte del gran giro anticiclónico próximos a los 92°W , y encontró que tienen diámetros entre 100 y 150 km y velocidades de 30 y 50 cm s^{-1} .

El análisis de la topografía de altura dinámica realizados por Nowlin (1972: 7) puso en evidencia el carácter ciclónico de la circulación en la Bahía de Campeche, que se ha asociado con el rotacional ciclónico del esfuerzo de viento (Vázquez de la Cerda 1993: 54). Así mismo, el patrón de circulación simulado mediante un modelo de gravedad reducida muestra la formación del giro ciclónico y su traslación hacia el oeste como resultado de la topografía en la bahía, y de la variación en la intensidad de la Corriente de Yucatán (Monreal-Gómez y Salas de León 1990: 109); esta circulación también se refleja en la distribución de la anomalía de la piconclina, con un afloramiento de ésta en el centro del giro (Monreal-Gómez 1986: 122).

Durante la campaña oceanográfica que se llevó a cabo del 14 de agosto al 1 de septiembre de 1996 en la Bahía de Campeche, se observó un giro ciclónico de mesoescala, el cual se evidencia mediante la forma de la topografía de la isoterma de 15°C (figura 5a) y la circulación geostrófica (figura 5b). Se observa un afloramiento de la isoterma al sur de los 20.5°N y un hundimiento en la región noroeste de la bahía; esta superficie isoterma va desde los 140 hasta 260 m. El patrón de circulación geostrófica muestra el giro ciclónico con velocidades próximas a 40 cm s^{-1} en la periferia, y la parte sur del gran giro anticiclónico en la zona noroeste de la bahía, con velocidades de aproximadamente 30 cm s^{-1} .

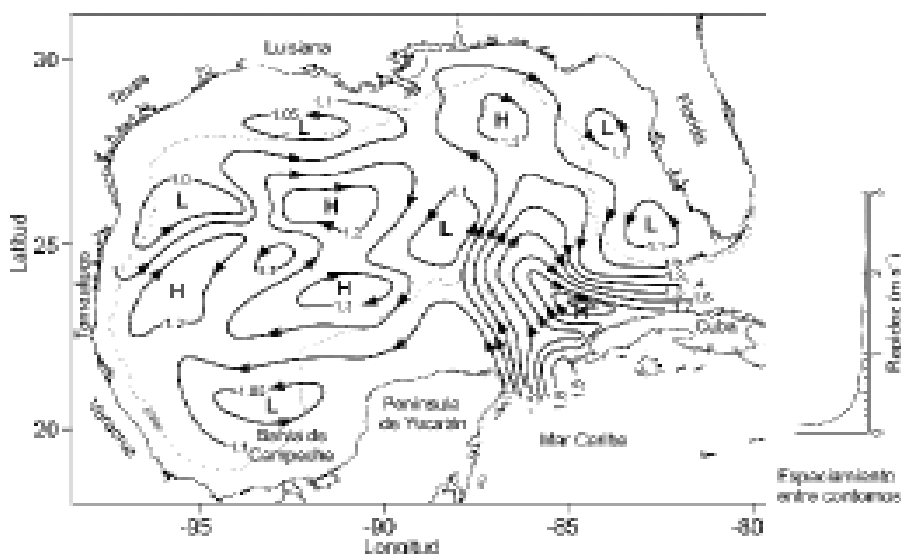
FIGURA 5. CIRCULACIÓN EN LA BAHÍA DE CAMPECHE A FINES DEL VERANO DE 1996. a) TOPOGRAFÍA DE LOS 15 °C, b) VELOCIDAD GEOSTRÓFICA A 20 M DE PROFUNDIDAD RELATIVA A 1,000 DB



La circulación general en el Golfo de México es ilustrada mediante la topografía dinámica de la superficie del mar relativa a 1,000 db. En el este del Golfo, en la zona más profunda, la circulación es dominada por la Corriente de Lazo, en la plataforma oeste de Florida por una circulación ciclónica. En el centro y oeste del Golfo se encuentran los giros anticiclónicos que se desprendieron de la Corriente de Lazo. En la plataforma de Texas-Luisiana y la Bahía de Campeche se presentan giros ciclónicos (figura 6).

Los frentes oceánicos son otros rasgos de la circulación del Golfo, los cuales se identifican generalmente por un fuerte cambio de la temperatura superficial (Monreal-Gómez y Salas de León 1997: 194). Estos frentes se presentan en las fronteras entre núcleos fríos y núcleos cálidos; es decir, entre giros ciclónicos y anticiclónicos, así como entre la corriente de Lazo y los giros fríos que se forman en su periferia.

FIGURA 6. CIRCULACIÓN INFERIDA DE LA TOPOGRAFÍA DINÁMICA (M DIN) DE LA SUPERFICIE DEL MAR RELATIVA A 1,000 DB



Fuente: Austin 1955 citado en Nowlin 1972: 7.

SURGENCIA DE YUCATÁN

La surgencia estacional en el margen oriental de la plataforma de Yucatán es topográfica. La fricción del fondo que experimenta la corriente de Yucatán al chocar contra el talud continental se ha propuesto como el mecanismo que da origen a esta surgencia (Cochrane 1968: 19, Merino 1997: 118). Otro mecanismo propuesto es la acción conjunta de la corriente de Yucatán y la contracorriente subsuperficial (García 1990: 13) que se localiza entre 150 y 250 m de profundidad, a lo largo del talud continental.

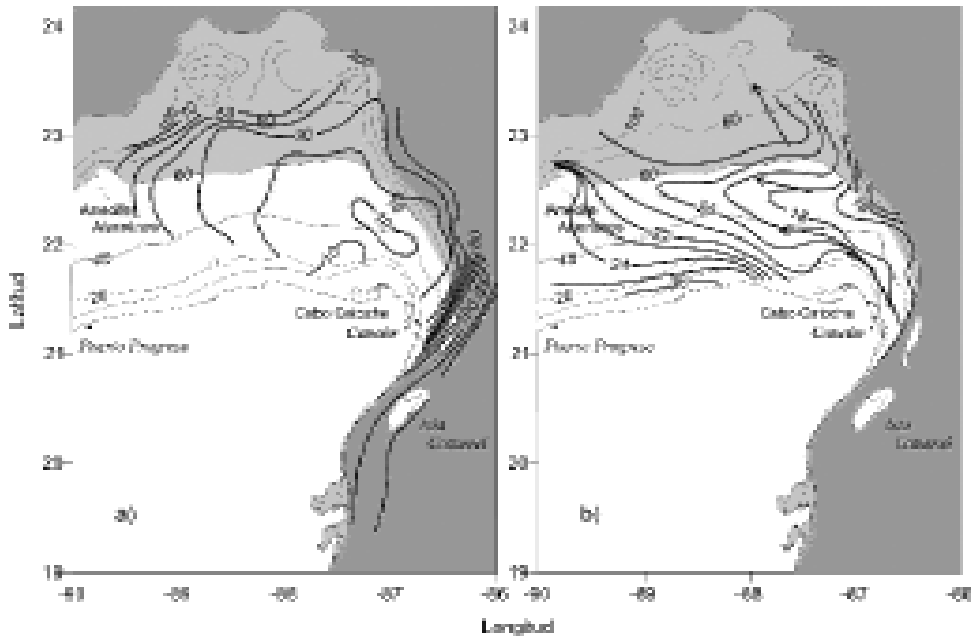
Para comparar este fenómeno con las surgencias eólicas clásicas se han analizado los vientos en esta región a lo largo del año, los cuales soplan del este, excepto en invierno cuando ocurren los vientos del norte. Debido a que el patrón de vientos en primavera y otoño es similar, y a la presencia de la surgencia en primavera y a su ausencia en otoño, esta surgencia se ha atribuido a la fricción del fondo que sufre la Corriente de Yucatán, ya que existe una relación directa entre la intensidad de la surgencia y el estrangulamiento de dicha corriente (Merino, 1992: 229).

La surgencia se manifiesta en primavera y verano cuando la corriente de Yucatán es más intensa. El afloramiento se evidencia con el levantamiento de la isoterma de 22.5 °C de una profundidad entre 220 y 250 m (figura 7a) en el oeste del Canal de Yucatán, hasta una profundidad entre 10 y 70 m sobre la plataforma continental del norte de la Península de Yucatán (Merino 1997: 104), mostrando un domo de agua fría en cabo Catoche (Cochrane 1968: 25).

El agua de la surgencia se desplaza hacia el oeste y se separa de la plataforma continental cerca del arrecife Alacranes, con velocidades de alrededor de 10 cm s⁻¹ cerca de la costa, y de 23 cm s⁻¹ en la región más alejada de ésta. Considerando estas velocidades se estima que el agua fría puede cruzar la plataforma entre 17 y 40 días (Merino 1997: 106). La temperatura en el fondo es menor en la región oriental (14 °C) y aumenta hasta los 26 °C frente a la costa norte de la península entre 88 y 89 °W (figura 7b).

Durante la época de surgencias se presenta el domo de agua fría sobre la plataforma, mientras que en otoño e invierno, la mayoría de la plataforma se encuentra cubierta por agua con temperatura mayor a 22.5 °C; en el fondo las isotermas siguen las isobatas. En cuanto a la salinidad en invierno antes de que se desarrolle la surgencia, el máximo de salinidad característico del AS₅C se separa del talud y está ausente durante la época de surgencia. Lo anterior explica la estructura de dos capas en la plataforma. Esta estratificación en la plataforma de Yucatán durante primavera y verano no se

FIGURA 7. SURGENCIA TOPOGRÁFICA EN PRIMAVERA, A) TOPOGRAFÍA (M) DE LA ISOTERMA DE 22.50 °C, B) TEMPERATURA EN EL FONDO Y CIRCULACIÓN ESTIMADA DE BOYAS DE DERIVA



Fuente: modificada de Merino 1997: 105.

debe al calentamiento del agua en la superficie sino a la intrusión del agua fría de la surgencia que baña la plataforma.

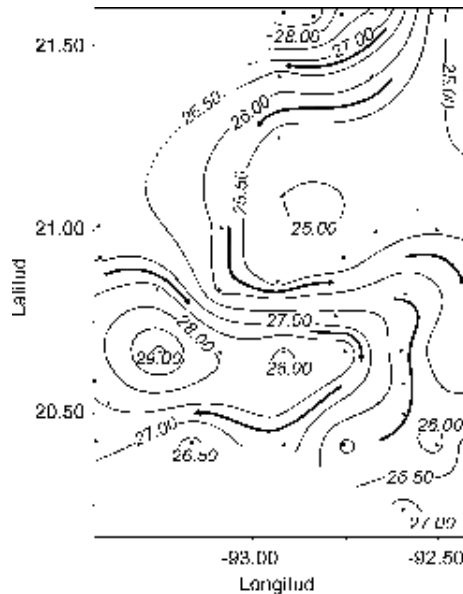
La geometría de la plataforma de Yucatán juega un papel muy importante en la formación y extensión de la surgencia, permitiendo que el agua de la surgencia permanezca sobre la plataforma en la zona eufótica por varios días, aumentando la fertilidad de las aguas.

CAÑÓN DE CAMPECHE Y SONDA DE CAMPECHE

El Cañón de Campeche, de origen tectónico, se localiza en el lado oeste de la plataforma de Yucatán, y es una región topográficamente compleja. Esta

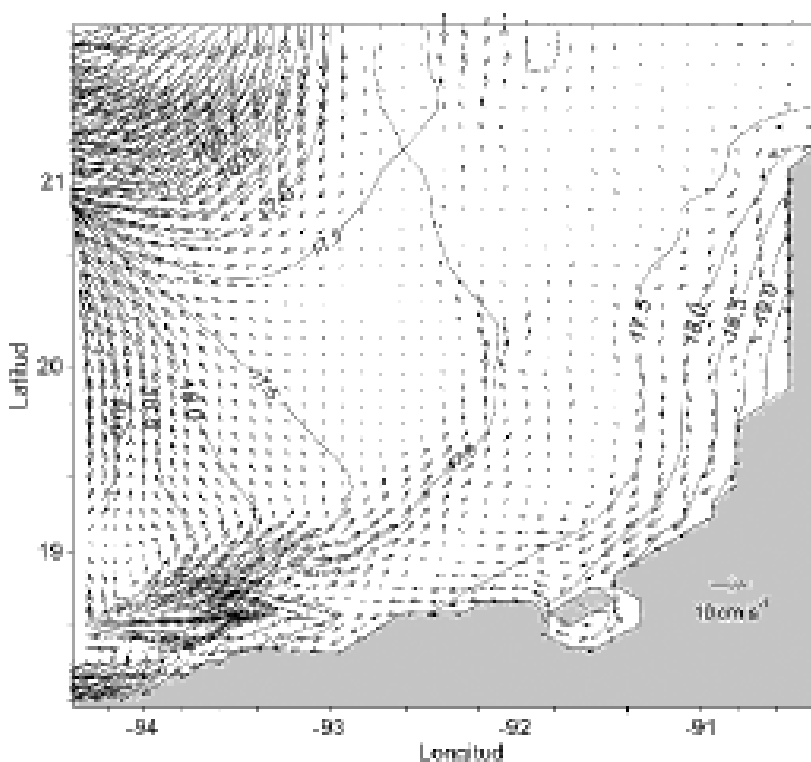
zona es influenciada por una corriente de intrusión (Vázquez de la Cerdá 1979: 18) que se dirige hacia el sur. El agua cerca de un cañón puede moverse en la vertical a lo largo de su eje, favoreciendo la formación de giros (Ardhuin *et al.* 1999: 11,123). En el verano de 1999 un estudio hidrográfico observó temperaturas superficiales cercanas a los 30 °C y una capa de mezcla de 40 m de espesor; bajo esta capa se detectó un núcleo cálido de 29 °C con un diámetro de 70 km y otro núcleo frío con temperatura de 25 °C aproximadamente a 21°N (figura 8). La circulación baroclínica muestra estos núcleos los cuales están asociados a la presencia de un par anticiclón-ciclón muy bien definido desde los 40 hasta los 300 m de profundidad. Entre ambos núcleos se forma un frente térmico que puede inducir alta productividad. Se ha propuesto que este giro anticiclónico es de origen local y que la circulación geostrofica tiene una corriente hacia el sur en el talud, la cual va disminuyendo con la distancia hacia el oeste, produciendo un gradiente en la velocidad y dando origen al giro anticiclónico.

FIGURA 8. CAÑÓN DE CAMPECHE: TEMPERATURA (°C)
A 40 M DE PROFUNDIDAD Y PATRÓN DE CIRCULACIÓN



En la Sonda de Campeche los resultados de la simulación de la circulación producida por un viento dominante del este con magnitud de 3 m s^{-1} y por el intercambio de masa en las fronteras norte y oeste de la Sonda muestran una corriente hacia el sur sobre la plataforma continental. A la altura de los 92°W se desvía hacia el norte debido al efecto de la corriente costera que va en dirección noreste y que forma parte del giro ciclónico de mesoescala que se ha observado en la bahía; en esta región se presenta el mínimo valor de la elevación de la superficie libre. Además se presenta una zona de convergencia cerca de 21°N donde se unen la circulación ciclónica y la anticiclónica en el norte (figura 9).

FIGURA 9. SIMULACIÓN DE LA CIRCULACIÓN EN LA SONDA DE CAMPECHE PRODUCIDA POR VIENTO DEL ESTE Y FLUJO GEOSTRÓFICO EN LAS FRONTERAS NORTE Y OESTE DE LA ZONA



SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA

La zona costera donde desemboca el sistema Grijalva-Usumacinta es influenciada por la descarga fluvial, modificando la salinidad y la temperatura, teniendo como consecuencia un cambio en la densidad. Lo anterior provoca frentes halinos o termohalinos. Los frentes más frecuentes son halinos producto de la diferencia entre la salinidad del agua del sistema fluvial y la del agua de mar. Estos frentes se ponen en evidencia mediante la distribución superficial de temperatura, salinidad y densidad.

El sistema Grijalva-Usumacinta ocupa el segundo lugar en cuanto a descarga hacia el Golfo de México, siendo el río Misisipí el de mayor descarga. La magnitud de la descarga de agua del sistema Grijalva-Usumacinta, depende de las condiciones meteorológicas que se presentan en la zona, teniendo como consecuencia que el volumen descargado varíe a lo largo del año. Se observan fuertes precipitaciones en la temporada de huracanes y menores precipitaciones durante el paso de frentes fríos atmosféricos. La Secretaría de Recursos Hidráulicos, como resultado de estudios durante un promedio de 10 años, reportó que las descargas mínimas ocurren en mayo y las máximas en octubre (Czitrom *et al.* 1986: 309). Recientemente se ha reportado un valor climático (promedio entre 1948-1999) de $2,154 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Generalmente en la zona costera la densidad es dominada por la salinidad, mientras que en el mar abierto la densidad es dominada por la temperatura. En la zona costera la entrada de agua de río produce una región de baja salinidad que fluye mar adentro y que al encontrarse con el agua de mar de diferentes características genera fuertes gradientes horizontales de salinidad y densidad (figura 10). Generalmente se observa un sistema de dos capas, la capa superior es ocupada por agua del sistema fluvial, mientras que en la inferior se encuentra el agua de mar. Sin embargo, el viento y las corrientes de marea en la región próxima a la costa causan una mezcla vertical entre ambas capas reduciendo la diferencia de salinidad.

El frente halino superficial del Sistema Grijalva-Usumacinta ha sido monitoreado en diferentes épocas: en abril de 1984 (Czitrom *et al.* 1986: 302), a finales de otoño de 1987 (Monreal-Gómez *et al.* 1992: 132) y de manera periódica desde 1999 (PROMEBIO 1999). Inicialmente se postuló que este frente se formaba cuando existían las descargas fluviales máximas y que al presentarse vientos intensos del norte se produciría la mezcla y el frente desaparecería, sugiriendo así el carácter estacional del frente. Sin embargo,

el frente se ha observado aun después del paso de Nortes intensos (Alatorre *et al.* 1989: 193) y con bajas descargas fluviales, por lo que se considera que este frente es permanente, y su extensión e intensidad dependen de la magnitud de la descarga, de las corrientes costeras (Monreal-Gómez *et al.* 1992: 132) y del viento.

De los resultados del muestreo efectuado a finales del otoño de 1987 se observa que las isolíneas de la temperatura superficial se encuentran perpendiculares a la costa y que varían entre 25.25 y 25.75 °C (figura 10a) por lo que no se observa un gradiente térmico importante. Por su parte la salinidad varía de 33.50 a 37 UPS (figura 10b) y muestra un fuerte gradiente horizontal, el cual se refleja en la distribución de la densidad (figura 10c). Los valores más bajos se encuentran frente a la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta, mientras que los más altos se localizan al este, frente a la Laguna de Términos región que se caracteriza por ser una zona de alta evaporación. La influencia del agua dulce en la vertical se registró hasta 15 m de profundidad y su extensión hacia mar adentro fue de 50 km. La estratificación es del mismo orden de magnitud que lo obtenido en abril de 1984 por Czitrom *et al.* (1986: 306). En otoño, el eje principal del frente halino se encuentra corrido hacia el oeste de la desembocadura, lo que sugiere que existe una corriente costera en esa dirección.

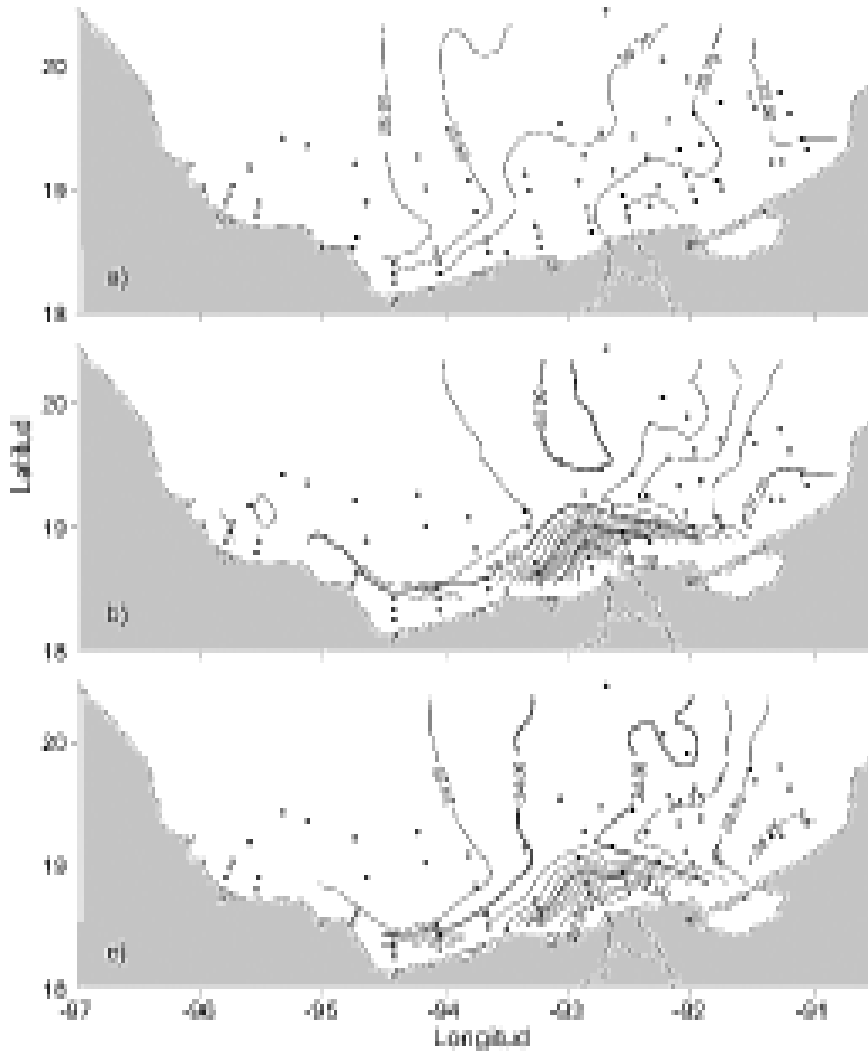
En agosto de 1999 se realizó un estudio hidrográfico que muestra la presencia de un gradiente halino y un gradiente térmico. Sin embargo, el efecto entre ambos se contrarresta en la densidad pues el agua de río es de menor salinidad y temperatura que el agua de mar.

Los frentes costeros como el generado por la descarga fluvial en el sur del Golfo de México juegan un papel muy importante desde el punto de vista ecológico. Los organismos tienden a aglomerarse cerca de esos frentes, la distribución de desechos y contaminantes pueden ser afectados por la presencia de estos (Klemas 1980: 11). Específicamente durante el derrame del Ixtoc-I en 1978, el frente fungió como una barrera evitando que los hidrocarburos llegaran a la costa de Campeche.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patrente su agradecimiento a A.J. Castro por el apoyo en la elaboración de los gráficos.

FIGURA 10. FRENTE HALINO EN EL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA, DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE: A) TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$), B) SALINIDAD (UPS), C) DENSIDAD (kg m^{-3}) CON INTERVALO DE CONTORNO DE 0.25



Fuente: Monreal-Gómez *et al.* 1992: 120.

BIBLIOGRAFÍA

- Austin, G.B., Jr. 1955. Some recent oceanographic surveys of the Gulf of Mexico. *Transaction. Amererican. Geophysical*, 36: 885-892. Washington, D.C.
- Alatorre, M.A., F. Ruiz y D. Salas 1989. *Efectos del paso de frentes fríos atmosféricos sobre la Bahía de Campeche*. Memoria Reunión Anual, 1987. Unión Geofísica Mexicana. J. González, F. Medina, M. Romo y M. Martínez (Eds.) pp. 186-193. Ensenada, B.C.
- Ardhuin, F., J.M. Pinot y J. Tintoré 1999. Numerical study of the circulation in a steep canyon off the Catalan coast [western Mediterranean], *Journal of Geophysical Research*, 104, 11115-11135. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Cochrane, J.D. 1968. *Currents and waters of the eastern Gulf of Mexico and western Caribbean, of the western tropical Atlantic Ocean, and of the eastern tropical Pacific Ocean*. Departement. of Oceanography and Meteorology., Texas A&M Univ. Ref. 68-8T, 19-28. College Station, Tx.
- Cochrane, J.D. y F.J. Kelly 1986. Low frequency circulation on the Texas-Louisiana continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, 91: 10645-10659. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Czitrom, S.P.R., F. Ruiz, M.A. Alatorre y A.R. Padilla 1986. Preliminary study of a front in the Bay of Campeche, México. En: J.C.J. Nihoul (ed.). *Marine Interfaces Ecohydrodynamics*. Elsevier Oceanography Series, pp. 301-311. Amsterdam, N.L.
- Elliott, B.A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 12: 1292-1309. American Meteorological Society. Washington, D.C.
- García, C. 1990. Influencia del campo de presiones en la circulación del Estrecho de Yucatán. Chapman Conference: Physics of the Gulf of Mexico, American Geophysical Union. June 4-7, 1989. St. Petersburg, Fl.
- Hamilton, P. 1992. Lower continental slope cyclonic eddies in the Central Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2185-2200. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Hurlburt, H.E. y J.D. Thompson 1980. A numerical study of loop current intrusions and eddy shedding. *Journal of Geophysical Research*, 10: 1611-1651. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Johnson, D.R., J.D. Thompson y J.D. Hawkins 1992. Circulation in the Gulf of Mexico from Geosat Altimetry during 1985-1986. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2201-2214. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Klemas, V. 1980. Remote sensing of coastal fronts and their effects on oil dispersion. *International Journal of Remote Sensing*, 1:11-28. American Geophysical Union. Washington, D.C.

- Lewis, J.K., A.D. Kirwan, Jr. y G.Z. Forristall 1989. Evolution of a warm-core ring in the Gulf of Mexico, Lagrangian observations. *Journal of Geophysical Research*, 94: 8163-8178. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Liepper, D.F. 1970. A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 75: 637-657. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Merino, M. 1992. Afloramiento en la plataforma de Yucatán: estructura y fertilización. Tesis Doctoral UACyP-CCH. UNAM 285 pp. México, D. F.
- 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine System*, 13: 101-121. Elsevier, Amsterdam, N.L.
- Molinari, R.L. y J. Morrison 1988. The separation of the Yucatan Current from the Campeche Bank and the intrusion of the loop current into the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 93: 10645-10654. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Molinari, R.L., J. Festa y D.W. Behringer 1978. The circulation in the Gulf of Mexico derived from estimated dynamic height fields. *Journal of Physical Oceanography*, 8: 987-996.
- Monreal-Gómez, M.A. 1986. *Modelisation du mode barotrope et du premier mode barocline dans le Golfe du Mexique*. Tesis de doctorado. Faculté des Sciences. Universidad de Lieja, Bélgica. 171 pp. Liège, Bélgica.
- Monreal-Gómez M.A. y D.A. Salas de León 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: M. F. Lavín (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, pp183-199. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. México, D. F.
- Monreal-Gómez, M. A. y D.A. Salas de León 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29: 101-111. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.
- Monreal-Gómez, M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla-Pilotze y M.A. Alatorre Mendieta 1992. Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas*, 18: 115-133. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada B. C.
- Nowlin, W.D. Jr. 1972. *Winter circulation patterns and property distributions*. Texas A&M University Studies, (2), L.R.A. Capurro, y J.L. Reid, Eds., Gulf Publ. Co., 3-53. Houston, Tx.
- Schmitz, W. J. y W.S. Richardson 1968. On the transport of the Florida current. *Deep-Sea Research*, 15: 679-693. Elsevier, Amsterdam, N.L.
- Smith, D.C. IV. 1986. A numerical study of loop current eddy interactions with topography in the Western Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 16: 1,260-1,272. American Meteorological Society. Washington, D.C.
- Sturges, W. y J.P. Blaha 1976, A western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192: 367-369. American Association for the Advancement of Science, Stanford.

- Tapánes J.J. y F. González-Coya 1980. Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofísica Internacional*, 19: 335-354. Unión Geofísica Mexicana. México, D.F.
- Vázquez de la Cerda, A. M. 1979. *Circulación del agua en el suroeste del Golfo de México*. Dirección General de Oceanografía, Secretaría de Marina. México. 26 pp. México, D.F.
- 1993. Bay of Campeche cyclone. Tesis de doctorado. Texas A&M University, 91 pp. College Station.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, J.M. Pérez-Molero 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97: 2155-2172. American Geophysical Union. Washington, D.C.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, A.F. Hernández, E. Meza, L. Zambrano 1994a. Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring, *Journal of Oceanography, Tokyo* 50: 559-588. University of Tokyo. Tokyo.
- Vidal, V.M.V., F.V. Vidal, A.F. Hernández, E. Meza, J.M. Pérez-Molero 1994b. Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 99: 7571-7597. American Geophysical Union. Washington, D.C.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS MASAS DE AGUA OCEÁNICA QUE ARRIBAN AL GOLFO DE MÉXICO

Alberto Mariano Vázquez de la Cerda

INTRODUCCIÓN

El océano esta compuesto por diferentes masas de agua, las cuales normalmente se presentan en capas de menor densidad en la superficie hasta llegar a las de mayor densidad en el fondo. Las masas de agua se forman en la superficie debido a la disminución de temperatura y/o al aumento de salinidad, por lo tanto se hunden hasta encontrar su nivel de equilibrio. La disminución de temperatura del mar se debe generalmente al paso de frentes fríos en la atmósfera, los cuales sustraen calor a la superficie, el aumento de salinidad resulta de la evaporación, principalmente en latitudes medias, área de la Tierra donde existen zonas climáticas de alta presión atmosférica; al no evaporarse las sales disueltas, aumenta la salinidad del agua. En ambos casos, tanto la disminución de temperatura o el aumento de la salinidad provocan incrementos en la densidad del agua de mar dando lugar a su hundimiento.

Los oceanógrafos físicos utilizan el diagrama T-S (temperatura *versus* salinidad) para conocer las características y densidad del agua de mar (r). En dicho diagrama, un punto indica un *tipo de agua*, una línea corresponde a una *masa de agua*. El oceanógrafo detecta las masas de agua más prominentes por los máximos o mínimos en los valores de temperatura o salinidad. Algunos parámetros, como son oxígeno disuelto y nutrientes (no incluidos

en el diagrama T-S), principalmente silicatos y fosfatos, también sirven como indicadores de masas de agua.

En el océano Atlántico existen seis regiones donde se forman masas de agua:

- A. en el mar de Labrador, al noreste de Canadá y suroeste de Groenlandia.
- B. en el mar de Groenlandia y mar de Noruega, entre Islandia, Groenlandia y Noruega.
- C. al oeste del mar de los Sargazos y el sureste de la Corriente del Golfo, en el Atlántico norte.
- D. al sureste de Brasil, en el Atlántico sur.
- E. en la parte meridional del Atlántico sur, entre los frentes polares.
- F. y por último, en el mar de Weddell, en el Continente Antártico.

En las regiones A, B y F se forman las aguas profundas del océano Atlántico; en la región C se forma la masa de agua llamada de 18 °C; en la región D la masa de agua llamada *Agua Subtropical del Sur* (ASS); y finalmente, en la región E se forma la masa de agua llamada *Agua Intermedia Antártica* (AIA). Las tres últimas arriban a lo largo de su travesía por el océano Atlántico al Golfo de México (figura 1).

AGUA DE 18° CELSIUS (A 18 °C)

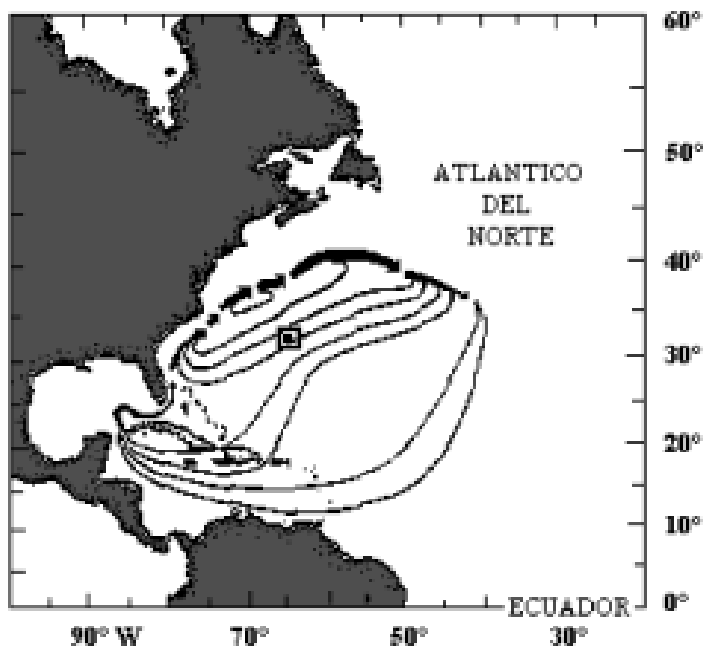
Los cambios en las características del Agua de 18 °C son parte de los cambios climáticos en el Atlántico norte. La temperatura en la superficie del mar en toda la parte septentrional del Atlántico, es también un indicador del cambio climático y varía en periodos largos, como lo demostraron Bjerknes (1964) y Colebrook y Taylor (1979).

En 1959, Worthington sugirió que la masa de agua de 18 °C, formada en el oeste del océano Atlántico norte e inmediatamente al sur de la Corriente del Golfo (figura 2), es producida de manera similar al agua de fondo en altas latitudes. Es decir, en la época que se extiende de otoño e invierno, al paso de los frentes fríos en la atmósfera, la superficie del mar disminuye su temperatura, aumentando la densidad del agua, lo que trae como consecuencia el hundimiento de las masas de agua superficiales hasta que encuentran su nivel de equilibrio, quedando entre aguas más densas por debajo y aguas menos densas por encima. La masa de agua se enfría en cantidades excesivas y se hunde, empezando a fluir hacia el sur; aguas más calientes, por

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LAS REGIONES EN EL OCÉANO ATLÁNTICO DONDE SE FORMAN MASAS DE AGUA; TRES DE ELLAS (C, D Y E) ARRIBAN AL GOLFO DE MÉXICO. A) MAR DEL LABRADOR; B) MAR DE GROENLANDIA Y MAR DE NORUEGA; C) OESTE DEL MAR DE LOS SARGAZOS; D) SURESTE DE LAS COSTAS DE BRASIL; E) ZONA ENTRE LOS FRENTE POLARES; F) MAR DE WEDDELL. EL TRANSECTO (C) DE SALINIDAD SE ENCUENTRA EN LA FIGURA 3. LOS TRANSECTOS (A), (B), (C), SE ENCUENTRAN EN LA FIGURA 13.



FIGURA 2. CIRCULACIÓN DE AGUA CALIENTE ($> 17^{\circ}\text{C}$) EN EL ATLÁNTICO NORTE DE WORTHINGTON 1976. EL CUADRO NEGRO INDICA LA POSICIÓN DE LA ESTACIÓN PANULIRUS ($32^{\circ} 10' \text{N}$, $64^{\circ} 30' \text{W}$)

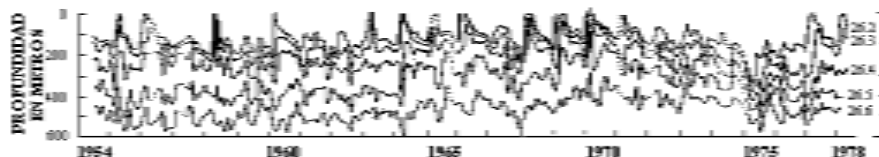


Fuente: de acuerdo con Tally y Raymer 1982.

advección fluyen hacia el norte para ocupar el lugar del agua que se hundió. En el caso del Agua de 18°C , la termoclina principal es análoga a lo que sería el fondo marino en las altas latitudes.

En el Atlántico norte, existen dos masas de agua formadas por convección en invierno, una es el Agua de 18°C (figura 2) en el oeste del Atlántico norte (Worthington, 1959), y la otra es el agua del *modo sub-polar* o *Agua Profunda del Atlántico norte* (figura 3). Ambas son características de su homogeneidad vertical durante todo el año, debido a su origen convectivo. El Agua de 18°C se forma en el sureste de la Corriente del Golfo y se encuentra en el centro del remolino subtropical en el oeste del Atlántico norte.

FIGURA 3. OCEANO ATLÁNTICO. SECCIÓN VERTICAL NORTE-SUR DE LA SALINIDAD (UPS)
EN EL LADO OESTE



Fuente: de acuerdo con Wüst 1935.

La figura 4 muestra la salinidad superficial y marca claramente el núcleo del remolino oceánico con máximas salinidades en el Atlántico norte, con valores mayores a 37.25 UPS. La masa de Agua de 18 °C, cuya formación está localizada entre la parte sureste de la Corriente del Golfo y el extremo norte del núcleo de alta salinidad, tiene un espesor cercano a los 200 m debido a su origen convectivo. Su identificación se basa en el método desarrollado por Talley y Raymer (1982). Worthington (1959) la definió como Agua de 18° Celsius con una temperatura igual a $17.9^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$, $S = 36.50 \text{ UPS} \pm 0.10 \text{ UPS}$ y $s_t \sim 26.4 \text{ mg cm}^{-3}$ (figuras 5 y 13b).

La mayor profundidad de la termoclina principal, al sur de la Corriente del Golfo, se encuentra *siempre* por debajo de la parte más profunda de la capa de mezcla del Agua de 18 °C. Esta profundidad máxima de la termoclina representa el centro del remolino oceánico anticiclónico en el Atlántico norte.

Bjerknes (1964) mostró que el enfriamiento en un periodo de 20 años, a comienzo del siglo XX, seguido por un periodo de calentamiento en los años 30 estuvo directamente relacionado con los cambios de viento. Dicho autor mostró que los vientos alisios fuertes estaban correlacionados con una disminución en la temperatura superficial en el mar de los Sargazos, y un incremento en las temperaturas superficiales del Agua del Talud. Colebrook y Taylor (1979) continuaron la investigación de Bjerknes y encontraron el enfriamiento de la superficie del mar en el Atlántico norte entre 1948 y 1974.

Cuando *no* se han seguido las mediciones hidrográficas estándar convencionales, el mínimo de vorticidad potencial (f/r) ($\partial r / \partial z$), es un excelente trazador para el Agua de 18°C (una asociación con el oxígeno máximo es débil, debido a que la masa de agua está muy cerca de la superficie).

FIGURA 4. SALINIDAD SUPERFICIAL (UPS) EN EL OCEANO ATLÁNTICO

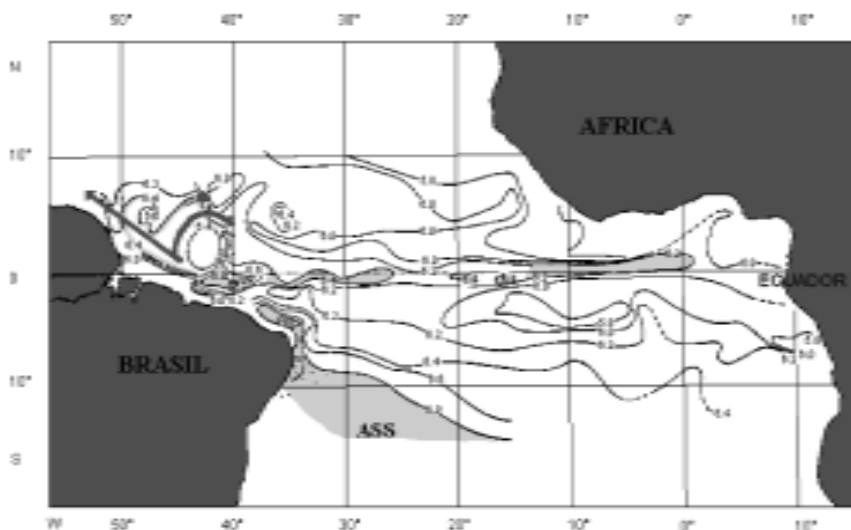
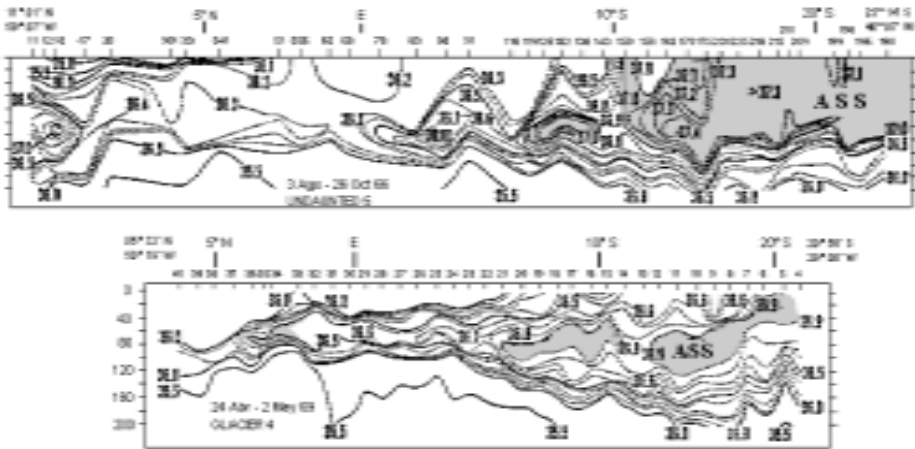


FIGURA 5. LA DENSIDAD POTENCIAL (σ_t) EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA ESTACIÓN PANULIRUS



3. No hubo una formación fuerte de Agua de 18 °C de 1972 a 1975; Talley y Raymer (1982) concluyeron que la formación del Agua de 18 °C dejó de producirse en esos años; fue observada solamente el Agua de 18 °C como un remanente del agua de 1971.
4. De 1975 a 1976 el Agua de 18 °C volvió a incrementarse a una temperatura relativamente alta y baja densidad (Leetmaa 1976, Worthington 1977). Para 1978 el Agua de 18 °C tenía las mismas características que la de 1954 a 1974.

En el mar Caribe, la entrada de la masa de Agua de 18 °C se da por varios estrechos:

- a) entre las islas de Cuba y la Española, conocido como Paso de los Vientos,
- b) entre las islas de la Española y Puerto Rico, conocido como Paso Mona
- c) en las islas Vírgenes, específicamente entre la isla de San Thomas y la isla de Santa Cruz, conocido como el Paso de Anegada-Jüngfern, y
- d) en menor cantidad entre los pasos de las islas de las Antillas menores.

AGUA SUBTROPICAL DEL SUR (ASS)

Desde la expedición del buque oceanográfico alemán *Meteor*, de 1925-1927, (Wüst 1935, 1957), se sabe de la existencia de una capa de alta salinidad (36.3 a 37.3 UPS) en la parte superficial del océano Atlántico tropical, con un espesor menor a 150 m; así mismo, el área de su formación se ubica en la parte central de los grandes remolinos. Defant (1961) describió las capas oceánicas en general, y designó las zonas de convergencia subtropical del Atlántico norte y del Atlántico sur como las fuentes del agua de alta salinidad (figura 4).

ATLÁNTICO SUR

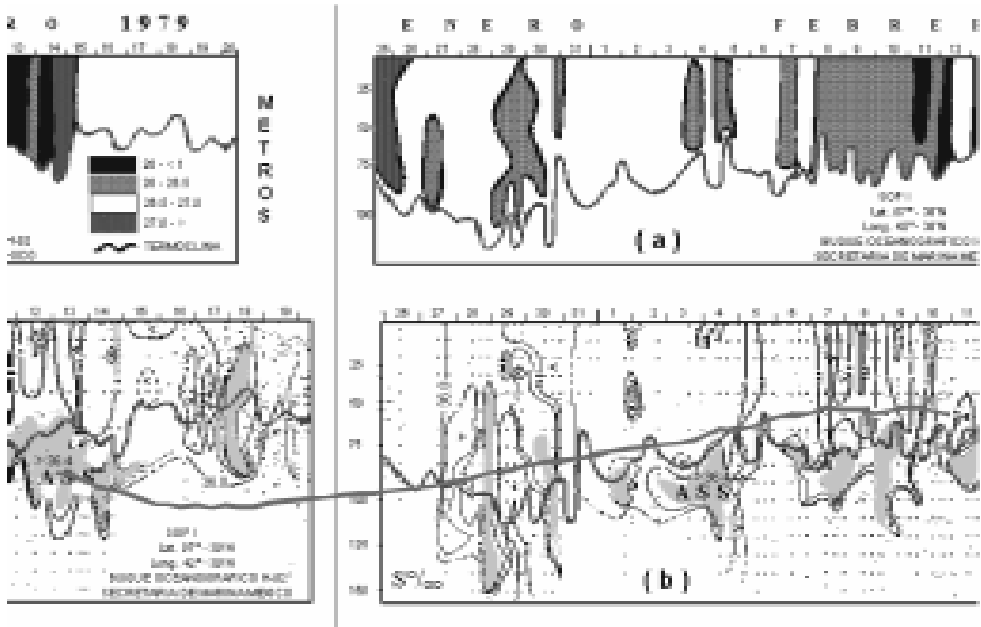
Durante los meses invernales en el hemisferio sur, una celda grande y estable de alta presión de aire tropical marino ocupa la mayor parte del Atlántico sur, entre los 15° y los 30° S; la precipitación disminuye y el promedio de temperaturas del aire superficial desciende entre 20 y 22 °C, en las cercanías de la capa superficial de alta salinidad (Cartas de Haurwitz y Austin 1944). Estas condiciones invernales conducen a un incremento neto de la evaporación y a una mayor salinidad en la superficie del mar.

SUBCORRIENTE ECUATORIAL

Investigaciones realizadas posteriormente, sugirieron que la capa superficial de alta salinidad en la parte tropical occidental del Atlántico sur, es la fuente de agua de alta salinidad de la Subcorriente Ecuatorial (Metcalf *et al.* 1962, Cochrane 1963, 1965; Metcalf y Stalcup 1967, Cochrane 1978) (figura 6). La Subcorriente al cruzar el Ecuador procedente del Sur, en parte gira en forma anticiclónica, es decir, en sentido de las manecillas del reloj, cerca de 2°- 5°N, 45°- 50°W (frente a las costas de Brasil, próxima a la desembocadura del río Amazonas) (figura 7), y fluye hacia el sureste dando origen a la Subcorriente Ecuatorial (Cochrane 1963, Goulet e Inghman 1971, Vázquez de la Cerda 1988, 1992).

Goulet e Inghman (1971) observaron en los cruceros realizados a bordo del R/V *Undaunted* y el R/V *Glacier* en 1966 y 1969, respectivamente, que los cálculos dinámicos a 105 m relativos a 495 m mostraban velocidades $>95 \text{ cm seg}^{-1}$; generalmente las direcciones fueron hacia el norte y más fuertes en las zonas de alta salinidad ($>37.3 \text{ UPS}$) (figura 8). El transporte en la latitud de 7°S fue de 6.9 Sverdrups (Sv).

FIGURA 6. SALINIDAD EN LA CAPA DE MÁXIMA SALINIDAD EN EL ATLÁNTICO ECUATORIAL.
EQUALANT I (SALINIDAD EN UPS MENOS 30 UNIDADES)



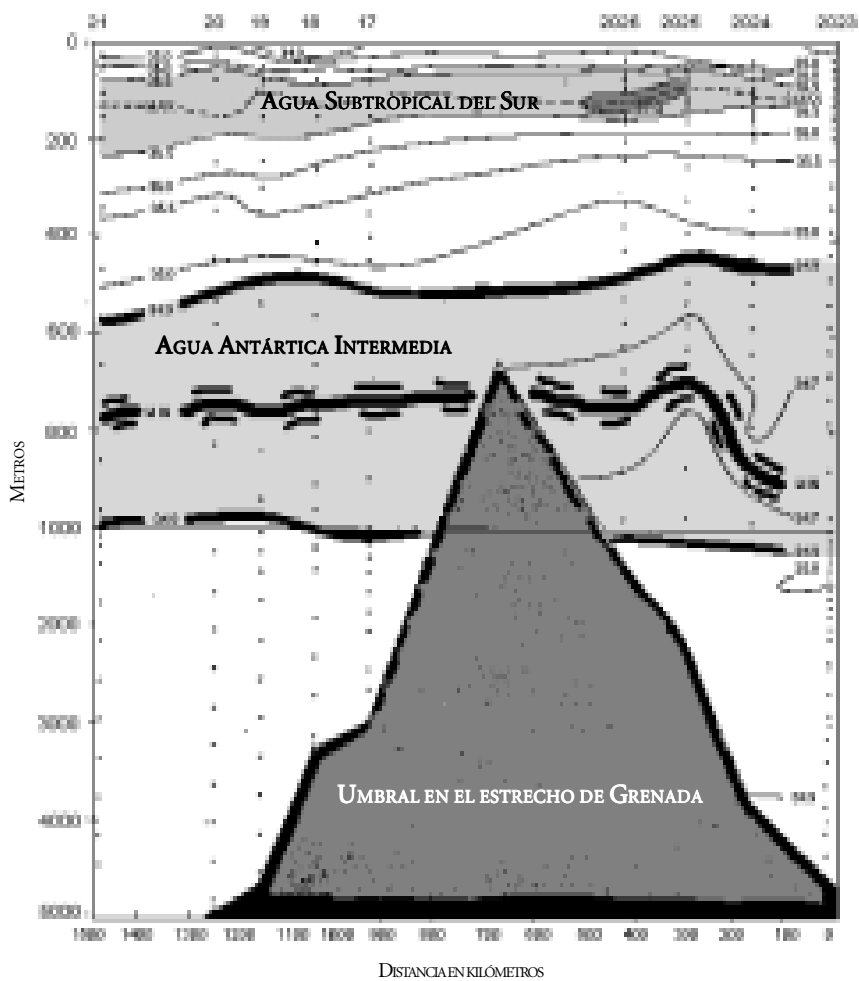
Fuente: de acuerdo con Cochrane 1978, modificado por Vázquez de la Cerda 1988.

De la masa de agua de alta salinidad, dos posibles trayectorias se bifurcan, la primera gira en forma anticiclónica directamente dentro del origen de la Subcorriente Ecuatorial a 3°N y 40°W , dirigiéndose hacia el sureste. La segunda trayectoria sigue hacia el noroeste debajo y junto con la Corriente Ecuatorial del Norte.

OPERACIONES GATE Y FGGE

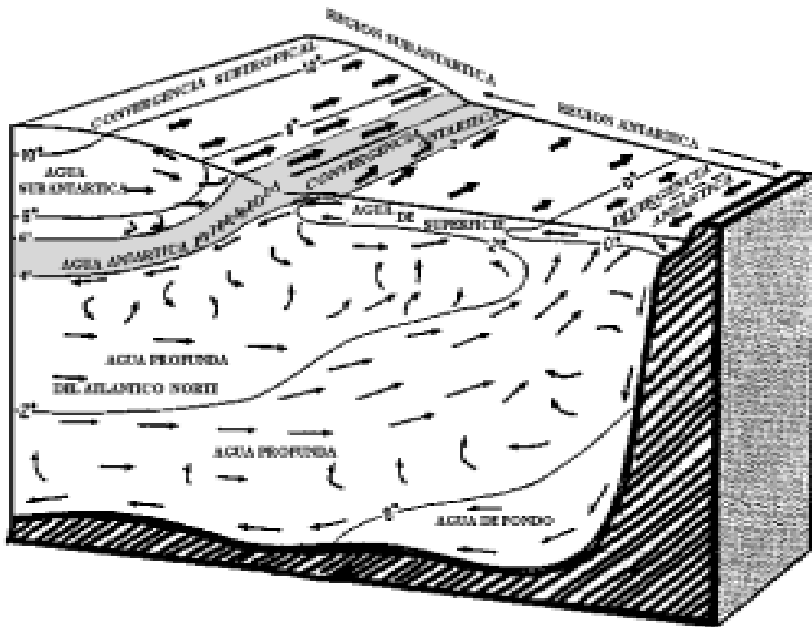
En la operación GATE del año 1974 (GATE Atlantic Tropical Experiment; GARP: Global Atmospheric Research Program), frente a las Costas de Brasil, en el buque oceanográfico (B/O) *Matamoras* de la Armada de México, se

FIGURA 7. SALINIDAD EN LA SUPERFICIE DE ANOMALÍA DE VOLUMEN ESPECÍFICO
(D) A $240 \times 10^{-8} \text{ M}^3 \text{ KG}^{-1}$



Fuente: de acuerdo con Cochrane 1965, modificado por Vázquez de la Cerda 1992.

FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LA SALINIDAD(UPS) A LO LARGO DE LA COSTA DE AMÉRICA DEL SUR; SUPERIOR, CRUCERO DEL R/V UNDAUNTED, DEL 3 DE AGOSTO AL 26 DE OCTUBRE 1966; INFERIOR, CRUCERO 4-69 DEL GLACIER, DEL 24 DE ABRIL AL 2 DE MAYO DE 1969



Fuente: de acuerdo con Goulet e Inghman 1971.

detectó el traslado de un remolino anticiclónico hacia el noroeste y la fluctuaciones de la alta salinidad (Vázquez de la Cerda, 1978); esto es una justificación importante al trabajo de Yi Chao (1998), al mencionar el desplazamiento de los remolinos anticiclónicos desde el Atlántico ecuatorial hasta el mar Caribe.

Durante la operación FGGE del año 1979 del Primer Experimento Global GARP (First Global GARP Experiment, conocido internacionalmente por las siglas en inglés FGGE), México participó con el buque oceanográfico H-02 de la Secretaría de Marina y la Dirección General de Oceanografía Naval, junto con investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica (Vázquez de la Cerda 1988). La posición geográfica

del buque fue 7°30' N de latitud y 42°30' W de longitud durante las observaciones intensas (figuras 6, 7 y 9).

La serie de estaciones oceanográficas fue realizada cada 4 horas desde el 26 de enero hasta el 20 de febrero de 1979 en la situación geográfica Lat. 07°30' N Long. 42°30' W. Durante el Periodo especial de observación I (figura 9), del 25 de enero al 19 de febrero de 1979, la profundidad donde se encontraron los máximos valores de salinidad, >36.4 UPS, siempre estuvieron por debajo de la capa de mezcla. Los valores más profundos se hallaron cerca de los 140 m el 28 de enero y los más cercanos a la superficie del mar fueron a 50 m, el 18 de febrero, los cuales corresponden a una onda larga vertical de estructura térmica en las aguas oceánicas; esta onda da valores muy cercanos a las variaciones de marea en luna llena o luna nueva, es decir quincenal (figura 10). Los valores de salinidad más altos se notaron cada 3 ó 4 días. La máxima salinidad correspondió con velocidades mayores a los 40 cm s⁻¹. Los valores más altos de salinidad, >36.6 UPS, tuvieron velocidades de ~60 cm s⁻¹. Durante el periodo de observaciones el grupo de masas de agua intermitente de alta salinidad, tuvo un transporte que fluctuó desde 1.9 a 5.6 Sv, valores menores a los encontrados en la latitud 7°S, se considera que la otra parte había girado hacia el Este en la Subcorriente Ecuatorial. Las estimaciones del transporte de la Subcorriente deben interpretarse con alguna precaución debido a la gran variabilidad encontrada durante cortos períodos de tiempo.

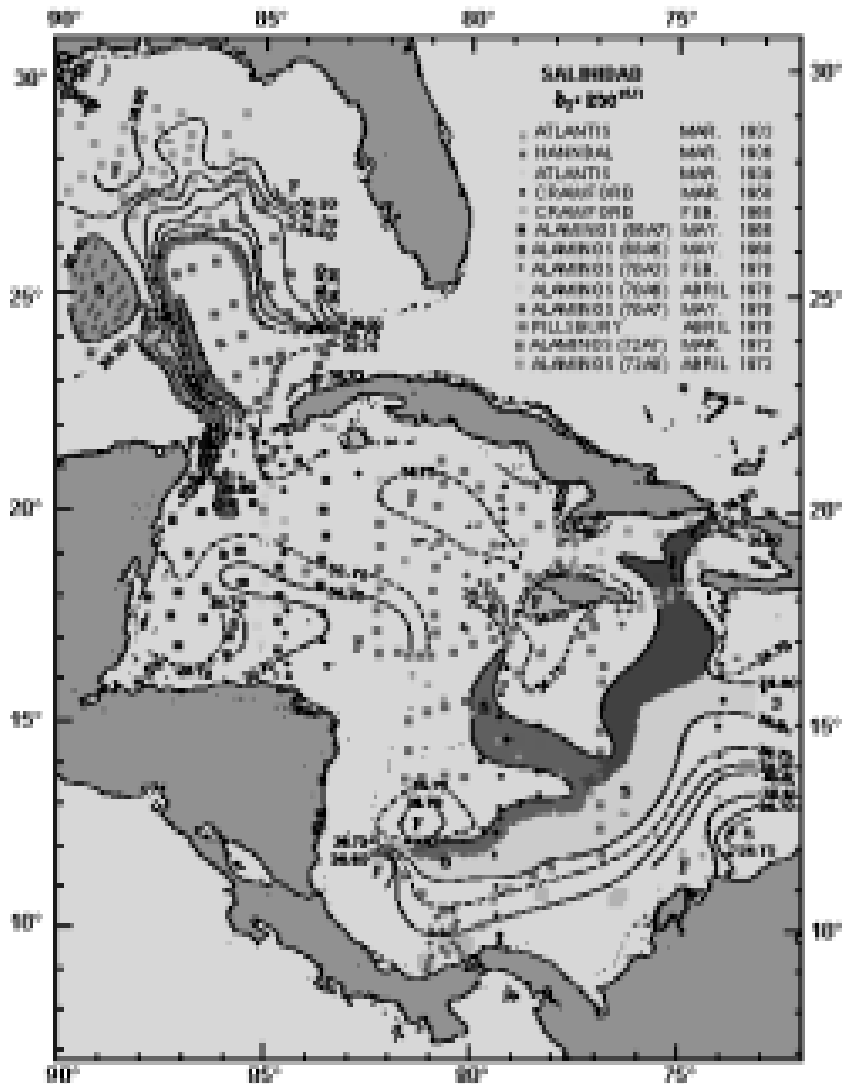
En el Estrecho de Grenada, Morrison y Nowlin (1982) durante el otoño de 1973 en el crucero Caro-I y las estaciones 2023-2026 del crucero *Atlantis* II-078, encontraron una celda de alta salinidad con un valor estimado de 1.5 Sv, un valor de transporte de aproximadamente una cuarta parte al observado frente a las costas de Brasil (figura 11).

AGUA ANTÁRTICA INTERMEDIA (AIA)

DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN

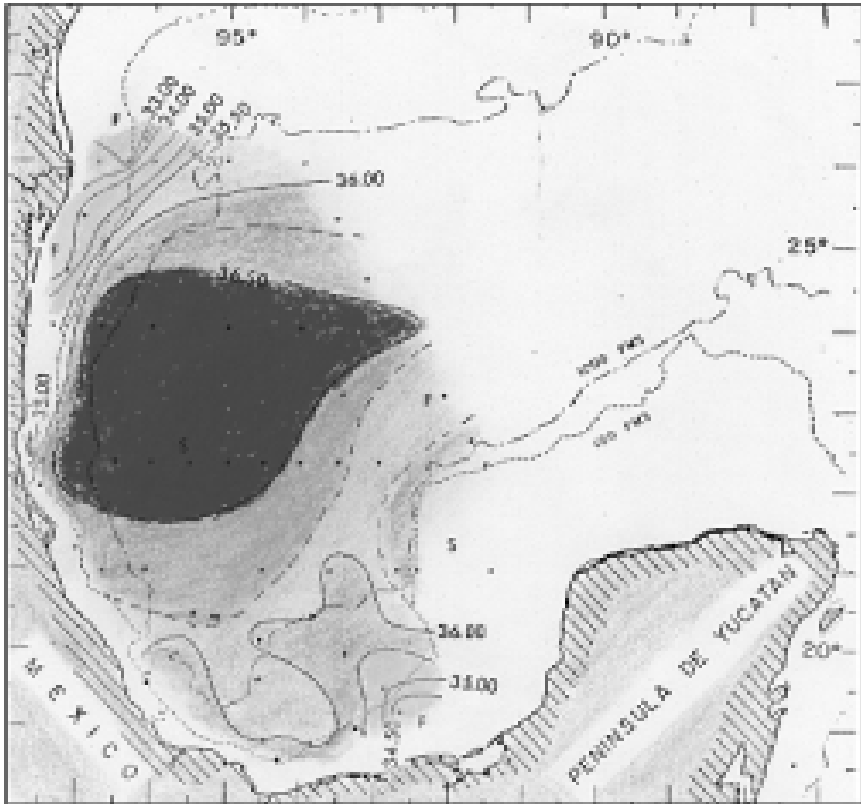
Svedrup, en su libro *The Oceans* (1942), dividió la parte sur de todos los océanos en diferentes regiones, dándole una nomenclatura determinada (figura 12). Aquí haremos referencia también a la nomenclatura elaborada por Whitworth (1980).

FIGURA 9. A) TEMPERATURA °C DESDE LA SUPERFICIE HASTA 120 M. B) SALINIDAD (UPS) DESDE LA SUPERFICIE HASTA 160 M DE PROFUNDIDAD PROGRAMA DE MÉXICO EN FGGE AÑO DE 1979



Fuente: de acuerdo con Vázquez de la Cerda 1988.

FIGURA 11. SECCIÓN VERTICAL DE SALINIDAD (UPS)
A TRAVÉS DEL PASO DE GRENADA DURANTE EL OTOÑO DE 1973



Fuente: de acuerdo con Morrison y Nowlin 1982.

Cerca del Continente Antártico la temperatura de la superficie del mar fluctúa entre 1.0 y 1.5 °C bajo cero, razón por lo que el agua continua siendo líquida es su salinidad, pero al alejarse a mayor distancia de la costa, la temperatura aumenta ligeramente hasta llegar a una región donde se incrementa en dos o tres grados Celsius en un espacio relativamente corto. Esta región, con un incremento repentino de temperatura, es llamada *Frente polar (FP)* o *Convergencia antártica*; es el lugar donde el agua se hunde, y

que se extiende desde el Continente Antártico hasta FP, se conoce como la *Región Antártica* o *Zona Antártica* (ZAA), y el área entre los frentes recibe el nombre de la *Región Sub-Antártica* o *Zona Sub-Antártica* (ZBA).

Expediciones en la década de los 70 hicieron posible definir mejor las diferentes regiones antes expuestas (Sievers y Nowlin 1984), donde la Zona Sub-Antártica y la Zona Frontal Polar finalmente recibieron el nombre de *Frente Sub-Antártico* (FSA).

PRIMERAS DEFINICIONES Y MÉTODOS

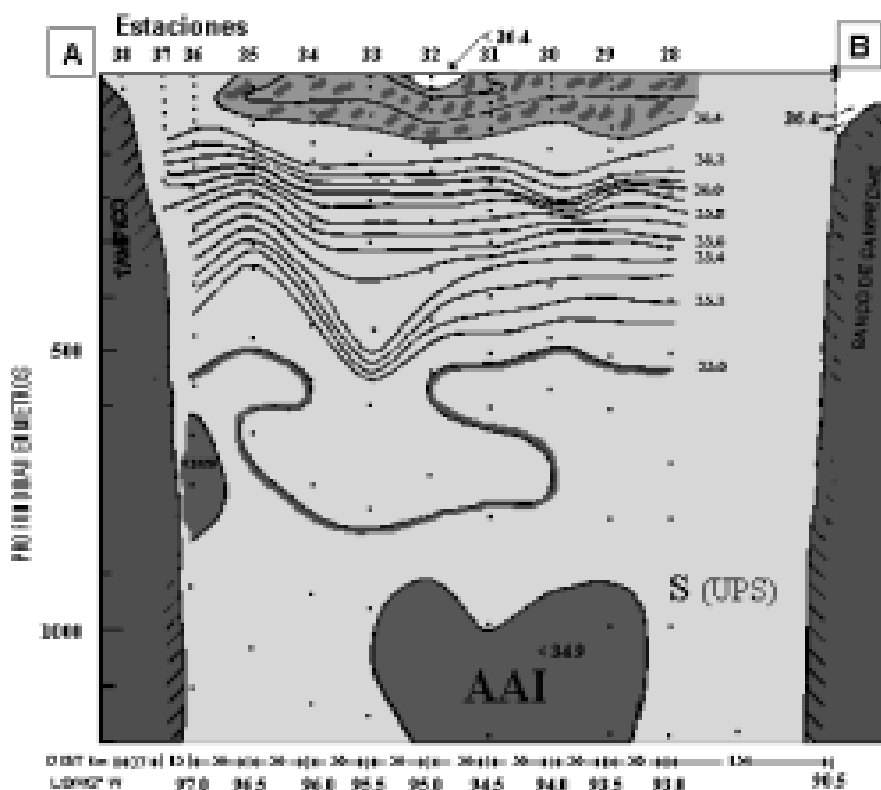
En 1935, Wüst demostró, usando el Método de núcleo en la parte del Frente Polar (FP), que dicho núcleo estaba formado por agua de baja salinidad relativa que se esparce hacia el norte a lo largo del mínimo de salinidad. La llamó *Agua Sub-Antártica Intermedia*, pero posteriormente ha sido más aceptado el nombre *Agua Intermedia Antártica* (AIA) (figuras 3, 11, 12 y 13a). Aunque los procesos que conducen a su formación no han sido comprendidos claramente en detalle, Wüst explicó que el AIA desciende a capas profundas y se esparce hacia el norte. El Método de núcleo se define como una región donde un parámetro en el agua alcanza valores máximos o mínimos a lo largo de su distribución.

El AIA incluye agua de la superficie desde la ZAA y está formada con una mezcla de aguas del FP; su recorrido es hacia el norte. El Agua Intermedia Antártica al hundirse tiene un espesor de aproximadamente 300 metros, con valores de temperatura de 2 a 3 °C y una salinidad de 34.2 UPS. Para encontrar su equilibrio al viajar hacia el norte, el AIA se hunde debido a su densidad (σ_t) de 27.4, donde aguas de menor densidad están en la parte superior de ella y aguas de mayor densidad se encuentran a mayores profundidades. Así mismo, el AIA tiene valores de oxígeno disuelto relativamente altos, 5 a 7 ml l⁻¹, como resultado de haber dejado la superficie del mar recientemente (figura 13c).

Durante su viaje hacia el norte en el océano Atlántico, el AIA aumenta su salinidad debido a la mezcla y difusión con las aguas adyacentes. Los valores de salinidad que se encuentran a lo largo de su viaje son en promedio:

Wüst (1964), considera que menos del 5% del Agua Antártica Intermedia llega al Golfo de México. Los datos climáticos de varias décadas y distintos cruceros confirman lo anterior. Sólo pequeñas trazas de AIA salen del Golfo de México por el Estrecho de Florida hacia el Atlántico del Norte en el fondo de la Corriente del Golfo. Por otro lado, el remanente de la AIA

FIGURA 13. TRANSECTOS EN EL OCEANO ATLÁNTICO. A) EN EL PARALELO 16°S. B) EN EL PARALELO 36°N. C) OXÍGENO DISUELTO A LO LARGO DEL TRANSECTO SUR-NORTE



viaja por la parte norte y exterior del Mar Caribe junto a la Corriente Ecuatorial del Norte.

El remolino anticiclónico que se forma al desprenderse de la Corriente de Lazo al este del Golfo de México, es el último vehículo dinámico que moverá el remanente del AIA hacia el oeste del Golfo a profundidades entre 700 a 1,100 metros. En la formación del remolino anticiclónico como en su desplazamiento, el AIA será un factor importante.

MAR CARIBE

El mar Caribe se ubica en la parte oeste del océano Atlántico, limita al sur con América Central, Colombia y Venezuela; al oeste con México, al norte con el Golfo de México y las Antillas mayores y al este con las Antillas menores. Este mar tiene una personalidad propia al ser la parte del océano por donde pasa gran parte de la Corriente Ecuatorial del Norte junto con un porcentaje de masas de agua de la Corriente Ecuatorial del Sur.

CUADRO 1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE DIFERENTES VALORES DEL AGUA ANTÁRTICA INTERMEDIA, DESDE EL OCEANO ANTÁRTICO HASTA EL GOLFO DE MÉXICO

LUGAR	SALINIDAD	PROFUNDIDAD
Cuenca de Argentina	34.2 UPS	Superficie del mar, a más de 700 metros
Cuenca de Brasil	34.4 UPS	Entre 700 y 1,000 metros
Ecuador (0° de Latitud)	34.5 UPS	Entre 700 y 1,000 metros
Este de las Antillas menores	34.7 UPS	Entre 700 y 900 metros
Este del mar Caribe	34.75 UPS	Entre 700 y 900 metros
Mar Caribe central	>34.80 UPS	Entre 650 y 850 metros
Canal de Yucatán	>34.86 UPS	Entre 700 y 900 metros.
Golfo de México, Central	~34.88 UPS	Entre 700 y 850 metros

Así mismo, el mar Caribe recibe masas de agua procedentes del Atlántico del Norte a través de los principales estrechos (figura 2), como se explica en este documento al referirse al Agua de 18° Celsius.

El desarrollo de tormentas tropicales, que en gran parte se convierten en ciclones atmosféricos, la mayoría de las veces se producen en la parte Este del mar Caribe; con ello la energía y las masas de agua en el mar se ven alteradas al seguir el meteoro su trayectoria hacia el Oeste.

Cochrane (1968), al hacer un análisis y combinar los datos de 13 cruces durante el periodo 1933 a 1972, muestra un aspecto climático oceánico en el Este del Golfo de México y al Oeste del mar Caribe. La Anomalía de

Volumen Especifico de 250 cl ton^{-1} se muestra en la figura 14, cuya superficie corresponde, aproximadamente, a 25.47 kg m^{-3} en densidad (ver cuadro 2). Dicho cuadro indica el Agua Subtropical del Sur dentro de los “anillos” o remolinos y el Agua Común del Golfo fuera de los “anillos nuevos” o remolinos, ambas tienen como característica principal alta salinidad. Sin embargo, en esta superficie de 250 cl ton^{-1} puede considerarse también la parte superior, más cerca a la superficie del mar del Agua de 18°C , la cual está indicada con mayor densidad, 26.50 kg m^{-3} (Morrison y Merrell 1983).

El análisis de Cochrane (1968), muestra claramente la entrada del Agua de 18°C a través del paso de los vientos, entre la isla de Cuba y la Española, así como por los otros estrechos de las Antillas. Resulta muy marcado en la figura 14 el encuentro entre las diferentes masas de agua, sobre todo la más salina en la parte sureste, cerca de las costas de Colombia. El encuentro de estas dos masas de agua, las más salada y caliente, Agua Subtropical del Sur procedente del Atlántico sur y el Agua menos salada (relativa con la anterior) y más fría procedente del Atlántico del Norte y llamada Agua de 18°C , trae como consecuencia un porcentaje de la *difusión doble* en la parte central del mar Caribe (ver anexo sobre difusión doble en este mismo artículo). Al llegar estas masas de agua a la Corriente de Lazo, por el canal de Yucatán en la parte oriental del Golfo de México, conservan de una manera muy sutil su identidad, como lo muestran los perfiles de salinidad-profundidad en todo el Golfo de México, al mostrar dos máximos de salinidad muy cerca uno del otro y con una muy pequeña diferencia (Vázquez de la Cerda y Kelly 1998).

Los valores de r y s_σ , densidad relativa y diferencia de densidad relativa respectivamente, al igual que la Anomalía de Volumen Especifico, d , son parámetros adimensionales. Sin embargo, en las fórmulas debemos tratar las dos primeras como si tuvieran las unidades kg m^{-3} , y la última $10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (antiguamente se utilizaba centilitros por tonelada, cl/ton , para evitar el factor 10^{-8}).

La salinidad actualmente se expresa en Unidades Prácticas de Salinidad (UPS), que corresponden exactamente al mismo valor de partes por mil (‰), es decir, gramos de sales disueltas por kilogramo de agua de mar.

DIAGRAMA T-S-V DEL GOLFO DE MÉXICO

En la figura 15 aparecen las masas de agua en el diagrama T-S-V. (temperatura-salinidad-volumen) del Golfo de México para febrero-marzo de 1962; de temperatura potencial vs. salinidad (Wilson 1967). En investigaciones de

CUADRO 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS DE AGUA DEL GOLFO DE MÉXICO

MASA DE AGUA	CARACTERÍSTICA	CONCENTRACIÓN	DENSIDAD DEL NIVEL S_0 (KG M^{-3})	ANOMALÍA VOLUMEN ESPECÍFICO $\delta 10^{-8}$ ($\text{M}^3 \text{KG}^{-1}$)	PROFUNDIDAD APROXIMADA (METROS)
<i>Encontrado en la Corriente de Lazo y dentro de los remolinos nuevos</i>					
Subtropical del Sur	Salinidad máxima	36.7-36.8 UPS	25.40	256	150 a 250
Agua 18°C Mar de los Sargazos	Oxígeno máximo	3.6-3.8 ml L^{-1}	26.50	150	200 a 400
<i>Encontrados en el lado externo de la Corriente de Lazo y fuera de los remolinos nuevos</i>					
Agua común del Golfo Máxima	Salinidad máxima	36.4-36.5 UPS	25.40	256	0 a 250
<i>Golfo de México en extenso</i>					
<i>Tropical</i> Agua central	Oxígeno mínimo	2.5- 3.3 ml L^{-1*}	27.15	90	300 a 500
Del Atlántico	Nitrato mínimo	29- 25 mg-at L^{-1**}	27.30	77	500 a 700
<i>Antártica</i> Agua Intermedia	Fosfato máximo	1.7-2.5 mg-at L^{-1}	27.40	67	600 a 800
	Salinidad mínima	34.88-34.89 UPS	27.50	58	700 a 1000
Agua del Caribe	Silicato máximo	23-28 mg-at L^{-1}	27.70	39	1000 a 1200

* La unidad ml L^{-1} , corresponde a mililitros por litro; ($\text{ml} = 10^{-3}$ litro).

** La unidad mg-at L^{-1} , corresponde a microgramos-átomo por litro; ($\text{mg} = 10^{-6}$ gramos).

Fuente: Morrison y Merrell 1983, modificado por Vázquez de la Cerda 1988.

las décadas de 1970 y 1980, las masas de agua se comportaron con una distribución similar. Los números en el cuerpo del diagrama se multiplican por 1,000 km³ y representan el volumen de cada masa de agua en la clase de 2 °C x 0.2 en UPS. La suma en la parte inferior es la distribución de temperatura potencial y al lado derecho es la salinidad; los números entre paréntesis indican el porcentaje del total. Las cifras en el margen izquierdo representan la salinidad de 33 hasta 37 UPS. Y las del margen superior son temperaturas en grados Celsius.

La figura 15 muestra el diagrama T-S-V, además de las curvas de igual densidad con valores en el nivel σ_θ (kg. m⁻³) en la parte superior, y sobre la mismas líneas, en la parte inferior, la Anomalía de Volumen Específico, d (10⁻⁸ m³ kg⁻¹). Así mismo, hay seis elipses que se considera delimitan de una manera aproximada las diferentes masas de agua. De los valores entre paréntesis dentro de cada elipse se obtiene el cuadro 3, que indica únicamente porcentajes de masas de agua en el Golfo de México.

Las masas de agua que proceden del océano Atlántico, de la parte norte, la llamada de 18 °C, y de la parte sur, la Subtropical del Sur, tienen como característica principal la máxima salinidad. Cochrane (1968), en su análisis del mar Caribe en la Anomalía de Volumen Específico de $d = 250 \times 10^{-8}$ m³ kg⁻¹, marca claramente el encuentro entre las dos masas de agua en la parte central de dicho mar (figura 14), cuya profundidad varía de 150 a 250 m, y es donde se localiza la máxima salinidad. En esta región donde se unen las masas de agua debe haber una *difusión doble*, antes de que ellas entren al Golfo de México (ver anexo en este mismo artículo).

La Masa de Agua de 18 °C y la Masa de Agua Subtropical del Sur tienen valores aproximados y similares; es muy probable que el fenómeno de difusión doble llamado “dedos de sal” exista en la parte central del mar Caribe, aunque hasta ahora no se ha reportado dicho fenómeno. Además, en los perfiles de profundidad-salinidad dentro del Golfo de México, existen en muchas estaciones oceanográficas dos máximos de salinidad, muy cerca uno del otro y con una variación muy pequeña entre ellos.

CARACTERÍSTICAS OCEÁNICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

De la Corriente de Lazo se desprenden Remolinos Oceánicos Anticiclónicos (ROA) con un intervalo de seis a diecisiete meses (Ichiye 1962, Cochrane 1972, Behringer *et al.* 1977, Elliott 1982, Vukovich y Crissman 1986). Ellos se desplazan hacia el oeste por la parte profunda del Golfo de México a una

CUADRO 3. PORCENTAJE DE LAS MASAS DE AGUA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Agua Subtropical del Sur	1.24 %
Agua Común del Golfo	4.83 %
Agua de 18 °C	3.72 %
Agua Central del Atlántico	14.58 %
Agua Antártica Intermedia	73.71 %
Agua del Caribe	0.38 %
Total	98.46 %

velocidad de translación de 1 a 4 km/día (Elliott 1982, Vukovich y Crissman 1986), su diámetro aproximado es de 300 km, su traslado afecta la dinámica de las masas de agua a profundidades mayores a los 3,000 m (Kelly *et al.* 1987); como su nombre lo indica tienen una rotación en sentido de las manecillas del reloj. Las masas de agua superiores en su parte central son relativamente más calientes y saladas, con valores superiores a 36.5 UPS, (Nowlin 1972 Vázquez De la Cerda 1975), y su transporte de agua es 10 a 12 Sv (Vázquez de la Cerda 1975). Durante su traslado hacia el oeste del Golfo los ROA van generando Remolinos Oceánicos Ciclónicos (ROC) y transfiriendo energía potencial y cinética (Reid comunicación personal, Merrell y Morrison 1981, Merrell y Vázquez 1983). Los dos ROC más notables son el que se encuentra sobre la plataforma continental de Texas (Cochrane y Kelly 1986) y el que abarca la parte oeste de la bahía de Campeche, al suroeste del Golfo de México (Nowlin 1972, Vázquez de la Cerda 1975, 1993). Otro de menor tamaño y recurrente es el que se localiza al noreste de la Laguna de Tamiahua (Vázquez de la Cerda 1975, Vidal *et al.* 1992). Las características de los ROC son: diámetro no mayor a los 200 km, su influencia no abarca más de los 1,000 m de profundidad; sus masas de agua superiores en la parte central son relativamente más frías, debido a la surgencia que ocasiona su giro en sentido contrario a las manecillas del reloj y algunas veces ventilación de las capas isotérmicas más profundas.

El ROA, al trasladarse hacia el oeste, además de transferir energía, forma extensiones debido a la topografía submarina; el caso más notable se encuentra en el Cañón de Campeche, en el límite profundo de la plataforma continental oeste en la Sonda de Campeche. La extensión sobre el Cañón del Campeche recibe el nombre de Corriente de Intrusión (CI) (Vázquez de la

Cerda, 1975); esta corriente en algunas ocasiones llega hasta las costas frente a los Tuxtlas, Veracruz y en época de los frentes fríos, llamados Nortes, forman un doble Mar de Fondo ortogonal que hace muy peligrosa la navegación en ese lugar.

El ROC de la Bahía de Campeche tiene un transporte de agua de 3.3 ± 1.8 Sv (Vázquez de la Cerda 1993). Su variabilidad depende mucho de los efectos producidos por los frentes fríos durante el otoño y el invierno (Blaha y Sturges, 1981), además la correlación con la CI es muy alta.

La relación entre la CI y el ROC es inversamente proporcional: cuando la CI es extensa y profunda, el ROC es pequeño; cuando el ROC cubre casi toda la Bahía de Campeche, la CI es pequeña (Vázquez De la Cerda 1993) como se desprende del análisis de 20 cruceros en 40 años en el suroeste del Golfo de México.

El análisis de circulación sobre el talud de Texas–Lusiana basado en la elevación de la superficie del mar y los campos de velocidad, utilizando la Anomalía de Geopotencial (GA, por sus siglas en inglés) y la Anomalía de la Altura de la Superficie del Mar (SSHA, por sus siglas en inglés) muestran la variabilidad de los remolinos anticiclónicos y ciclónicos en la parte del noroeste del Golfo de México durante los años de 1992 hasta 1994 (Jochens 1997), siendo este lugar el inicio de la disipación de energía y deformación de los ROA.

Cuando los ROA en el oeste del Golfo de México se encuentran frente a las costas del estado de Tamaulipas, empezarán a elongarse en forma de elipses y a disiparse para formar remolinos ciclónicos (Merrell y Morrison 1981, Merrell y Vázquez 1983). La figura 16 muestra la salinidad en la superficie del mar del ROA en esta región (Vázquez de la Cerda, 1975) según datos obtenidos por el crucero Cosma 7122. La parte central del remolino tiene el remanente de los valores máximos de salinidad del Atlántico, el Agua de 18 °C proveniente del norte y el Agua Subtropical del Sur proveniente del sur. Es muy probable que la cantidad del Agua Subtropical del Sur sea muy pequeña.

La distribución del Agua Antártica Intermedia en el Golfo de México se muestra en la figura 17, en la Corriente de Lazo al este del Golfo, con profundidades mayores de 850 m y con valores que fluctúan de 34.86 UPS a valores mas altos; en la parte oeste del Golfo se encuentra a profundidades a partir de los 750 m, con valores de 34.88 a 34.89 UPS (Nowlin 1972).

El transecto A-B en la figura 18, entre la plataforma continental frente a Puerto de Tampico y la plataforma continental frente a Campeche, sobre la Latitud de 22°20'N en el crucero Cosma 71-10 de mayo-junio de 1971, ha proporcionado una vista excelente de un corte vertical de un remolino

anticiclónico, y aunque se han realizado muchos cruceros posteriores a éste el transecto A-B muestra claramente el corte de un remolino anticiclónico con todas las características de las diferentes masas de agua, la estructura térmica y la salina. En los primeros 100 m de profundidad se encuentran las masas de Agua de 18 °C y Subtropical del Sur, con una cantidad de 15,760 km³, es decir, un 17.2%. Después, entre 100 y 550 m de profundidad, se encuentra la masa de Agua Central del Atlántico, en forma de cono invertido, con una cantidad de 20,800 km³, un porcentaje de 22.7%. Finalmente, el Agua Antártica Intermedia, dividida en dos partes, entre 550 y 850 m de profundidad, que corresponde a Fosfato Máximo en forma de hongo invertido, y la mas profunda, entre 850 y 1,200 m de profundidad, la de salinidad mínima en una forma casi circular. Por la diferencia de escalas, la vertical y la horizontal, realmente son como elipsoides de revolución muy extendidas; el volumen total de la AIA es de 55,000 km³, o sea un 60%. Aunque los valores son aproximados, resultan consistentes con los valores de porcentaje dados por Wilson (1967), tomando en cuenta que él los refiere a todo el Golfo de México.

El AIA, además de tener el mayor porcentaje en el diagrama presentado por Wilson (1967) y el transecto mencionado en el párrafo anterior, cuenta con valores de salinidad de 34.82 UPS en el núcleo de la masa de agua, que deberían corresponder a los encontrados normalmente al este del mar Caribe (ver cuadro 1). Si estas dos características, mayor porcentaje y valores menores en el núcleo, son siempre consistentes, debe considerarse que el AIA será el factor más importante que provoque el desprendimiento de los remolinos anticiclónicos en la Corriente de Lazo. No se han podido comprobar los valores menores en el núcleo nuevamente en otro remolino anticiclónico.

El umbral del Estrecho de Yucatán es de 2,040 m y para el Estrecho de Florida es ligeramente mayor a 900 m. Por tal motivo, el AIA puede penetrar al Golfo de México sin dificultad, pero su salida es mínima y se debe únicamente al arrastre de las masas de agua superiores. Es decir, el AIA se va acumulando a la entrada del Golfo de México y consideramos que es en gran parte el motivo de la extensión de la Corriente de Lazo. El desprendimiento posterior de los Remolinos Anticiclónicos se produce cuando el volumen de agua del núcleo del AIA ha aumentado considerablemente y rompe el equilibrio dinámico de toda la columna de agua, provocando la extensión de los meandros ciclónicos desde la plataforma continental de Yucatán y de Florida, como fue explicado detalladamente por Cochrane (1972).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Actualmente se han intensificado las investigaciones sobre el Golfo de México en el área de las aguas profundas, para obtener más datos y mejorar los modelos matemáticos existentes.

Se conoce bien la parte cualitativa de la formación de los remolinos anticiclónicos en la Corriente de Lazo al este del Golfo de México. Así mismo, la localización de los remolinos ciclónicos casi permanentes en el Golfo, el primero en su extremo este, frente a la costa oeste de la península de Florida; el segundo remolino ciclónico frente a las costas de Texas, abarca toda la plataforma continental. El tercer remolino ciclónico se presenta en la bahía de Campeche y el cuarto remolino recurrente al nordeste de la Laguna de Tamiahua, al norte del estado de Veracruz

El fenómeno más importante en el Golfo de México es la formación de los remolinos anticiclónicos que se desprenden de la corriente del Lazo; el intervalo de desprendimiento varía de meses hasta más de un año, con un valor promedio de 10 meses (Sturges y Leben 2000). Estos remolinos se desplazan hacia el oeste por la parte profunda. El Remolino Oceánico Anticiclónico desprendido de la Corriente de Lazo, además de llevar la masa de agua que proviene de las diferentes regiones del océano Atlántico, la masa de Agua de 18 °C del Atlántico del Norte, el Agua Subtropical del Sur del Atlántico sur y el Agua Antártica Intermedia del océano Antártico, será una región con gran cantidad de calor y salinidad; su geopotencial se irá transfiriendo a los remolinos ciclónicos antes mencionados y por la mezcla y difusión, formará el Agua Común del Golfo.

La formación de las tres masas de agua, en las diferentes regiones en el océano Atlántico, se debe principalmente al enfriamiento de la superficie del mar que ocasiona el paso de los frentes fríos de la atmósfera, que como consecuencia aumentan la densidad del agua y su hundimiento hasta encontrar su nivel de equilibrio. Más salada y con menor profundidad es el Agua Subtropical del Sur en el Atlántico sur; le sigue el Agua de 18 °C en el Atlántico norte, un poco más profunda y menos salada. Al encontrarse ambas en la parte central del mar Caribe, producirán una *difusión doble*; posteriormente, serán la parte superior de la Corriente de Lazo, a la entrada del Golfo de México. Por último, el Agua Antártica Intermedia, formada entre los frentes polares en la Antártida, es la más profunda y la que mayor cantidad de volumen proporciona a la formación de la Corriente de Lazo. Las tres masas de agua proporcionan sus respectivos volúmenes en forma de

pulsaciones intermitentes.

La formación de los remolinos anticiclónicos en la parte ecuatorial y su traslado hacia el noroeste junto con la Corriente Ecuatorial del Norte, trae consigo las masas de agua procedentes del hemisferio sur; estos remolinos, al trasladarse a través del mar Caribe, iniciarán en parte la formación de la Corriente de Lazo.

Consideramos que en la formación de la Corriente de Lazo el traslado de los remolinos y el movimiento de las tres masas de agua, siendo la más importante el Agua Antártica Intermedia, al no salir del Golfo de México y provocar un desequilibrio dinámico al iniciar un giro anticiclónico a su profundidad en la extensión de la Corriente de Lazo, provoca la formación de los Remolinos Anticiclónicos en el este del Golfo de México.

DEDICATORIA

Dedicado el presente trabajo al Prof. John D. Cochran y al Dr. Takashi Ichiye, mis asesores y maestros durante mi maestría en Texas A&M University, College Station (1973-1975), a los almirantes Antonio Vázquez del Mercado y Gilberto López Lira de la Secretaría de Marina, científicos y marinos que supieron impulsar y contribuir grandemente el conocimiento oceánico del Golfo de México. Su recuerdo será un gran aliento para continuar investigando los mares.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. George L. Huebner y al Prof. Robert O. Reid de Texas A&M University por su gran paciencia y guía durante mi doctorado y formación científica. Al Dr. Ingvar Emilsson, gran maestro, amigo y pionero de la oceanografía física en México. Al Dr. Bonifacio A. Peña Pardo del Instituto de Ingeniería, y a la Universidad Veracruzana por su gran apoyo. Al Ing. Juan Carlos Gutiérrez Quevedo por su ayuda para elaborar y terminar este documento. Financiamiento parcial en el proyecto No. R 272106, de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

- Blaha, J.P. y W.A. Sturges 1981. Evidence for wind-forced circulation in the Gulf of Mexico. *J. Mar. Research* 39: 711-734.
- Behringer, D.W., R.L. Molinari y J.F. Festa 1977. The variability of anticyclonic current patterns in the Gulf of Mexico. *J. Geophysical Research* 82: 5469-5476.

- Bjerknes, J. 1964. Atlantic air-sea interaction. *Adv. In Geophysics* 10: 1-82.
- Cochrane, J.D. 1963. Equatorial Undercurrent and related currents off Brazil in March and April 1963. *Science*, 142 (3593): 669-671.
- 1965. Equatorial currents of the western Atlantic. *Technical Report*, Texas A&M University, No. 65-17T: 6-19.
- 1968. Currents and waters of the eastern Gulf of Mexico and western Caribbean, of the western tropical Atlantic Ocean, and of the eastern tropical Pacific Ocean. Tech Rep. Texas A&M University, No. 68-8T: 19-28.
- 1972. Separation of an anticyclone and subsequent development in the Loop Current during 1969. En: *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. L.R.A. Capurro and J.L. Reid, Eds. Gulf Publishing Co., Houston, pp. 91-106.
- 1978. The North Equatorial Countercurrent system west of 40°W. Lecture presented at the *GATE Symposium on Oceanography*, Kiel, FRG.
- Cochrane, J.D. y F.J. Kelly 1986. Low-Frequency Circulation on the Texas-Louisiana Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research*, vol. No. C9: 10,645-10,659.
- Colebrook, J. M. y A. H. Taylor 1979. Year-to-year changes in sea-surface temperatures, North Atlantic and North Sea 1948 to 1974. *Deep-Sea Research* 26A.
- Deacon G. E.R. 1937. The hydrology of the Southern Ocean. *Discovery Reports*, 15, 1-124.
- Defant, A. 1961. Physical Oceanography. Pergamon Press, p 1319. *An advanced-level text*. Volume 1, Pt. I, is descriptive while Pt.2 and all of Vol.2 are dynamical.
- Elliott B.A. 1982. Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *J. Physical. Oceanography* 12: 292-1309.
- Goulet, J. R., Jr, y M.C. Ingham 1971. The shallow layer of high salinity in the southwestern Tropical Atlantic Ocean. *Bulletin Marine Science*. 21 (3): 716-732
- Haurwitz, B. y J. M. Austin 1944. *Climatology*. McGraw-Hill, New York, EE.UU.
- Ichiye, T. 1962. Circulation and water mass distribution in the Gulf of Mexico. *Geofisica. Internacional* 2: 47-76.
- Jenkins, W. J. 1982. On the climate of a subtropical gyre: decade time scale variations in water mass renewal in the Sargasso Sea. *Journal Marine Research*, 40.
- Jochens, A.E. 1997. Circulation over the Texas-Louisiana slope based on sea surface elevation and current velocity fields. Doctoral Dissertation Texas A&M University., 145 pp
- Kelly, F. J., A. M. Vázquez y D. A. Brooks. 1987. El origen de los remolinos oceánicos en la frontera entre U.S.A. y México. Proc. 2nd Reunión indicativa de actividades regionales relacionadas con la oceanografía. Comisión Intersecretarial de investigación Oceanográfica. Noviembre de 1987, Veracruz, México.
- Leetmaa, A. 1977. Effects of the winter of 1976-1977 on the northwestern Sargasso Sea.

- Science* 198: 188-189.
- Merrell, W. J., Jr. y J. M. Morrison 1981. On the circulation of the western Gulf of Mexico with observations from April 1978. *Journal Geophysical Research*, 86: 4181-4185.
- Merrell, W. J. Jr. y A. M. Vázquez 1983. Observations of changing mesoscale circulation patterns in the western Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research* 88 (C12): 7721-7723.
- Metcalf, W. G. A. D. Voorhis y M. C. Stalcup 1962. Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Journal Geophysical Research* 67(6): 2499-2508.
- Metcalf, W. G. y M. C. Stalcup 1967. Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. *Journal Geophysical Research* 72(20): 4959-4975.
- Morrison, J. M. y W. D. Nowlin, Jr. 1982. General distribution of water masses within the eastern Caribbean Sea during the winter of 1972 and fall of 1973. *J. Geophysics*. 1982.
- Morrison, J. M. y Merrell W. J. 1983. Property Distributions and Deep Chemical Measurements within the Western Gulf of Mexico. *Journal Geophysical Research*. Vol 88: 2601, 2602
- Nowlin, W. D., Jr. 1971. Winter circulation patterns and property distributions. En: Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico. L. R. A. Capurro and J. L. Reid, Eds. Gulf Publishing Co., Houston. 3-51.
- Sievers, H. A. y W. D. Nowlin, Jr. 1984. The Stratification and Water Masses at Drake Passage. *Journal Geophysical Research* 89:C11.
- Sturges, W. and R. Leben. 2000. Frequency of ring separations from the Loop Current in the Gulf of Mexico: a revised estimate. *J. Phys. Oceanog.*, 30, 1814-1819.
- Sverdrup, H. U., Johnson, M. W. y Fleming, R. H. 1942. *The Oceans, their physics, chemistry, and General Biology*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. USA.
- Talley L. D. y Raymer M. E. 1982. Eighteen Degree Water variability. *Journal of Marine Research* Volume 40: Supplement, pp. 757-775.
- Vázquez De la Cerda, A. M. 1975. Currents and Waters of the Upper 1200m of the Southwestern Gulf of Mexico. Master's Thesis, Texas A&M University, pp. 107.
- 1978. Fluctuation of salinity maximum of the North Brazilian current and displacement of the high geopotential center. *GATE Symposium on Oceanography and surface Layer Meteorology*. Kiel, F.R. of Germany.
- 1988. Some oceanographic results in the western Equatorial Atlantic Ocean and their consequences in the Gulf of Mexico. Oceanography Seminar, October 24 – October 28, 1988. Texas A&M University, pp. 18.
- 1992. Variaciones y efectos que produce la Subcorriente Ecuatorial en el Océano Atlántico. I Jornadas sobre Hidrografía y Ciencias del Mar, Caracas, Venezuela.
- 1993. Bay of Campeche Cyclone. Doctoral Dissertation Texas A&M University, pp. 91.

- Vázquez De la Cerda A. M. y Kelly. F. J. 1998. Desarrollo del remolino Fourchon (1998) en el Golfo de México. V Congreso Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Boca del Río, Veracruz.
- Vidal, V.M., F.V. Vidal y J.M. Pérez-Molero 1992. Collision of Loop Current anticyclonic ring against the continental slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97, 2155-2172.
- Vukovich, F. M. y B. W. Crissman 1986. Aspects of warm rings in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Research.*, 91, 2645-2660.
- Whitworth, III. T. 1980. Zonation and geostrophic flow of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage. *Deep-Sea Research* 27(7): 497-507.
- Wilson, R. J. 1967. Amount and Distribution of Water Masses in February and March 1962 in the Gulf of Mexico. Master's Thesis, Texas A&M University, 54 pp. 1967.
- Worthington, L. V. 1959. The 18° Water in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research*, 5, 297-305.
- 1977. The intensification of the Gulf Stream after the winter of 1976-1977. *Nature*, 270, 415-417.
- Wüst, G. 1935. Die Stratosphäre des Atlantischen Ozeans, in Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition, "Meteor" 1925-1927. *Alter de Gruyter, Berlin* vol 6 part 1, pp. 109-228.
- Wüst, G. 1957. Stromgeschwindigkeiten und Strommgen in der Tiefen des Atlantischen Ozeans. Wissenschaftliche Ergebnisse des Deutscher Atlantischer Expedition auf dem Meteor. Bd. VI, *Zweiter Teil*, 261-420, 1957.
- 1964. *Stratification and Circulation in the Antilles-Caribbean Basins*. Columbia Univ. Press, Ny, pp 201.
- Yi Chao 1998. Mesoscale Eddies in the Caribbean Sea. *U. S. WOCE Report*. 1998 U.S. WOCE Implementation Report Number 10 U.S. WOCE Office, College Station, TX. pp. 8-11.

TERMINOLOGÍA

Termóclina: es un estrato de agua en el que se observa un marcado gradiente vertical de temperatura.

UPS. Unidad Práctica de Salinidad. = $\text{gr kg}^{-1} = \text{‰}$. Cantidad de sales disueltas gramos en un kilogramo de agua de mar.

σ_t : es el símbolo llamado *sigma-t*. Una anotación abreviada para indicar la densidad de una muestra de agua de mar, usando la relación $\sigma_t = (\text{densidad} - 1) \times 10^3$, de tal manera que un agua de mar normal, cuya densidad es 1.02680, tiene un σ_t de 26.8.

Vorticidad potencial: es el producto de la estabilidad estática y la vorticidad absoluta;

conservativo en un flujo adiabático. Adiabático significa que no pierde ni gana calor. vorticidad absoluta es la suma de vorticidad relativa y la vorticidad planetaria. La vorticidad relativa o simplemente vorticidad es una característica cinemática del fluido que expresa su tendencia a girar. Vorticidad planetaria o Parámetro de Coriolis, $f = 2\Omega \sin j$; ($\Omega = 7.29 \times 10^{-5}$ rad /s).

Sverdrup (Sv): es una unidad de transporte o gasto = $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ = Un millón de metros cúbicos por segundo.

Estación oceanográfica: se realiza cuando el buque de investigación se detiene y queda a la deriva para realizar mediciones de varios parámetros a diferentes profundidades. La Anomalía de Volumen Especifico anteriormente se daba en centilitros tonelada (cl ton^{-1}) para evitar el coeficiente de 10^{-8} al expresarlo en $\text{cm}^3 \text{ gr}^{-1}$.

La unidad ml l^{-1} , corresponde a mililitros por litro; ($\text{ml} = 10^{-3}$ litro).

La unidad mg-at l^{-1} , corresponde a microgramos-átomo por litro; ($\mu\text{g} = 10^{-6}$ gramos).

ANEXO

DIFUSIÓN DOBLE

Aunque la columna de agua puede ser estadísticamente estable, en un momento dado se puede iniciar una inestabilidad debido a que el agua de mar es un fluido de componentes múltiples. Las proporciones de las componentes de calor y sales disueltas (difusas en forma molecular), son diferentes. Dos masas de agua de la misma densidad pero con diferente composición de temperatura y salinidad en contacto, una sobre la otra, producen diferencialmente la *difusión doble*. El cambio de estas propiedades origina alteraciones en la densidad, lo cual produce capas inestables. La investigación en este tema ha sido realizada de manera constante por Turner (1973, 1981).

La *difusión doble* puede jugar un papel significativo en la mezcla de masas de agua a pequeña escala en los océanos así como en la formación de una estructura “fina”. Las variaciones verticales a pequeña escala (uno o varios metros) han sido encontradas en los océanos con mejores observaciones en los registros de STD o CTD (instrumentos de salinidad o conductividad temperatura, profundidad).

Al considerar varios casos de estabilidad estática positiva pero sin movimiento inicial, cuando se inicia dicho movimiento, particularmente un turbulento generado

Este anexo corresponde a la traducción parcial del apartado *Double diffusion* del capítulo 5 del libro de Stephen Pond y George L Pickard 1986. *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press.

por un esfuerzo cortante con velocidad o una fuerte inestabilidad estática, la difusión turbulenta dominará y probablemente proporcionará los efectos de *difusión doble* haciéndolos importantes.

Supongamos que hay una capa caliente y de agua salada en la parte superior y una fría y de menor salinidad en la parte inferior (figura 19), de tal manera que la capa superior tiene la misma densidad o es ligeramente menor que la capa de abajo. Entonces, el agua más salada en la interfase empezará a perder calor rápidamente hacia el agua más fría que se encuentra en la parte inferior; la pérdida de sal es más lenta debido a que la razón de difusión molecular del calor es cerca de 100 veces mayor que la difusión de la sal. Si la diferencia de densidad entre las capas es pequeña, el agua más salada de la parte superior se volverá más pesada que la capa de agua más fría y menos salada y se hundirá dentro de esa capa. Además, el agua fría y menos salada por debajo de la interfase ganará calor rápidamente con respecto a la cantidad de sal pudiendo ser suficientemente ligera, elevándose así a la capa superior. La situación se conoce como *inestabilidad de difusión doble*. El descenso y ascenso de movimiento de agua es en forma de columnas muy delgadas, se conoce como el fenómeno *dedos de sal*. Williams (1975) experimentó esto en laboratorio y posteriormente se comprobó en observaciones en el mar. Existe evidencia de que ocurre en el océano: la capa de agua salina y caliente del mar Mediterráneo en el Estrecho de Gibraltar dentro del agua menor salinidad y fría del océano Atlántico.

Si la capa es mas fría y de menor salinidad, encontrándose arriba de una capa más caliente y salada (figura 20), el agua justo arriba de la interfase llegará a ser más ligera que el agua que está arriba y tiende a elevarse, mientras que el agua abajo se vuelve más pesada

FIGURA 19. LAS DOS FORMAS DE DIFUSIÓN DOBLE. MASA DE AGUA MÁS SALADA Y DE MAYOR TEMPERATURA EN LA PARTE SUPERIOR INICIARÁ LA FORMACIÓN DEL EFECTO *DEDOS DE SAL*. T ES TEMPERATURA O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN RÁPIDA; S ES SALINIDAD O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN BAJA

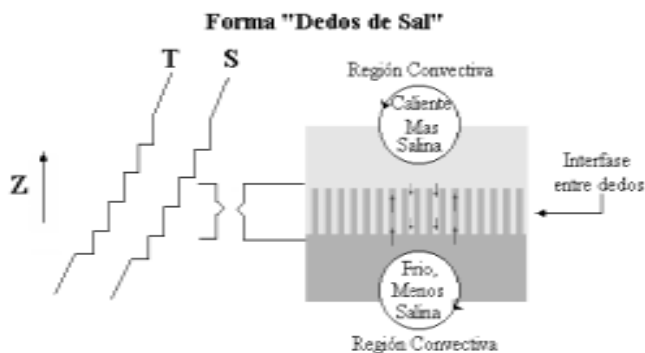
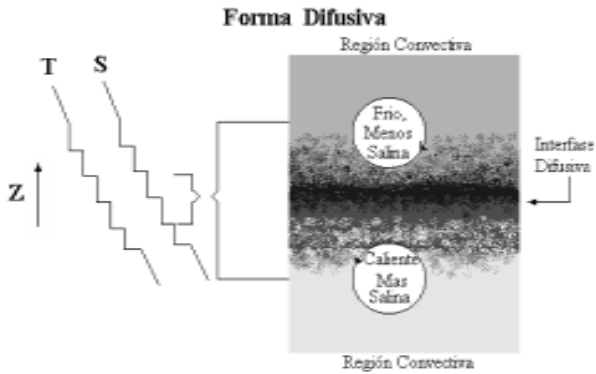


FIGURA 20. LAS DOS FORMAS DE DIFUSIÓN DOBLE. CONSISTE EN TENER UNA MASA DE AGUA MENOS SALADA Y MÁS FRÍA EN LA PARTE SUPERIOR, QUE CORRESPONDE A LA *FORMA DIFUSA*. T ES TEMPERATURA O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN RÁPIDA; S ES SALINIDAD O LA SUSTANCIA DE DIFUSIÓN BAJA



y tiende a hundirse. Este fenómeno es llamado *Estratificándose* y puede producir capas claramente homogéneas, separadas por regiones con gradiente prominente de salinidad y temperatura. Hay evidencia de este fenómeno en el océano Ártico y en otros lugares.

Ambos procesos podrán conducir verticalmente el calor y la sal, siendo más grandes con respecto a la razón de difusión molecular. Por lo tanto, la mezcla de agua de mar se da en mayores cantidades, que sin estos procesos, no sería posible. Una vez iniciado el movimiento pueden ser dinámicamente estables los procesos y romperse en pequeñas escalas con movimientos turbulentos, llegando a ser muy complicados.

La última posibilidad es agua caliente y menos salada arriba, de una capa de agua fría y más salada que no permita la inestabilidad de doble difusión. El agua menos salada superior se enfría, de tal manera que no permite elevarse, pero tampoco consigue ser mas fría que el agua que es más salada por debajo, de tal manera que no presenta tendencia a enfriarse. Similarmente, el agua más salada inferior no propende a subir o bajar. Para que ocurra *difusión doble*, los gradientes de temperatura y salinidad a través de la interfase deben de ser del mismo signo; entonces afectan la densidad de manera opuesta y la *difusión doble* puede ocurrir.

BIBLIOGRAFÍA DE ESTE ANEXO

- Turner, J. S. 1973. Buoyancy Effects in Fluids. Discusses various consequences of gravity acting on small density differences in fluids. *E.g.* internal waves, instability of shear flow, buoyant convection, double diffusion and mixing. Graduate level. : Cambridge University Press. p. 367
- Turner, J. S. 1981. Small-scale mixing processes. En: *Evolution of Physical Oceanography*. B.A. Warren and C. Wunch (Eds), MIT, Press. Ch.8, pp 236-262.
- Williams, A.J. 1975. Images of ocean microstructure. *Deep-Sea Research*, **22**, 811-829.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL GOLFO DE MÉXICO

Guadalupe de Lanza Espino y Juan Carlos Gómez Rojas

INTRODUCCIÓN

La cuenca del Golfo de México posee una longitud de 1,600 km en la línea este-oeste, 1,300 km en la línea norte-sur en su porción occidental y 900 km en las porciones central y oriental. Cuenta con 1.6 millones de km² de superficie y un volumen aproximado de 2.3 millones de km³ (Secretaría de Marina 2002). El tipo de mareas en esta región se caracteriza por su homogeneidad, predominando la marea diurna; a nivel general cooscila con la del océano Atlántico. La zona económica exclusiva mexicana es del orden de 0.9×10^6 km² que representan 55% de la superficie total del Golfo (Vidal-Lorandi *et al.* 1999). Es un mar interior diverso con características físicas y químicas resultado de su ubicación latitudinal; desde tropical, subtropical hasta templado, con climas distintos, catalogados como épocas de “secas (primavera), lluvias (verano, otoño) y nortes (invierno)”. Asimismo, con aportes permanentes de seis principales ríos que drenan directamente al Golfo: el Pánuco, el Coatzacoalcos, el Papaloapan, el Grijalva-Usumacinta a través del Frontera, el Champotón y el Bravo, y por parte de los Estados Unidos de América el Misisipí (figura 1), entre otros; que le aportan directamente una cantidad significativa de sedimentos en suspensión y nutrientes y en forma indirecta ambientes, como lagunas y manglares adyacentes; todos en un perímetro de 4,000 km de litoral desde Yucatán hasta Florida. No

de profundidad). Cada masa de agua se identifica por su temperatura y salinidad características y en ocasiones, por su contenido de oxígeno.

MAREAS

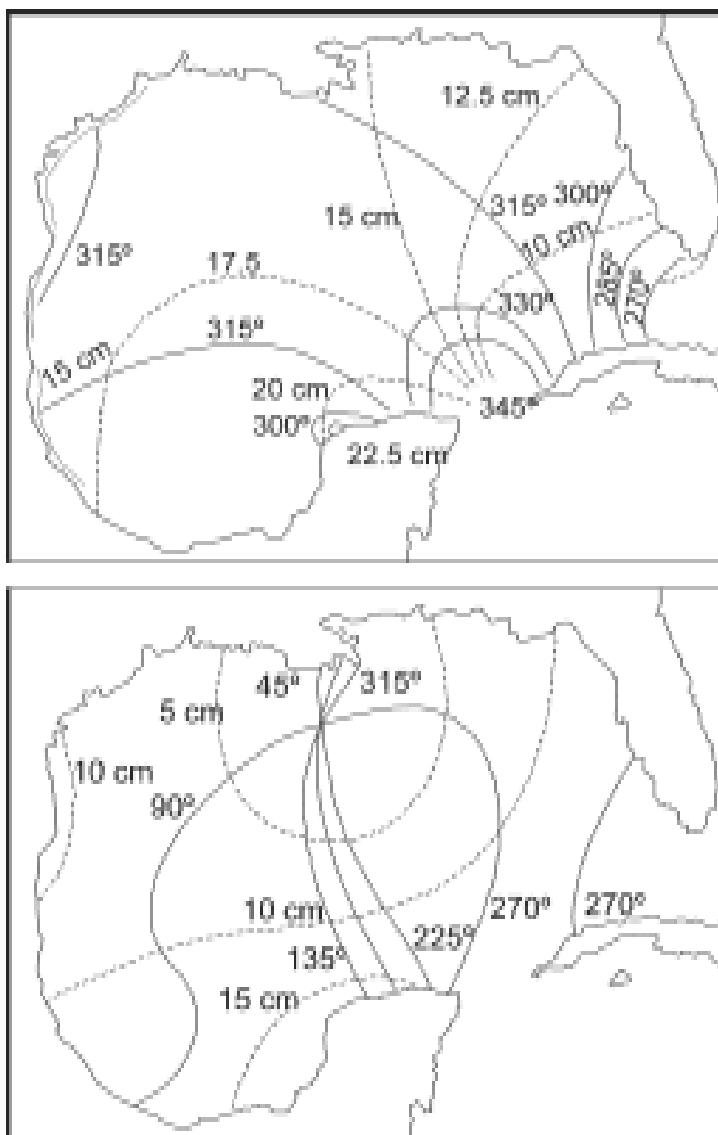
Se han desarrollado varias hipótesis para tratar de establecer cómo se producen las mareas dentro de la cuenca del Golfo. En 1932, Grace (citado por Zettler y Hansen 1972) propuso que la marea diurna en el Golfo se debe principalmente a una cooscilación con la marea del océano Atlántico vecino, la cual penetra a la cuenca a través del estrecho de Florida y después de cinco a seis horas sale de la zona por el canal de Yucatán con un punto anfdrómico al sur del delta del río Misisipi, que determina cambios muy rápidos en la fase mareal a lo largo del delta, así como en el lado norte de la Península de Yucatán, proponiendo un giro de las líneas cotidales en contra de las manecillas del reloj. En contraposición a esta teoría, Sterneck (citado por Zettler y Hansen 1972) encontró un punto nodal cerca del Golfo, pero estableciendo una rotación de la onda mareal en el sentido de las manecillas del reloj.

Marmer (citado por Zettler y Hansen 1972) atribuye la marea diurna del Golfo al periodo de resonancia de la cuenca, mencionando que dicho periodo tiene un valor cercano a las 24 horas, lo cual equivale al tiempo característico de la fuerza productora de mareas diurnas. Zettler y Hansen (1972) aclaran que para aceptar la teoría de Marmer se necesita un punto anfdrómico localizado en el centro del Golfo, lo cual provocaría la presencia de fases opuestas en los extremos de este nodo.

Otra teoría postula la existencia de una onda estacionaria en la región de Florida. La corriente de marea en esta zona, sobre todo en el estrecho, no es pequeña y sugiere la presencia de un nodo de onda estacionaria. Datos de amplitud y fase, confirman que hay una oscilación de una onda estacionaria en el Estrecho de Florida (figura 2) con un punto nodal cercano a Miami. Además, estas constantes armónicas en la región oeste del mar Caribe también exhiben amplitudes pequeñas (3-9 cm) y cambios de fase rápidos, por lo que se puede establecer una comparación entre las dos regiones (Zettler y Hansen 1972).

Las oscilaciones inerciales dentro del Golfo tienen un periodo aproximado de 28 horas y presentan un giro anticiclónico (Brooks y Legeckis 1982, Kirwan *et al.* 1984). Reide y Whitaker (1981 citado por Kirwan *et al.* 1984) también proponen que existe una resonancia mareal en la cuenca del Golfo

FIGURA 2. LÍNEAS DE IGUAL FASE (---) Y LÍNEAS DE IGUAL AMPLITUD (—) PARA K1 (A). LÍNEAS DE IGUAL FASE (---) Y LÍNEAS DE IGUAL AMPLITUD (—) PARA M 2



Fuente: Grase, 1932 citado por Zettler y Hansen 1972.

de 30 horas. Esta información parece apoyar las ideas de Marmer (1954), en relación con el periodo de oscilación del Golfo y de alguna forma ponen en duda el giro de las líneas cotidales propuesto por Grace en 1932.

Las mareas en la mayor parte del Golfo de México (figura 3) son de tipo diurno ($F = M_2 + S_2 / K_1 + O_1 = < 3$) con algunas regiones de mareas mixtas como en las zonas noreste y noroeste del Golfo (plataforma de Texas-Luisiana, Florida y Caribe mexicano). La presencia de estas mareas en algunas regiones del Golfo podría deberse principalmente a la interacción entre la onda mareal y la topografía dominante de cada lugar, así como a las fases lunares-solares; por ejemplo, en la zona noreste constituida por la plataforma continental de Florida se presenta un escarpe y diferentes irregularidades topográficas que pueden provocar la formación de mareas mixtas, además de la influencia de los vientos en esa región (De la Lanza Espino 1991).

FIGURA 3. AMPLITUD DE MAREA. $F = (M_2 + S_2) / (K_1 + O_1)$



Modificado de www.ssc.erc.msstate.edu/Tides2D/gulf_of_mexico.html (procedente L. Kantha de la Universidad de Colorado).

Mediciones del nivel del mar realizadas en diferentes puntos de la costa del Golfo de México durante un periodo de 15 años, muestran que los niveles más altos del mar durante las cuatro temporadas del año se presentan en Coatzacoalcos, Veracruz (189 a 213 cm), debido a las características morfológicas del estuario favoreciendo la altura de las ondas mareales; mientras que durante el invierno en Ciudad Madero, Tamaulipas es de 179.8 cm y Progreso, Yucatán es de 112.7 cm. Las costas del Caribe mexicano presentan mareas mixtas (De la Lanza Espino 1991).

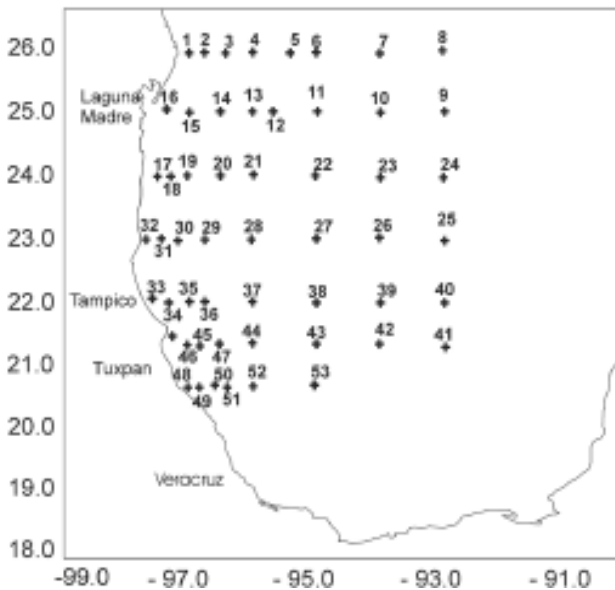
TEMPERATURA

En el Golfo de México la temperatura está determinada por el influjo de las aguas cálidas de la Corriente del Lazo, que se introduce por Canal de Yucatán y la zona del Caribe, cuya dinámica afecta aproximadamente al 50% del Golfo de México, donde además, la evaporación supera a la precipitación (Biggs 1992). Se caracteriza por tener una temperatura superficial de 28 a 29 °C durante el verano, con un incremento en las aguas superficiales de noroeste a sureste, debido a la intromisión de la Corriente del Lazo; en invierno disminuye hasta los 19 o 20 °C, ya que los vientos fríos provenientes del norte ponen resistencia a las aguas cálidas procedentes del sureste, las cuales, en su trayectoria hacia el noroeste del Golfo de México, van transmitido su calor a las aguas de menor temperatura (Nowlin y McLellan 1967). Müller-Karger y Walsh (1991) señalan que la temperatura superficial de las regiones oeste y este del Golfo de México, de julio a septiembre, tienen una temperatura similar > 29 °C, pero de diciembre a abril la región oeste tiene aproximadamente 4 °C menos que la región este. Debido a que las aguas de la región oeste están más alejadas de la influencia de la Corriente del Lazo, sus temperaturas mínima y máxima se mantienen durante largos periodos en comparación a las del este que tienen una menor duración, por la continua intromisión de las aguas cálidas del Caribe que entran al Golfo vía la Corriente del Lazo.

En la temporada de invierno (enero), en el área comprendida entre la zona de descarga del río Bravo y la Laguna Madre, la temperatura superficial es de 12 °C y en el noroeste al interior de la plataforma continental en un área de 110 km es de 10 °C; estas variaciones están asociadas al enfriamiento de las aguas costeras por los vientos del norte y por las aguas frías que descargan los ríos como el Misisipí, Afchafalaya y Bravo; en menor medida por el Soto La Marina y Pánuco. Frente a Matamoros en aguas mar adentro, la

temperatura es de aproximadamente 12 °C y frente al río Carrizal 15.5 °C; entre Tuxpan y Tampico hay un incremento abrupto para llegar a aproximadamente 22 °C, como resultado de los flujos baroclínicos de la zona de transición de giros anticiclónicos y ciclónicos, que provocan la intromisión de masas de agua del Golfo a la plataforma continental frente a Tamiahua; esta temperatura decrece a 16.85 °C frente al río Tuxpan, causada por la intromisión de la masa de agua del Golfo y en Veracruz la temperatura de las aguas costeras es de 22 °C, aproximadamente (Vidal *et al.* 1994).

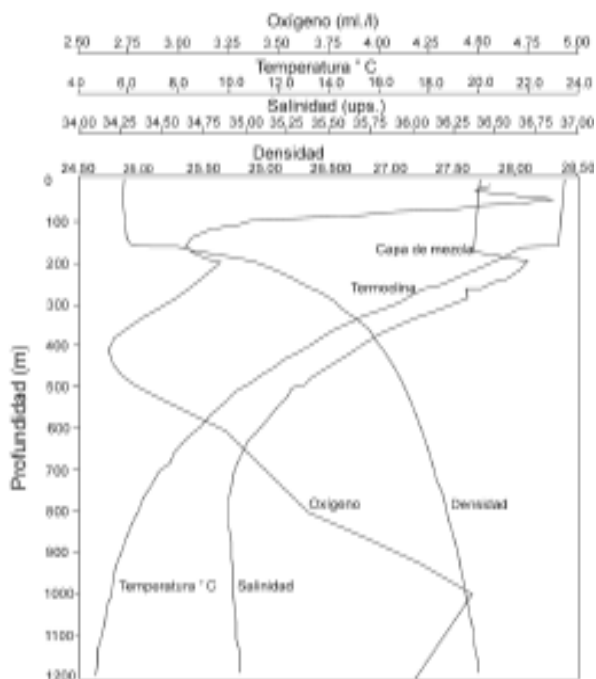
FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES ESTUDIADAS POR VIDAL *ET AL.* (1990)



En el Golfo de México la distribución vertical de la temperatura está en función de las masas de agua, de las características locales de circulación, de la dinámica general de las corrientes y de la estacionalidad, que determinan la permanencia y temporalidad de las termoclinas. En el noroeste del Golfo de México la termoclina inicia aproximadamente a los 200 m de profundidad con un grosor de 1,000 m como se muestra en las figuras 4 y 5 (Vidal *et*

al. 1994); al este del Golfo de México, Morrison y Nowlin (1977) la señalan a los 50 m de profundidad hasta alcanzar 4.25 °C, a 1,600 m.

FIGURA 5. PERFIL VERTICAL DE LA TEMPERATURA, SALINIDAD, DENSIDAD Y OXÍGENO FRENTE A LA LAGUNA MADRE (ESTACIÓN 11, 27° N-95° W) EN ENERO DE 1984



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1994.

En la plataforma de Campeche se registran temperaturas de 29 °C superficiales hasta una profundidad entre 40 m y 60 m (Signoret *et al.* 1998). De la Lanza Espino (1991) menciona que conforme se acerca la temporada de Nortes, la temperatura superficial de las aguas caribeñas se abaten siendo menor la diferencia entre éstas y las capas subsuperficiales, lo cual provoca que la termoclina durante el invierno sea ligeramente más somera.

En el Golfo de México se observan variaciones térmicas verticales espacial y temporalmente, resultado de la formación de giros ciclónicos (fríos) y anticiclónicos (calientes); estos últimos debido al estrangulamiento de la Corriente del Lazo, formando anillos aislados con temperaturas similares a las de la Corriente del Lazo; con desplazamientos hacia el noroeste del Golfo de México, originándose una mezcla de tipo convectiva, la cual transforma a las Aguas Subtropicales Subsuperficiales en aguas típicas del Golfo de México con una temperatura de 22.5 °C. En el Golfo de México existe un giro anticiclónico frente a las costas de Tamaulipas, que provoca el hundimiento de aguas superficiales con temperaturas cálidas hasta una profundidad de 1,200 m. Los giros ciclónicos como contraparte de los anticiclónicos, se forman en las periferias de estos, con ascenso de aguas frías. Los giros ciclónicos más importantes del Golfo México se localizan frente a la descarga del río Bravo y Laguna Madre fuera de la plataforma (figura 6), en el oeste de Florida, así como en la plataforma de Campeche (Banco y Bahía de Campeche) (De la Lanza Espino 1991).

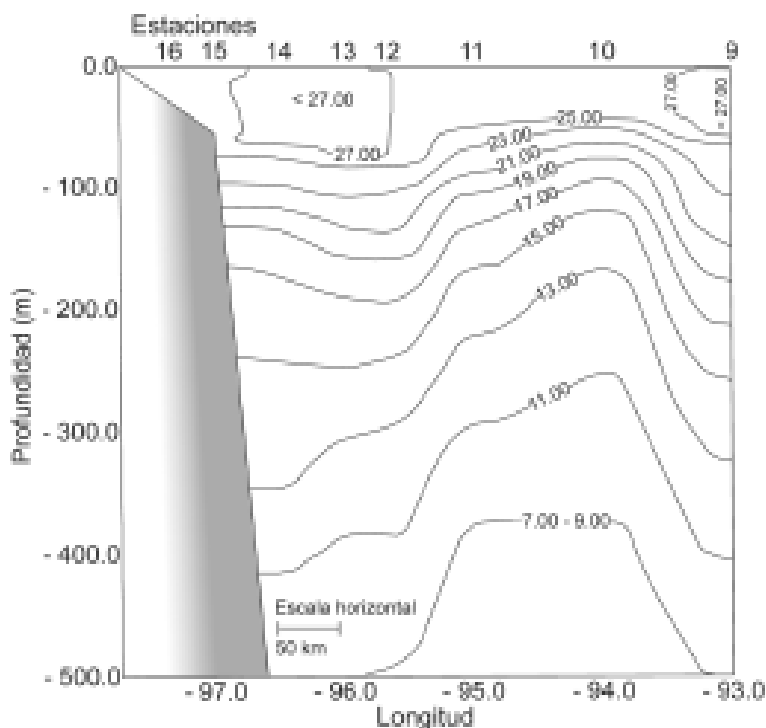
SALINIDAD

Al igual que la temperatura, la distribución de la salinidad está fuertemente relacionada con la Corriente del Lazo, la cual tiene una salinidad mayor a 36.8 por arriba de los 200 m, como resultado del predominio de la evaporación sobre la precipitación en la región del Caribe (Biggs 1992). Las salinidades en invierno son menores al norte del Golfo con 32.16, debido a la época y a la influencia de los ríos (Nowlin y McLellan 1967); en la plataforma de Campeche alcanzan 36.4 a 36.6, siendo las mayores del Golfo y de la Corriente del Caribe, originadas por la fricción de las capas de la Corriente de Yucatán que tocan la plataforma de la península y afloran a la superficie dispersándose sobre ella (Nowlin 1972).

Las aguas típicas del Golfo de México tienen una salinidad de 36.5, producto de la mezcla de los giros anticiclónicos con la masa de Agua Subtropical Subsuperficial, que tiene una salinidad de 36.6 a una profundidad de 70 m (Biggs 1992).

Según Vidal *et al.* (1994), la distribución de la salinidad al oeste del Golfo de México está determinada por la dirección de los giros anticiclónicos que se dirigen hacia el norte y la de los giros ciclónicos que se dirigen hacia el sur, así como a la zona de transición que separa a ambos. Hay salinidades costeras mínimas de 31.5 de Matamoros a Tampico y las más altas en aguas mar

FIGURA 6. PERFIL VERTICAL DE LA TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)
EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

afuera con 36.41 (figura 5). Las bajas salinidades de las aguas costeras se asocian a las descargas de los ríos y lagunas, como producto de la dilución entre las aguas marinas y las continentales, que se caracterizan por presentar salinidades bajas. En la figura 7 se aprecia un giro ciclónico frente a Laguna Madre mar afuera, según Vidal *et al.* (1990).

La distribución vertical de la salinidad está en función de las masas de agua que ingresan a la cuenca del Golfo de México, así como del efecto de mezcla vertical inducida por los giros ciclónicos y anticiclónicos que diluyen las masas de agua presentes desde las capas superiores hasta profundidades de 700 a 1,000

que las profundidades de estas masas son aproximadas, ya que están sujetas a variaciones espaciales y temporales considerables, determinadas por el campo de circulación baroclínico de los pares ciclones-anticiclones dentro del Golfo de México (Vidal *et al.* 1990).

MASAS DE AGUA

Según Vidal *et al.* (1990) existen siete masas de agua (cuadro 1); por su parte Nowlin (1971), a partir de una estación hidrográfica ubicada en el centro de la cuenca, estableció la existencia de seis masas de agua. Una de las características primordiales de la masa de agua subsuperficial oceánica es la presencia del Agua Común del Golfo (ACGM) que se identifica por su salinidad de 36.30 a 36.40 y una densidad de 24.50 a 25.50, que se forma cuando los giros anticiclónicos provenientes de la Corriente del Lazo colisionan con el talud continental del noroeste del Golfo México, así como en el invierno cuando el régimen de vientos origina una capa de mezcla de aproximadamente 170 m que diluye al Agua Subssuperficial Subtropical (Vidal *et al.* 1990, 1994).

Agua Subtropical Subssuperficial del Golfo de México (AS_SSC). Proviene del Mar Caribe y se identifica dentro del Golfo por su salinidad > 36.60 y una densidad de < 25.50 a < 26.30 con una temperatura de $22\text{ }^{\circ}\text{C}$; su presencia dentro del Golfo de México se debe a los giros anticiclónicos que se desprenden de la Corriente del Lazo en la región nororiental del Golfo de México (Elliott 1979, 1982). Estos giros, al desprenderse de la Corriente del Lazo, incorporan agua del mar Caribe al Golfo.

Agua de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ del mar de los Sargazos. Según Worthington (1959) y Schroeder *et al.* (1959) la formación de esta masa de agua ocurre durante el invierno en la región norte de ese mar y se caracteriza por tener una salinidad de 36.50, una temperatura de $17.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una inflexión en la curva de oxígeno disuelto que se manifiesta por la presencia de un segundo mínimo (Kinard *et al.* 1974). El Agua de los $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ de los Sargazos ingresa al mar Caribe a través del Pasaje de Winward (entre las islas de Cuba y Santo Domingo) a una profundidad aproximadamente de 300 m de donde se dispersa hacia las cuencas de Yucatán y Caimán; esta masa de agua ha sido identificada en la Corriente de Florida por Worthington (1959), por lo que su presencia dentro de esta corriente infiere su ingreso del mar Caribe al Golfo de México, a través del Estrecho de Yucatán y su incorporación a la Corriente del Lazo. El desprendimiento de los giros anticiclónicos de la Corriente del Lazo trans-

portan el remanente del Agua de 18 °C del Mar de los Sargazos hacia el interior del Golfo, la cual se identifica por la presencia de un segundo mínimo de oxígeno disuelto (< 2.80 a < 3.50 ml/L).

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS MASAS DE AGUA EN EL GOLFO DE MÉXICO

MASA DE AGUA	CARACTERÍSTICA QUE LA IDENTIFICA	PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE DENSIDAD (σ_t)	CONCENTRACIÓN
Agua común del Golfo ACGM	Max. sal. sub.	125-250	24.50-25.50	36.30 a 36.40
El agua subtropical subsuperficial del Golfo de México AS _t SGM	Max. sal. sub	125-225	25.50-26.30	36.60 a 36.75
Agua de 18 °C del mar de los Sargazos	Max. oxi. dis.	200-280	25.80-26.50	2.80 a 3.50 ml/L O ₂
Agua Central del Atlántico Tropical ACAT	Min. oxi. dis.	300-500 100-680*	26.80-27.20	2.40 a 2.80 ml/L O ₂
Agua Intermedia Antártica AIA, (a partir de los 800 m**)	Max. nit. dis	300-1500	27.10-27.74	28.70 a 34.90 mM
	Max. fos. dis	400-980	27.25-27.63	1.62 a 1.82 μ M
	Min. salino	620-900	27.35-27.50	34.89 a 34.91
Agua subtropical subsuperficial del Caribe AS _t SC y porción superior del APNA	Max. sil. dis	430-3500	1100-1600*	27.26-26.76 21.80 a 26.50 μ M
Agua Profunda del Noratlántico APNA	Max. rel. sal.	1500-3600 1600-1900***	27.76-27.78	34.96 a 34.99

* Según Metcalf (1976).

** Según Pickard (1979).

*** Según Nowlin y McLellan (1967).

Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

Agua Central del Atlántico Tropical (ACAT). Metcalf (1976) la describe como una masa de agua que posee características intermedias entre la más salina Agua Central del Atlántico Norte y la menos salina Agua Central de Atlántico Sur. El Agua Central del Atlántico Tropical se localiza entre 100 y 680 m de profundidad y se identifica por su concentración de oxígeno disuelto mínima de 2.40 a 2.80 ml/L, su salinidad promedio de 35.50, una temperatura de aproximadamente 12 °C y una densidad promedio de 27.20.

Agua Intermedia Antártica (AIA). Se forma en la Convergencia Antártica, donde se incorpora a la circulación intermedia del Atlántico sur y migra hacia al norte como una lengüeta de mínima salinidad cuyo núcleo de < 34.30 a < 34.50 se localiza a los 800 m de profundidad (Pickard 1979). La masa de agua Remanente del Agua Antártica Intermedia, ingresa al mar Caribe a través de los Pasajes de Santa Lucía (entre las islas de Martinica y Santa Lucía), con una salinidad de 34.60 a 34.80 (Wüst 1963, 1964). Al ingresar al Golfo de México y dispersarse hacia el oeste, mediante el desprendimiento de giros anticiclónicos de la Corriente del Lazo, el Remanente del Agua Antártica Intermedia incrementa su salinidad y reduce el espesor de su estrato hasta alcanzar salinidades de < 34.88 a < 34.89 entre los 700 y 750 m de profundidad en la región occidental del Golfo (Nowlin 1972, Vidal *et al.* 1986a, 1986b).

Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (As_sC). La formación de esta masa de agua ocurre dentro del mar Caribe a temperaturas potenciales de < 4.0 a < 5.5 °C a profundidades de 1,100 a 1,600 m (Metcalf 1976). Esta masa de agua se caracteriza por tener una salinidad de aproximadamente de 34.93, una concentración de silicatos de 26.0 a 28.0 mM SiO_4 y una densidad de 27.66.

Agua Profunda del Noratlántica (APNA). Ingresa al Golfo de México vía el mar Caribe, a través de la profundidad del umbral (1,600 a 1,900 m) del Estrecho de Yucatán (Nowlin y McLellan 1967). En la Cuenca de Yucatán, Wüst (1963) señala que, entre los 1,500 y 2,000 m de profundidad, se tiene una salinidad de 34.96 a 34.99, una temperatura de 4.00 a 4.10 °C y una concentración de oxígeno disuelto de 5.00 a 5.75 ml/L. Esta masa de agua constituye la masa de agua profunda del Golfo de México.

De estas masas de agua, cuatro se ubican dentro de la capa cálida (0 a 500 m de profundidad) como Agua Subsuperficial Subtropical, Agua Característica del Golfo de México, Agua de los 18 °C del mar de los Sargazos y Agua Central del Atlántico Tropical. En la capa fría de 500 a 3650 m de profundidad se encuentra al Agua Intermedia del Caribe y la Agua Profun-

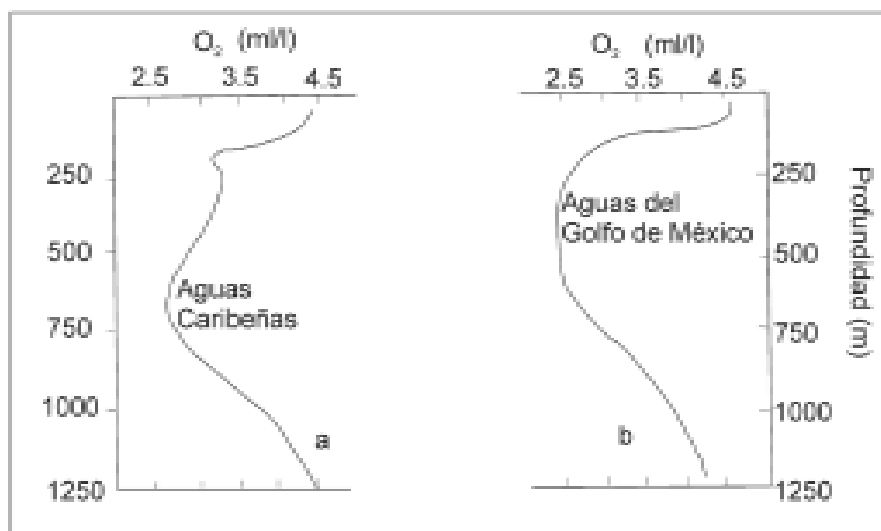
da del Atlántico Norte. Según Vidal *et al.* (1990), de todas estas capas seis ingresan al Golfo de México a través del Estrecho de Yucatán y de los giros anticiclónicos que migran hacia el oeste; la séptima es la del propio Golfo.

OXÍGENO

El oxígeno disuelto superficial de las aguas del Caribe mexicano es homogéneo en el transcurso del año, manteniendo niveles de 4 a 5 ml/L, con un máximo a los 50 m de profundidad de 6.1 ml/L y a los 200 m 3.2 ml/L (De la Lanza Espino 1991). Como esta agua conforma la Corriente del Lazo, que representa más del 50 % del agua que entra a la cuenca del Golfo de México, el contenido de oxígeno en el Golfo es uniforme en la capa superficial de mezcla de (0 a 150-250 m de profundidad) con 4.5 ml/L; como se observa en la plataforma de Campeche, Veracruz y el Caribe. Otra característica importante de este Golfo es la presencia de la capa mínima de oxígeno a una profundidad entre los 200 y 600 m aproximadamente, con una concentración de 2.0 ml/L al noroeste y a una profundidad de 600 m en la Corriente del Lazo con < 3.0 ml/L (Morrison y Nowlin 1977); esta capa mínima de oxígeno se observa también en aquellas aguas propias del Golfo (Nowlin 1971; El-Sayed *et al.* 1972) (figura 8). Dicha capa está en función de los factores climáticos y su grosor depende de las características locales de circulación, ya que asciende en los giros ciclónicos y desciende en los anticiclónicos y se origina en el mar Caribe por la masa de Agua Central de Atlántico Tropical, dada su similitud en el contenido de oxígeno (Vidal *et al.* 1990).

En la región oceánica del giro ciclónico noroeste que origina un surgimiento de la capa subsuperficial, la concentración de oxígeno disuelto es de 4.5 ml/L; Vidal *et al.* (1990) mencionan que este contenido está asociado probablemente a un fenómeno de fotosíntesis. Frente a Matamoros el contenido es de 6.0 ml/L de oxígeno, así como la temperatura y salinidad revelan la existencia de un equilibrio dinámico entre el agua superficial y la atmósfera (Vidal *et al.* 1990, 1994). En la plataforma de Yucatán se ha registrado una sobresaturación del 112%, (6.11 ml/L) a una profundidad de 20 m (Signoret *et al.* 1998), condicionada por una alta productividad resultado de la surgencia que propicia una mayor concentración de oxígeno. Frente a la Laguna de Tamiahua y en el área de influencia del río Coatzacoalcos las oxiclinas son más superficiales, de 60 a 100 m, con niveles de 3.2 ml/L, debido a factores de la dinámica estacional, así como por la intromisión de agua proveniente de los sistemas fluviales (Secretaría de Marina 1972a).

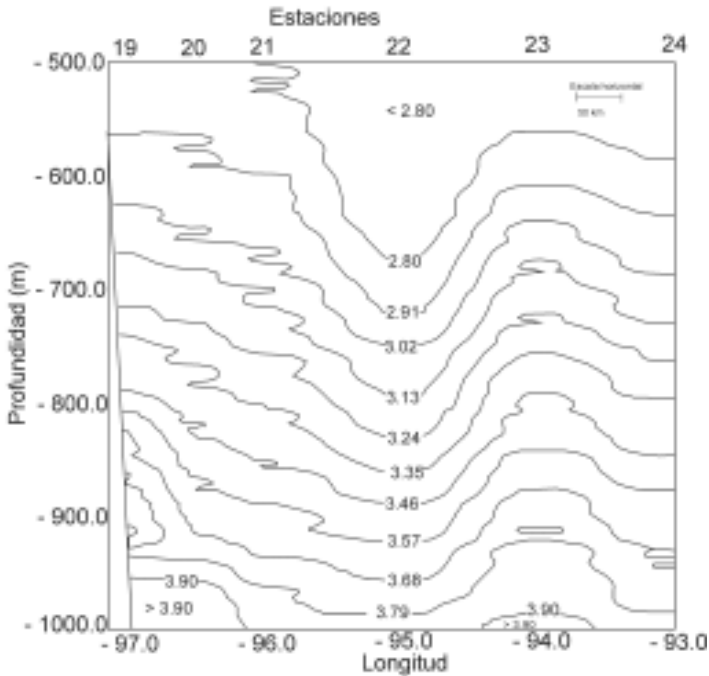
FIGURA 8. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS CARIBEÑAS (A) Y AGUAS DEL GOLFO DE MÉXICO (B)



Fuente: tomado de Nowlin y McLellan 1967.

Al igual que los parámetros anteriores, los giros ciclónicos y anticiclónicos tienen un rol importante en la distribución espacial y temporal; en la plataforma de Campeche a finales de la época de lluvias se pueden alcanzar 2.6 ml/L de oxígeno en la superficie, como resultado del ascenso de aguas de fondo, producido por los giros ciclónicos (Secretaría de Marina 1972b); en la región del Anticiclón Mexicano de Tamaulipas se observa el hundimiento de aguas superficiales con altos contenido de oxígeno, formándose un perfil vertical de 4.45 ml/L, hasta una profundidad de 1,000 m (figura 9); en los límites del anticiclón y en el centro del ciclón se genera la ascensión de agua pobre en oxígeno 2.5 ml/L a partir de los 120 m de profundidad, siendo estos niveles característicos de esta región del Golfo de México (De la Lanza Espino 1991).

FIGURA 9. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO (ML/L) ENTRE LOS LIMITES DE LOS GIROS ANTICICLÓNICO Y CICLÓNICO FRENTE A LA LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

NUTRIENTES

NITRATOS

En las aguas superficiales del mar Caribe y Golfo de México la concentración de nitritos va de indetectable < 0.1 mM a < 0.25 mM en junio (verano); en la plataforma norte de Yucatán y a 200 m de profundidad alcanzan de 3.0 a 12.0 mM (Secretaría de Marina 1980). Los giros ciclónicos y anticiclónicos definen la distribución vertical y horizontal de este nutriente, como en la región oeste del Golfo, donde se han registrado contenidos máximos en los giros ciclónicos a la altura de la Laguna Madre (< 28.7 a < 34.90 mM a una

profundidad de entre 150 a 300 m) (figura 10); sin embargo, en el anticiclónico tamaulipeco se han detectado 1.75 mM, incremento anómalo debido al hundimiento de la masa de agua que provoca un surgimiento compensatorio en el límite con el ciclónico (Vidal *et al.* 1990).

Es difícil precisar concentraciones específicas dado que los nutrientes son “no conservativos” y su contenido depende de la asimilación fitoplanctónica y su temporalidad, razón por la cual al noroeste del Golfo de México, en la zona del anticiclón, la concentración de nitratos en la capa de mezcla, según Biggs (1992), puede alcanzar < 0.1 mM y a 100 m de profundidad < 0.4 mM; En lluvias pueden registrarse 1.20 mM superficiales, frente a la Laguna Madre, Tamaulipas y a 500 m alcanzar 30 mM (Moulin 1980) asociados con los límites de los giros anticiclónico-ciclónico, donde Biggs (1992) ha detectado concentraciones de nitratos mayores a 10 mM a la profundidad de 100 m.

En la plataforma de Campeche, la dinámica de las masas está determinada por la circulación ciclónica, así como por su intensidad, la cual varía temporalmente según el transporte en el Canal de Yucatán. Esta dinámica determina en gran medida la distribución de la concentración de nitratos. Así mismo, durante los meses de lluvias, se han registrado 0.03 mM superficiales, así como 0.07 mM a los 70 m; en los inicios de la época seca (primavera) estos niveles se incrementan a 7.26 mM a los 10 m de profundidad, debido al efecto de afloramiento generado a través de la intensa circulación que en esta época constituyen los anillos ciclónicos (Instituto Mexicano del Petróleo 1980). Frente a la Laguna de Términos se han registrado concentraciones de 0.1 a 1.0 mM superficiales y a partir de 50 m de profundidad de 3 a 13.5 mM (Licea y Santoyo 1991).

Los afloramientos de agua ricos en nutrientes (surgencia) en la plataforma yucateca que colinda con las zonas de giros ciclónicos, se presentan en los últimos meses del año y de marzo a mayo. En las aguas superficiales del mar Caribe mexicano se mantienen niveles de 1.0 mM a 3.0-12.0 mM a una profundidad de 200 m y en las proximidades de la costa alcanzan hasta 25.0 mM, consecuencia de la ascensión de aguas profundas en marzo-agosto (Secretaría de Marina 1980). En el área comprendida frente a Progreso, se detecta claramente el efecto de surgencia registrando a través de un gradiente de concentración de aguas del Golfo hacia la costa de 1.32 mM a 4.2 mM, respectivamente (Ponce-Vélez *et al.* 1991). También es importante considerar el efecto que tienen las aguas continentales sobre las concentraciones de nutrientes en las aguas costeras, enriqueciendo el aporte de nitrógeno y fósforo.

FIGURA 10. PERFIL VERTICAL DEL CONTENIDO DE NITRATOS (mM) EN EL GIRO ANTICICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE, TAMAULIPAS

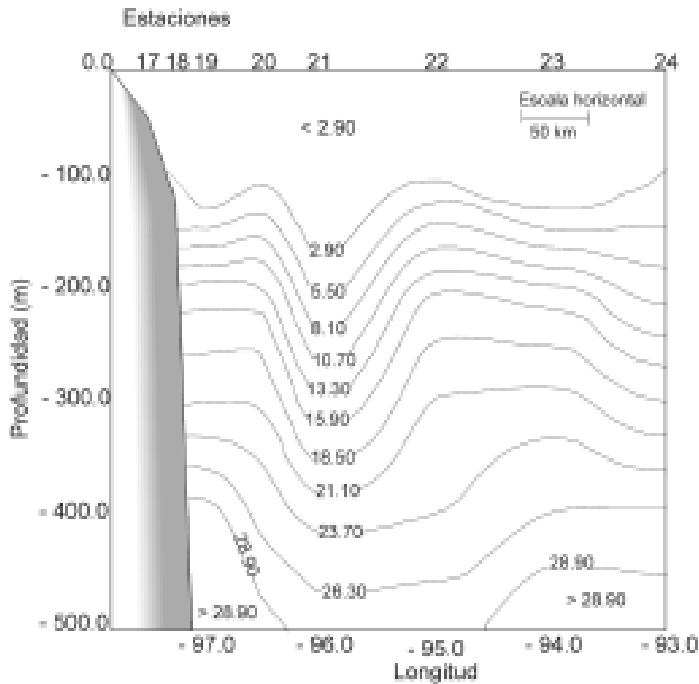
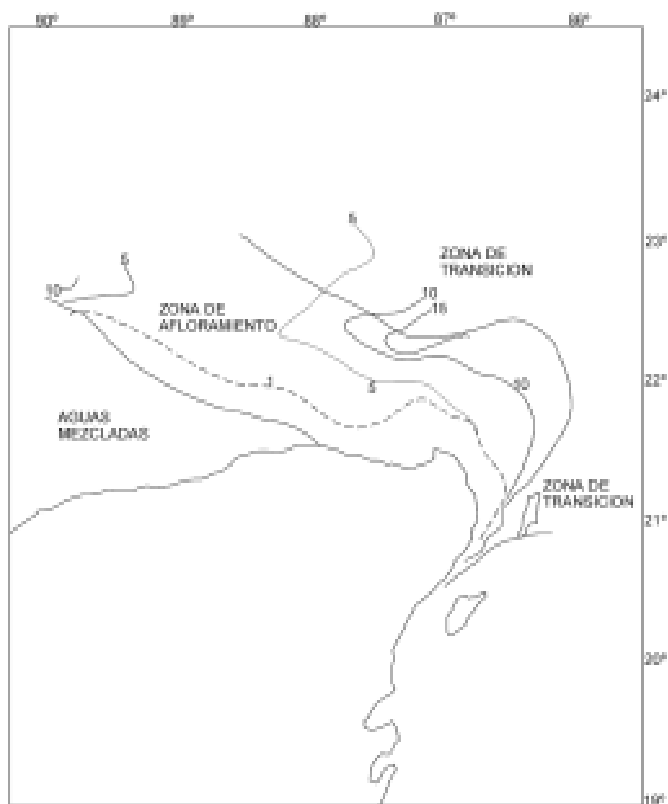


FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE NITRATOS (mM) EN LA PLATAFORMA DE YUCATÁN EN PRIMAVERA



Fuente: tomado de Merino-Ibarra 1992.

y Morrison (1988) han demostrado que la permanencia de la corriente junto al talud está directamente relacionada a la penetración de la Corriente del Lazo en el Golfo de México y que la corriente se separa del talud cuando el Lazo se rompe al liberar un anillo anticiclónico en el Golfo.

En los meses de primavera la concentración de nitratos aumenta en la zona de afloramiento con una intensidad variable interanualmente, según la velocidad de la Corriente de Yucatán.

La homogeneidad en la plataforma en invierno se debe, según Merino-Ibarra (1992), a los procesos de mezcla que son capaces de destruir totalmente la estratificación todavía presente en el otoño. La intensidad de la mezcla vertical puede ser mayor en invierno, debido a que durante esa estación soplan los nortes, que generan fuertes oleajes sobre la plataforma de Yucatán y en el Golfo de México.

NITRITOS

Los nitritos tienden al mismo comportamiento que los nitratos, registrándose en el Canal de Yucatán contenidos superficiales de 0.05 a 0.1 mM durante todo el año, aumentando hacia la costa de 0.25 a 0.30 mM (Secretaría de Marina 1980). Debido al efecto del afloramiento en el mes de julio, en la Península de Yucatán se han alcanzado hasta 0.45 mM (Merino-Ibarra 1983). En aguas superficiales del oeste del Golfo los niveles alcanzan hasta 0.2 mM, con un aumento de 0.3 a 0.4 mM a una profundidad de 400 m y una disminución en las colindancias de los giros ciclónicos y anticiclónicos (Moulin 1980).

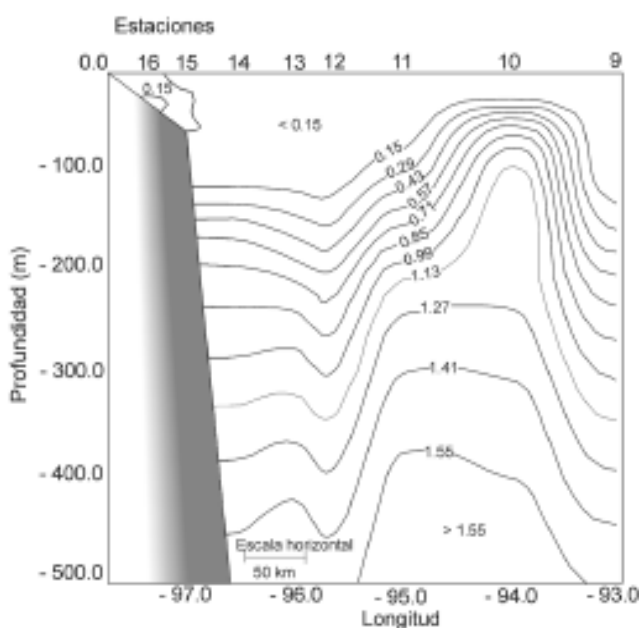
ORTOFOSFATOS

El contenido de ortofosfatos es bajo en superficie, con 0.1 y 0.8 mM a lo largo del año; con un incremento hasta 1.8 a 2.5 mM a una profundidad de 800 a 900 m. En la plataforma de Campeche las concentraciones más frecuentes son de 0.11 a 0.13 mM, similares a los de la Corriente del Lazo (Morrison y Nowlin 1977). En la región oeste del Golfo los ortofosfatos superficiales son inferiores al límite de detección (< 0.03 mM) y los contenidos mayores en la costa con < 0.13 mM, debido al aporte fluvial que estimula la productividad primaria de esta región; en el giro ciclónico norte los niveles de ortofosfatos son de 0.12 mM debido al afloramiento (Vidal *et al.* 1990).

Bogdanov, (1969) señala que las aguas superficiales de la plataforma de Campeche presentan niveles de 0.11 a 0.13 mM que son semejantes a aquellos de las aguas de la Corriente del Lazo y tienden a incrementarse hacia los 100 m de profundidad a 0.66 mM. La circulación ciclónica favorece el enriquecimiento de ortofosfatos en la superficie mediante el ascenso de aguas profundas (figura 12); correspondiendo a la primavera el máximo superficial en la plataforma de Campeche con 1.09 a 1.19 mM. Además, en esa área se tiene el aporte del río Grijalva, frente al cual se alcanzan 1.32 mM. Dicha concentración decrece en los primeros metros hasta 0.11 y 0.2 mM. En el

otoño se han detectado los niveles más altos del ciclo anual con 2.95 mM desde la superficie hasta los 50 m de profundidad, en respuesta a la intensificación de los nortes y de los giros ciclónicos (Instituto Mexicano del Petróleo 1980, Segura *et al.* 1982).

FIGURA 12. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATOS (mM) EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

En la región oeste del Golfo de México, frente al litoral de Tamaulipas, los ortofosfatos superficiales mantienen niveles de 0.1 a 0.3 mM hasta los 100 m de profundidad, a partir de los cuales, hay una emersión periférica y un hundimiento central; entre esos límites se registran 2.5 mM a 200 m que en otras regiones dentro del Golfo son característicos de agua de más de 700 m de profundidad (Moulin 1980).

En la distribución vertical de los ortofosfatos se observa un mínimo superficial de 0.01 mM, que al igual que los nitratos, a una profundidad de 500 a 1000 m se localiza una máxima concentración (< 1.62 a < 1.82 mM) que también deriva del Agua Antártica Intermedia (Vidal *et al.* 1990).

En general se observa que la distribución espacial de los nutrientes disueltos en el Golfo de México está determinada por el campo de circulación barométrica. La vorticidad de los giros y su interacción acoplada generan un sistema natural de bombeo dentro del Golfo, pues transfieren movimientos verticales ascendentes y descendentes de las masas de agua que se ubican dentro de sus zonas de influencia (Vidal *et al.* 1990). Además, cabe aclarar que su variación espacial y temporal también dependen en buena medida de la asimilación fitoplanctónica y sus florecimientos.

SILICATOS

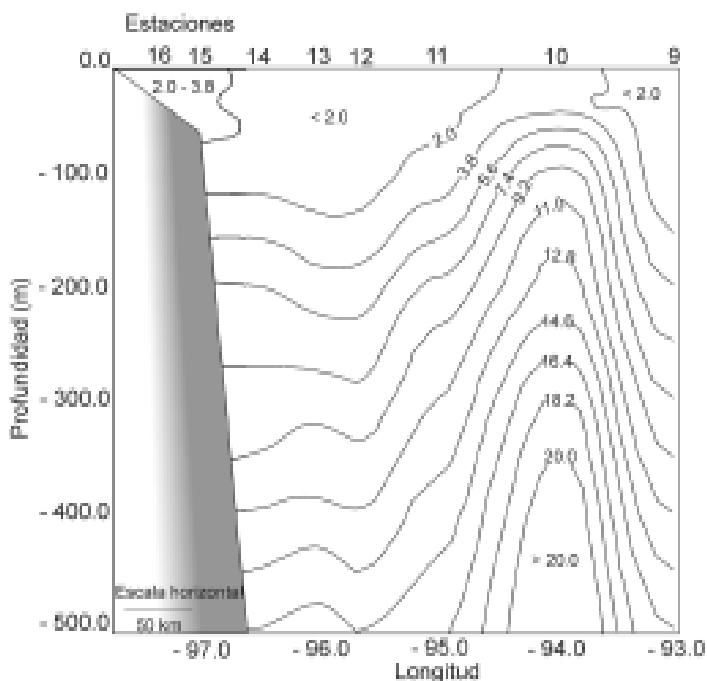
Este nutriente es de los que con menos frecuencia se evalúa; sin embargo, en el Golfo de México se tiene una información aceptable que permite señalar su comportamiento. En las aguas de la Corriente de Yucatán, que constituyen a las del Lazo y del Golfo de México, el contenido es bajo, desde indetectable hasta 2 mM de superficie hasta 200 m de profundidad (Froelich *et al.* 1978). Por debajo de esa profundidad incrementa hasta 23-25 mM que Morrison y Nowlin (1977) y Carder *et al.* (1977) lo asocian con el Agua Antártica Intermedia (500 a 1,000 m). Sin embargo, los registros de Vidal *et al.* (1990) e información de otros autores señalan que el origen del máximo de silicatos en el Golfo proviene del Agua Intermedia del Caribe (28 mM) y de la porción superior del Agua Profunda del Atlántico Norte (16 mM) entre los 1,000 y 1,100 m de profundidad.

Su distribución vertical depende de los giros; incrementa hacia la superficie en los ciclónicos por ascensión en aguas ricas en este nutriente y disminuye en los anticiclones por hundimiento de la capa superficial pobre en silicatos (figura 13).

CLOROFILA "A"

El contenido mínimo superficial de clorofila se ubica en la región oceánica dentro del giro ciclónico norte con 0.5 mg/m^3 y el máximo ($> 3.0 \text{ mg/m}^3$) frente a la desembocadura de los ríos Bravo, el Pánuco, el Tuxpan y el Cazones; al igual que los nutrientes estos máximos están relacionados con la circula-

FIGURA 13. PERFIL VERTICAL DE LA CONCENTRACIÓN DE SILICATOS (mM) EN EL GIRO CICLÓNICO FRENTE A LAGUNA MADRE



Fuente: tomado de Vidal *et al.* 1990.

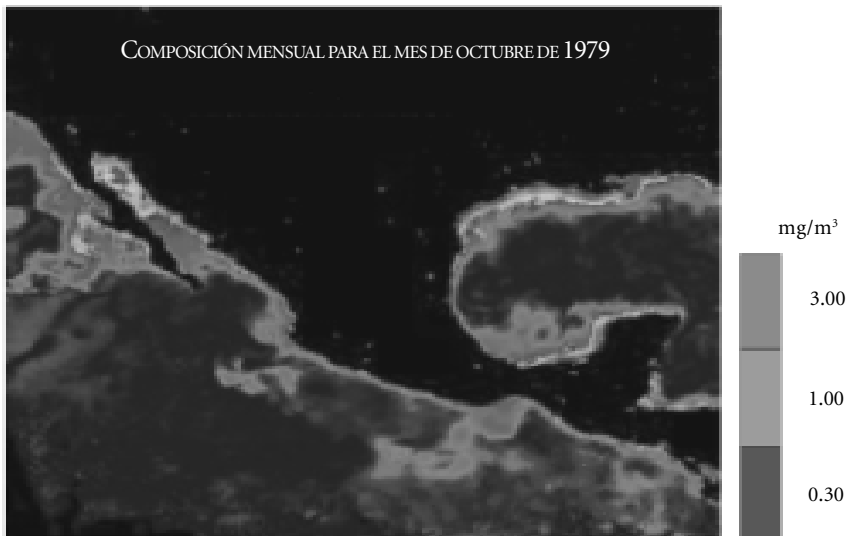
ción anticiclónica-ciclónica y al aporte fluvial continental. Contenidos de 3.5 mg/m^3 están relacionados con la circulación ciclónica del sur que predomina en la plataforma de Campeche, que recibe también las descargas fluviales de los ríos Papaloapan, Grijalva y Usumacinta (Vidal *et al.* 1990).

A pesar de incrementos puntuales (en giros ciclónicos y áreas costeras) de este pigmento, la distribución de clorofila “a” en el Golfo de México varía espacialmente y en general sus niveles son bajos. Mediante imágenes de satélite se han detectado al este y noroeste del Golfo de México, concentraciones bajas en el verano (mayo-julio) de $< 0.06 \text{ mg/m}^3$ e incrementase ligeramente en invierno (diciembre-febrero) de $> 0.18 \text{ mg/m}^3$. En mar adentro la con-

concentración de clorofila “a” es de 0.2 mg/m^3 , mientras que en la costa de $> 0.5 \text{ mg/m}^3$, alcanzando hasta 5 mg/m^3 en algunas áreas influenciadas por los aportes del río Misisipí, lagunas costeras y giros ciclónicos (Müller-Karger y Walsh, 1991). Por su parte Aguirre-Gómez (2002) a través de una imagen del sensor SeaWiFS de abril del 2000, interpreta la surgencia en las costas de Yucatán con altas concentraciones de clorofila (3 mg/m^3), comportamiento semejante observado en octubre de 1979 con una imagen del CZCS (Coastal Zone Color Scanner) (figura 14).

Las amplias diferencias en concentración de clorofila “a” pueden ser debidas no solamente a la estacionalidad fitoplanctónica, sino también a aspectos metodológicos y esto se observa en los resultados de Signoret *et al.* (1998) en la plataforma de Yucatán, donde registraron contenidos de 1.61 mg/m^3 en la superficie y 4.24 mg/m^3 a 20 m de profundidad debido a la presencia de afloramientos de aguas ricas en nutrientes; mientras que en la porción centro del Golfo de 0.04 a 0.07 mg/m^3 , típicos de mares oligotróficos

FIGURA 14. IMAGEN DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZSC) PARA LA DEFINICIÓN DEL CONTENIDO DE CLOROFILA “A” EN EL GOLFO DE MÉXICO

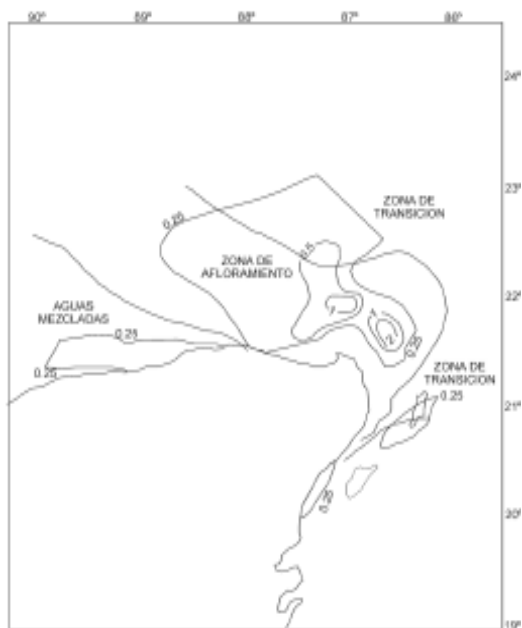


Fuente: tomado de Aguirre-Gómez 2002.

y 0.33 mg/m^3 a 120 m de profundidad asociados a mayor contenido de nutrientes.

Merino-Ibarra (1992) registró una coincidencia entre el contenido de nitratos y el de clorofila “a” tanto espacial como temporalmente entre la zona de afloramiento (con un máximo de 2 mg/m^3) y la de aguas mezcladas (0.25 mg/m^3) (figura 15).

FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DEL CONTENIDO DE CLOROFILA “a” (MG/M^3) POR ZONAS EN LA PLATAFORMA DE YUCATÁN



Fuente: tomado de Merino-Ibarra 1992.

Walsh *et al.* (1989), usando un modelo numérico, determinaron que el factor que controla la variación estacional de la concentración de clorofila “a” en las aguas del Golfo de México, es la profundidad de la capa de mezcla, así como la disponibilidad de nutrientes; la biomasa de algas es alta cuando la capa de mezcla

superficial es más profunda; en consecuencia la productividad primaria en esta capa está controlada por la variación del flujo de los nutrientes hacia arriba.

CONCLUSIONES

Es importante señalar que la información arriba presentada está referida en el marco global del Golfo de México y que la zona costera (comprendida aquí desde la línea de costa hasta el límite de la plataforma) puede actualmente presentar modificaciones en la dinámica fisicoquímica por influencia antropogénica, que en los últimos 20 años ha sido más determinante.

Dada la relativa frecuencia y regularidad de los giros oceánicos (ciclónico fríos y mayor contenido de nutrientes de Yucatán y ciclónico-anticiclónico, este último caliente y menor contenido de nutrientes, frente a la Laguna Madre y Tamaulipas, respectivamente), así como el efecto del afloramiento dinámico en la Península de Yucatán con mayor contenido de nutrientes, lo que se requieren son monitoreos costeros frecuentes fisicoquímicos (circulación, temperatura, nutrientes y carga orgánica), así como hidrocarburos, pesticidas y bacteriología frente a las descargas fluviales que permitan registrar cambios en la calidad del agua. Esto sustentaría a la aplicación de las NOM con apoyo de la CNA, CFE, PEMEX, Secretaría de Marina, cuyos resultados serían manejados e integrados por el INE-SEMARNAT o una instancia equivalente en el futuro; inclusive ponerlos en la red para fines de acceso científico.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Gómez R. 2002. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota*. Temas selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía-Plaza y Valdez Editores, México.
- Biggs D.C. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the wester Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97(C2): 2,143-2,154. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Bogdanov D.V. 1969. *Some oceanographic features of the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea*. A.S. Bogdanov (Ed.) Soviet Cuban Fishery Research U.S. Dept. of Commerce Sprint Geld.
- Brooks D.A y Legeckis R.V. 1982 A ship an satellite view of hydrographic features in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 87(C5): 4195-4206. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Carder K.A., Fanning R., Betzer P. y Maynard V. 1977. Dissolved silica and circulation in the Yucatan Straid and deep eastern Gulf of Mexico. *Deep Sea Research*, 24:1149-1160. M. Bacon., United Kingdom (G.B).

- De la Lanza Espino G. 1991. *Oceanografía de los mares mexicanos*. AGT editor, S.A., México.
- Elliott B. 1979. *Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico*, Ph.D. Dissertation, Texas A&M Univ., College Station, Texas.
- 1982. Anticyclonic rings in of the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 12:1,292-1,309. American Geophysical Union, Washington DC, USA.
- El-Sayed S.Z., Sackett W.M., Jeffrey L.M., Fredericks A.D., Saunders R.P., Fryxell G.A., Steidinges K.A y Earle S.A. 1972. *Serial Atlas of the Marine Environment*. Folio 22. Chemistry, Primary Productivity and Benthic algae of the Gulf of Mexico. America Geographical Society.
- Froelich N.P., Atwood K.D. y Giese G.S. 1978. Influence of Amazon River discharge on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Carribean. *Deep Sea Research*. 25:735-744. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Grace S.F. 1932. The principal diurnal constituent of tidal motion in the Gulf of Mexico. *Monthly Nat. R. Astronomical Society of Geophysic Supply*, 3(2):70-83.
- Instituto Mexicano del Petróleo, 1980. Informe de los trabajos realizados para el control del pozo Ixtoc I, el combate del derrame de petróleo y determinación de sus efectos sobre el ambiente marino. Programa coordinado de estudios ecológicos en la Sonda de Campeche. México.
- Kinard W.F., Atwood D.K. y Giese G.S. 1974. Dissolved oxygen as evidence for 18 °C Sargasso Se Water in the eastern Caribbean. *Deep Sea Research*. 21:79-82. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Kirwan A.D., Merrell W.J., Lewis J.K. y Whitaker R.E. 1984. Lagrangian observations of an anticyclonic ring in the wester Gulf of Mexico. *Journal of Geophysics Research*, 89(C3):3417-3424. American Geophysical Union, Washington DC, USA.
- Licea S. y Santoyo H. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región central de la bahía de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. 18(2):157-167. UNAM, México.
- Merino-Ibarra M. 1983. Estudios ambientales del Arrecife de Puertos Morelos, Quintana Roo. Informe del Proyecto de Investigación PAMOR. UACP y P-CCH. Maestría en Ciencias del Mar. 52 pp.
- 1992. Afloramiento en Plataforma de Yucatán; estructura y fertilización. Tesis doctoral, UACP y P-CCH, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Metcalf W.G. 1976. Caribbean-Atlantic exchange through the Anegada-Jungfern passage. *Journal of Geophysics Research*, 81:6401-6409. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Molinari R.L. y Morrison J. 1988. The separation of the Yucatán Current from the Campeche Bank and intrusion of Loop Current into the Gulf of Mexico. *Journal of*

- Geophysical Research*, 93(C9):10645-10654. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Morrison J.M y Nowlin W.D. Jr. 1977. Repeated nutrient, oxygen, and density sections through the Loop Current. *Journal of Marine Research* 35(1):105-128. George Veronis. Kline Geology Laboratory, Yale University.
- Moulin R.J. 1980. Observaciones hidrológicas frente al litoral de Tamaulipas en el Golfo de México. Sría. de Marina. Dirección General de Oceanografía. México. 47 pp.
- Müller-Karger F.E y Walsh J.J. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research*. 96(C7):12,645-12,665. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Nowlin W.D. 1971. Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. *Oceanology*. Contribution No. 452:173-178. Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscú.
- 1972. Winter circulation and property distributions. En: *Contributions on the physical oceanography of the Gulf of Mexico*, L.R. Capurro y J. Reis (Eds.) Gulf Publ. Co., Houston, Texas.
- Nowlin W.D. y McLellan H. J. 1967. A characterization of the Gulf of Mexico water in wintert. *Journal of Marine Research*, 25:29-59. George Veronis. Kline Geology Laboratory Yale University.
- Pickard G.L. 1979. *Descriptive Physical Oceanography*. 3ra ed. Pergamon Press, Oxford.
- Ponce-Vélez G., Pineda-López R. y Pica-Granados Y. 1991. Oceanografía química. En De la Lanza Espino G. (comp.). *Oceanografía de Mares Mexicanos* AGT Editor. México.
- Reide R.O. y Whitaker R.E. 1981. Numerical model for astronomical tides in the Gulf of Mexico, Technical repot. U.S. Army Eng. Waterways Exp. Sta., Vicksburg, Miss.
- Schroeder E., Stommel H., Menzel D. y Sutcliffe W. 1959. Climatic stability of eighteen degree water at Bermuda. *Journal of Geophysics Research* 77:1032-1049. American Geophysical Union, Washington DC, EE.UU.
- Secretaría de Marina. 1972a. Informe de datos oceanográficos III crucero VU/71-14.Inst. Nal. de Pesca y Sría. de Marina.
- 1972b. Informe de datos oceanográficos IV crucero VU/71-20.Instituto Nacional de Pesca y Secretaría de Marina.
- 1980. *Contribución al conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano*. Química del océano.
- 2002. *Atlas de dinámica costera de la República Mexicana*. Secretaria de Marina-Armada de México.
- Segura G.J., Batllori S.E, Olvera V.V. y Domínguez R.S. 1982. Productividad primaria en al región sureste del Golfo de México (mayo, 1982). Dirección General de Oceanografía. Inv. Ocean. B.I. Secretaría de Marina (5):237-276

- Signoret M., Bulit C. y Pérez R. 1998. Patrones de distribución de clorofila *a* y producción primaria en aguas del Golfo de México y del Mar Caribe. *Hidrobiológica* 8(2): 81-88. UAM- Iztapalapa, México.
- U.S. Department of the Navy (Naval Oceanography), U.S. Det of Commerce (Weather Bureau). 1963. *Atlas of Pilot Charts, Central America Water*. Washinton D.C.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V., Morales R., Pérez Molero J.M. y Zambrano L. 1986a. Análisis de la campaña oceanografica Argos 84-1. Informe IIE/13/1926/I 02/P. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México, 136 pp.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V., Morales R. y Pérez Molero J.M. 1986b. Hydrographic evidence for the collision of a Loop Current Ring in the western Gulf of México (Resumen). *Eos Trans. American Geophysical Union*, 67(44):1,049.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V y Hernández O.A.F. 1990. *Atlas Oceanográfico del Golfo de México, Volumen III*; Instituto de Investigaciones Eléctricas. Grupo de Estudios Oceanográficos, Cuernavaca, Morelos.
- Vidal V.M.V, Vidal F.V, Hernández .A.F, Meza E. Y Zambrano L. 1994. Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *Journal of Oceanography* 50: 55. S Imawaki. Oceanographic Society of Japan, Tokio.
- Vidal Lorandi F.V., Vidal Lorandi V.M.V., Rodríguez Espinosa P.F., Zambrano Salgado L., Portilla Casillas J., Rendón Villalobos R. y Jaimes de la Cruz B. 1999. Circulación del Golfo de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 49:1-15. Instituto Mexicano de Recursos, Naturales Renovables, México.
- Walsh J.L, Dieterle D.A., Meyer M.B y Müller-Karger. 1989. Nitrogen exchange at the continental margin: A numerical study of the Gulf of México. *Progress in Oceanography* 23, 248-301. Charles B. Miller, Detlef R. Quadfasel. United Kingdom (G.B).
- Worthington L.V. 1959. The 18 °C water in the Sargasso Sea. *Deep Sea Research.*, 5:297-305. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- Wüst G. 1963. On the stratification and the circulation in the cold water sphere of the Antillean-Caribbean basins. *Deep Sea Research* 10:165-187. M. Bacon. United Kingdom (G.B).
- 1964. *Stratification and the Circulation in the Antillean-Caribbean Basins. Part 1*. Columbia University Press.
- Zettler B.D y Hansen D.V. 1972. Tides in the Gulf of Mexico. En: *Contribution on the Physical Oceanography of Gulf of Mexico*, L.R.A. Capurro y J.L. Reid (eds.). G. Gulf Publ. Co., Houston, Texas.

Segunda parte
LA BIOTA DEL GOLFO DE MÉXICO

MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA SU CONSERVACIÓN

*Joel G. Ortega-Ortiz, Alberto Delgado-Estrella y
Alejandro Ortega-Argueta*

INTRODUCCIÓN

Dentro del grupo conocido como “mamíferos marinos” se ha incluido a los vertebrados de la clase Mammalia que pasan la mayor parte de su vida y obtienen su alimento principalmente en el medio acuático, ya sea marino o dulceacuícola. Este grupo no es una categoría taxonómica propia, sino un conjunto de especies de mamíferos de tres órdenes: Carnivora (focas, lobos marinos y morsas, conocidos como pinnípedos), Sirenia (manatíes y dugongos) y Cetacea (ballenas, delfines y marsopas). En el Golfo de México se ha registrado la presencia de 30 especies de mamíferos marinos: una especie de carnívoro, una especie de sirenio y 28 especies de cetáceos (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000).

La única especie de pinnípedo que habitó el Golfo en la edad contemporánea, la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*), se extinguió a mediados del siglo pasado debido a la cacería por parte de los habitantes de la región (Villa-R. *et al.* 1985, LeBoeuf *et al.* 1986). El manatí de las Antillas (*Trichechus manatus*) es la única especie de sirenio en la región. En cuanto a los cetáceos, las especies del suborden Odontoceti (delfines y ballenas con dientes) que se han registrado en el Golfo de México son: cachalote (*Physeter macrocephalus*), cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*), cachalote enano (*K. sima*), calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynchus*), calderón

pigmeo (*Peponocephala electra*), delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*), delfín de Risso (*Grampus griseus*), delfín Clymene (*Stenella clymene*), delfín listado (*S. coeruleoalba*), delfín moteado del Atlántico (*S. frontalis*), delfín moteado pantropical (*S. attenuata*), delfín tornillo (*S. longirostris*), delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*), orca (*Orcinus orca*), orca falsa (*Pseudorca crassidens*), orca pigmea (*Feresa attenuata*), tonina (*Tursiops truncatus*), ballena picuda de las Antillas (*Mesoplodon europaeus*), ballena picuda de Blainville (*M. densirostris*), ballena picuda de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) y ballena picuda de Sowerby (*M. bidens*). Del suborden Mysticeti, que incluye a las ballenas con barbas, se ha documentado la presencia en el golfo de la ballena franca del norte (*Eubalaena glacialis*), ballena azul (*Balaenoptera musculus*), rorcual común (*B. physalus*), rorcual tropical (*B. edeni*), rorcual del norte (*B. borealis*), ballena minke (*B. acutorostrata*) y ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000).

DISTRIBUCIÓN

DISTRIBUCIÓN DEL MANATÍ EN EL GOLFO DE MÉXICO

El manatí (*Trichechus manatus*) habita aguas someras en zonas marinas, estuarios, lagunas, ríos y canales. Puede vivir tanto en cuerpos de agua dulce como salada. Cuando vive en ambientes marinos necesita fuentes cercanas de agua dulce para beber, como pueden ser manantiales y desembocaduras de ríos. Los manatíes pueden realizar desplazamientos de varios cientos de kilómetros, movimientos que pueden estar influenciados por cambios estacionales en los niveles de inundación de los cuerpos de agua, por los cambios de salinidad y temperatura de los estuarios, por alteraciones en la disponibilidad de alimento y por el comportamiento reproductivo (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Reynolds y Odell 1991). Forzados por estos factores los manatíes pueden desplazarse de ambientes ribereños hacia la costa y viceversa. De esta forma se piensa que las poblaciones en el Golfo de México pueden moverse a través de los diferentes estados utilizando la línea costera o los sistemas palustres.

Existen dos subespecies de manatí en el Golfo de México, la de Florida (*T. m. latirostris*) y la del Caribe (*T. m. manatus*) (Rice 1998). El manatí de Florida habita durante todo el año las costas, bahías y ríos de ese estado al sur de Crystal River. En el verano algunos individuos se desplazan al norte

hacia Georgia, y al oeste hacia Luisiana. La distribución histórica del manatí del Caribe dentro del Golfo de México se extendía desde Tamaulipas hasta Yucatán (Lefebvre *et al.* 2001). Sin embargo, la sobreexplotación para el consumo de su carne y la pérdida de hábitat por el desarrollo costero fragmentaron la distribución de esta subespecie. Con base en el tamaño poblacional, los núcleos principales de población de manatíes que actualmente existen en México se pueden ordenar de la siguiente manera: una población pequeña y dispersa que habita en varios ríos de Veracruz; una segunda población en la costa de Quintana Roo, principalmente en la parte sur, y una tercera población, y la más significativa, que habita en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta.

DISTRIBUCIÓN DE LOS CETÁCEOS EN EL GOLFO DE MÉXICO

La distribución espacial y temporal de los cetáceos es influenciada por las características fisiográficas y oceanográficas del medio, distribución de presas, distribución de depredadores y disponibilidad de áreas adecuadas para el apareamiento y la crianza. En el Golfo de México, la profundidad es la variable ambiental con mayor influencia en la distribución de los cetáceos. Se han observado diferencias significativas en la profundidad de las regiones en las que habitan las diferentes especies (Davis *et al.* 1998, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002, Ortega-Ortiz 2002). La mayoría de las especies habitan aguas oceánicas con profundidad mayor a 200 m. Sólo tres especies habitan normalmente la región nerítica sobre la plataforma continental: la tonina, el delfín moteado del Atlántico y el delfín de dientes rugosos (Delgado-Estrella 1994, Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000, Ortega-Ortiz 2002, Fulling *et al.* 2003). Existen registros del delfín tornillo en la parte norte de la plataforma de Yucatán (Jefferson 1995, Ortega-Ortiz 2002); sin embargo, esa especie es generalmente oceánica y su ocurrencia cerca de la costa puede estar asociada a procesos de afloramiento de nutrientes en localidades específicas (como el descrito por Merino 1997).

La tonina es el único cetáceo que habita lagunas costeras, desembocadura de ríos, zona litoral, nerítica y oceánica del Golfo de México. Evidencias morfológicas y genéticas sugieren la existencia de dos ecotipos o poblaciones parapátricas de toninas, una costera y otra nerítica-oceánica (Hersh y Duffield 1990, Mead y Potter 1995, Hoelzel *et al.* 1998, Torres *et al.* 2003). Aunque no existe una delimitación detallada del área de distribución de los dos ecotipos de toninas, un estudio en la costa del Atlántico de los Estados Unidos de Amé-

rica mostró que todas las toninas observadas hasta una distancia de 7.5 km de la costa pertenecían al ecotipo costero, mientras que todas las toninas observadas a más de 34 km de la costa pertenecían al ecotipo nerítico-oceánico (Torres *et al.* 2003). Las toninas costeras se encuentran con mayor frecuencia dentro de las lagunas costeras y cerca de la desembocadura de los ríos. Incluso dentro de las lagunas costeras se ha observado que las toninas usan con mayor frecuencia ciertas zonas para alimentación y otras para crianza (Delgado-Estrella 2002). En el norte del Golfo, las toninas del ecotipo nerítico-oceánico se han observado en dos regiones diferentes: sobre la plataforma continental hasta una profundidad de 150 m y sobre el talud, muy cerca del margen continental. En ambas regiones las toninas se observaron con mayor frecuencia en áreas con alta variabilidad de temperatura y salinidad, lo que sugiere que su distribución está asociada a frentes de masas de agua (Baumgartner *et al.* 2001). El delfín moteado del Atlántico se encuentra generalmente en aguas con profundidad entre 20 y 200 m. Se le ha llegado a observar en aguas oceánicas pero cerca del margen continental (Mullin y Hansen 1999). Griffin y Griffin (2003) compararon la distribución de las toninas y los delfines moteados del Atlántico en un área con profundidad < 20 m de la costa oeste de Florida. Dichos autores observaron que el delfín manchado del Atlántico ocurre en localidades más profundas, con mayor salinidad y menos turbias que aquellas donde se observaron las toninas.

Los cetáceos oceánicos del Golfo de México se encuentran con mayor frecuencia en el talud continental y en áreas con mayor concentración de clorofila, como son los remolinos ciclónicos y la confluencia entre pares de remolinos anticiclónico -ciclónico (Biggs *et al.* 2000, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002, Ortega-Ortiz 2002). Además de las toninas, las especies que se observan con mayor frecuencia en la parte alta del talud, cerca del margen continental y en profundidades entre 200 y 750 m, son el delfín de Risso y el calderón de aletas cortas. También en la parte alta del talud (profundidad entre 200 y 1,000 m), pero no necesariamente cerca del margen continental, se observan con mayor frecuencia el cachalote, cachalote pigmeo, cachalote enano, delfín de dientes rugosos y delfín tornillo. En la parte baja del talud continental (profundidad > 1,000 m) se encuentran el delfín listado, ballenas picudas, delfín moteado pantropical y delfín de Clymene (Davis *et al.* 1998, Baumgartner *et al.* 2001, Davis *et al.* 2002). Existe poca información publicada acerca de la distribución de cetáceos en la región profunda (> 2,000 m) del Golfo de México.

Las ballenas con barbas son raras en el Golfo de México. Con excepción

del rorcual tropical, los registros de misticetos quizá corresponden a individuos que perdieron el rumbo durante la migración entre el Atlántico norte y el mar Caribe (Jefferson y Schiro 1997, Würsig *et al.* 2000). El rorcual tropical ha sido registrado en todas las estaciones del año dentro del Golfo de México. La mayoría de los avistamientos de rorcual tropical ocurrieron sobre la plataforma, muy cerca del margen continental. Es posible que el Golfo sea una porción del área de distribución de una población pequeña y dispersa de esta especie (Jefferson y Schiro 1997).

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES

Con excepción de la ballena picuda de Sowerby, todas las especies de mamíferos marinos del Golfo de México están incluidas en la lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F. 2002). En dicha norma, la foca monje se considera probablemente extinta en el medio silvestre, la ballena franca del norte y el manatí se consideran en peligro de extinción y el resto de las especies están sujetas a protección especial.

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DEL MANATÍ

Existe poca información sobre el estatus actual de las poblaciones del manatí en el sur del Golfo de México. Lo anterior se debe en parte a la dificultad de estudiar a la especie en vida libre. Hace 27 años se estimó que en México podrían existir 5,000 manatíes (Heinsohn 1976); sin embargo, la cacería y la pérdida del hábitat continúan, por lo que es muy probable que la población haya disminuido considerablemente desde entonces. Los únicos conteos sistemáticos para evaluar la tendencia poblacional de manatíes en México se han realizado en la zona sur de Quintana Roo (Morales V. y Olivera G. 1994, Morales-Vela 2000). Estos conteos han sido favorecidos por la facilidad de observar a los animales en las aguas transparentes del mar Caribe, condición que no se presenta en la mayoría de los cuerpos de agua del Golfo de México.

Para ayudar a la conservación del manatí en México, el gobierno federal decretó una veda permanente desde 1921. Actualmente, además de estar incluido en la lista de especies en peligro de extinción de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (D.O.F. 2002), el manatí de las Antillas se encuentra en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como especie amenazada, en el Apéndice I de las especies en peligro de la Convención Internacional para el comercio de especies

amenazadas (CITES) y en la lista de especies amenazadas del acta de especies protegidas de los Estados Unidos (U. S. Fish and Wildlife Service 1999). A continuación se describe la situación del manatí en cada uno de los estados del sur del Golfo de México.

Tamaulipas

Los estados de Tamaulipas en México y Texas en Estados Unidos son considerados como la zona límite de distribución entre las dos subespecies de manatíes, la de Florida y la del Caribe (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Lefebvre *et al.* 2001). También se piensa que pueda ser una zona donde coincidan espacialmente las dos subespecies; sin embargo, la falta de estudios genéticos y de marcaje y seguimiento con animales de esta región ha imposibilitado aclarar estas suposiciones. Tamaulipas es de los estados con menor información acerca de la especie. Se han observado manatíes muy esporádicamente en la costa norte, cerca del límite con Texas. Se piensa que estos animales no son residentes, si no más bien que provienen del sur de Tamaulipas. Existen también informes del hallazgo de huesos de manatí en el río Soto La Marina (Lazcano-Barrero y Packard 1989), pero no ha sido común observarlos recientemente en esa zona. Registros más actuales indican que todavía habita una población pequeña en el río Pánuco y el sistema lagunar El Chairel-Champayán (Ortega-Argueta observ. pers.).

Veracruz

Existe información de que el manatí es abundante en la parte sur del estado de Veracruz, mientras que en la región norte de ese estado se desconoce su situación por falta de estudios. Se le reporta para los ríos Nautla y Tecolutla, el sistema lagunar de Alvarado, y los ríos Papaloapan, Calzadas, Coatzacoalcos y Tonalá (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Ortega-Argueta 1999). Ocupa principalmente hábitats estuarinos y palustres, aunque se les ha observado en la zona marina de Alvarado. Se estima que actualmente puede haber 250 animales en todo el estado (Ortega-Argueta, observ. pers.). Existen esfuerzos locales de conservación desarrollados por un grupo interinstitucional que lleva a cabo labores de rescate de animales huérfanos y enmallados, rehabilitación de manatíes en cautiverio y una campaña permanente de educación (Portilla Ochoa *et al.* 1999, Ortega-Argueta 2000). Actualmente se mantienen seis manatíes en cautiverio en el acuario de Veracruz que están

en proceso de rehabilitación.

Tabasco

Tabasco posee áreas extensas de humedales que son hábitats favorables para el manatí. Por ello, es probable que en este estado se encuentre actualmente la mayor población de manatíes de México. El manatí se encuentra principalmente en los humedales interiores, en la zona de Pantanos de Centla y en la cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta (Colmenero R. 1986, Colmenero R. y Hoz Z. 1986). Los cuerpos de agua con mayor abundancia de manatíes son: Barra de Chiltepec, ríos González y Grijalva y arroyo Tabasquillo en la parte norte; y los ríos y lagunas San Antonio, San Pedrito, Chashchoc, Chacamax, Chablé y Usumacinta en la parte centro y sur (Arriaga Weiss y Contreras Sánchez 1993). Existen aproximadamente siete manatíes en cautiverio en el parque estatal Yumká y el centro de convivencia infantil de Jonuta, y un número indeterminado de manatíes en semicautiverio en la laguna de las Ilusiones y en la reserva comunitaria Camellones Chontales.

Chiapas

Aunque el estado de Chiapas no tiene vertiente al Golfo de México, existe en su parte norte una población importante de manatíes que se trasladan entre lagunas y ríos tributarios del río Usumacinta. Por esto puede considerarse como la misma población de Tabasco. Un grupo residente de manatíes se encuentra en la laguna de Catazajá donde viven semiaislados por la construcción de un sistema de diques (Chanona Hernández 1997). Con el desbordamiento de esta laguna durante la época de lluvias algunos manatíes se trasladan a las lagunas adyacentes como la de San Juan. Sin embargo, también se ha reportado el varamiento de animales por el desecamiento de algunas lagunas durante la época de estiaje (Morales Vela y Olivera Gómez 1996).

Campeche

La región de mayor distribución en el estado es la Laguna de Términos y los sistemas fluviolagunares asociados como río Palizada-Laguna del Este, río del Este-Laguna Atasta, ríos Chumpam-Balchacah, y río Candelaria (Colmenero R. y Hoz Z. 1986). A través del río Palizada los manatíes pueden comunicarse con el sistema palustre de Tabasco. Se encuentran en ambien-

tes marinos, estuarinos y ribereños, y realizan movimientos entre los diferentes hábitats influenciados por los cambios en el nivel del agua entre las estaciones de lluvias y secas (Pérez-Cortés Moreno 1985). En la porción norte del estado los manatíes son muy escasos por la falta de hábitats. Es posible que algunos emigrantes recorran el borde costero hasta el norte de Yucatán.

Yucatán

Las observaciones de manatí en Yucatán han sido muy raras en los últimos 15 años. Se han obtenido algunos registros esporádicos en la costa norte, en la zona de petenes alrededor de Celestún, Ría Lagartos y Puerto Progreso (Colmenero R. y Hoz Z. 1986, Morales-Vela *et al.* 2003). Aunque la costa de Yucatán carece de ríos, proporciona hábitats marinos con vegetación acuática sumergida y aportes de agua dulce proveniente de manantiales. Se piensa que no hay una población residente en el estado, y que los escasos manatíes observados en la costa norte pueden ser emigrantes que se desplazan desde la parte sur de Campeche y Quintana Roo (Morales-Vela *et al.* 2003).

Quintana Roo

El manatí fue común en la laguna Yalahau y la desembocadura del río Yalkini, al sureste de la isla Holbox, donde vivía en ambientes marinos y estuarinos (Colmenero R. y Hoz Z. 1986). Actualmente en esta zona sólo se le observa de manera ocasional. Morales-Vela *et al.* (2003) mencionan que los manatíes dejaron de ser comunes en la isla Holbox después del huracán Gilberto en 1988.

ESTADO ACTUAL DE LAS POBLACIONES DE CETÁCEOS

En los últimos diez años, el Servicio de Pesquerías de los Estados Unidos de América (National Marine Fisheries Service) y la Universidad de Texas A&M han realizado investigaciones sobre la distribución y abundancia de cetáceos en la zona económica exclusiva de ese país en el Golfo de México. En contraste, con excepción de algunos estudios sobre poblaciones costeras de delfines (Delgado-Estrella 1991, Heckel Dziendzielewski 1992, Delgado-Estrella 1994, Lechuga Medina 1996, Escatel Luna 1997, López Hernández 1997, Delgado-Estrella 2002) y algunos cruceros de oportunidad (Ortega-Ortiz 2002), no existe información en la literatura científica acerca de la distribu-

ción y abundancia de cetáceos en el sur del Golfo de México. A continuación se describe, de manera general, la abundancia de cetáceos en la zona económica exclusiva de los Estados Unidos y posteriormente se hace un recuento de las investigaciones de toninas en el sur del Golfo de México. Se puede encontrar más detalle sobre dichas estimaciones consultando las referencias originales (Davis *et al.* 2000, Waring *et al.* 2001, Delgado-Estrella 2002, Waring *et al.* 2002).

Las estimaciones de abundancia mínima para las diferentes unidades de manejo o *stocks* de toninas en el norte del Golfo de México son: 3,933 toninas en bahías, sondas o esteros, 2,938 toninas costeras en el noroeste del Golfo (desde el río Bravo hasta el río Misisipí), 3,518 toninas costeras en el centro-norte del Golfo (desde río Misisipí hasta el meridiano 84° W), 8,963 toninas costeras del noreste del Golfo (desde el meridiano 84° W hasta Cayo Hueso, Florida) y 25,320 toninas neríticas. (Waring *et al.* 2001, 2002, Fulling *et al.* 2003). Las estimaciones de abundancia mínima para las otras dos especies que habitan la plataforma continental, el delfín moteado del Atlántico y el delfín de dientes rugosos, son 30,772 y 1,238 individuos, respectivamente (Fulling *et al.* 2003).

En la región oceánica, los defines moteados pantropicales son la especie más abundante con estimaciones mínimas de 26,510 individuos, seguida por las toninas (4,530), delfines tornillo (4,465), delfín de Clymene (4,120), delfín listado (3,409), calderón pigmeo (2,888), delfín de Risso (2,199), delfín de dientes rugosos (660), cachalote (411), orca pigmea (285), orca falsa (236), orca (197), calderón de aletas cortas (186), delfín de Fraser (66), ballena picuda de Cuvier (20) y rorcual tropical (17). No contamos con cálculos acerca de la abundancia para el resto de las especies de cetáceos registradas en el Golfo.

Las estimaciones de abundancia de cetáceos en el sur del Golfo de México provienen principalmente de estudios de fotoidentificación de toninas. A diferencia de las estimaciones de abundancia mínima presentadas anteriormente, las cuales utilizan el método de transectos lineales con muestreos de distancia (Buckland *et al.* 1993, Buckland y York 2002) en grandes regiones del norte del Golfo, los estudios de fotoidentificación utilizan el análisis de captura-recaptura (Hammond *et al.* 1990, Ortega-Ortiz, J. G. 2000, Buckland y York 2002) para determinar el tamaño poblacional en localidades específicas. Los tamaños poblacionales estimados son: Boca de Corazones, Veracruz, 58 individuos (Heckel Dziendzielewski 1992); Laguna de Términos, Campeche, 1,400 (Delgado-Estrella 2002); Laguna de Yalahau y costa

de Holbox, Quintana Roo, 500 (Delgado-Estrella 1996). En la costa de Tabasco la población fluctúa entre 300 y 573 individuos dependiendo de la temporada del año (López Hernández 1997).

FACTORES DE RIESGO PARA LAS POBLACIONES DE MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO

CAPTURA INTENCIONAL

De manera utilitaria, el manatí es muy apreciado por su carne, grasa y piel. La caza, que data desde tiempos prehispánicos (McKillop 1985), ha contribuido significativamente a la disminución de las poblaciones de la especie. A pesar de que está prohibida por la ley, la captura del manatí aún persiste en varias localidades. En los últimos 10 años se ha reportado la caza y venta de carne de manatí en algunas comunidades cercanas a Ciudad del Carmen y el río Palizada en Campeche (Morales-Vela *et al.* 2003), así como en la laguna de Alvarado, Veracruz (Ortega-Argueta 1999). En Tabasco y Yucatán también persiste la tradición de la caza de manatí, aunque ha disminuido la incidencia de capturas en tiempos recientes.

La captura de toninas para usarlas como carnada en palangre de tiburón fue una práctica común en el Golfo de México hasta 1974 (Kasuga 1968, International Whaling Commission 1980). A pesar de que dicha práctica fue prohibida desde por lo menos 1980 (International Whaling Commission 1980), existen registros posteriores a esa fecha de capturas de toninas y delfines moteados del Atlántico en Campeche y Veracruz (Hugentobler y Gallo 1985, Gallo-Reynoso 1986, Ortega-Argueta *et al.* 1999). Gallo-Reynoso y Pimienta (1989) observaron huellas de “faenado” (destazado con machete) en un cráneo de ballena picuda de las Antillas encontrado en isla Aguada, Campeche. Aunque no se comprobó si dicho animal fue capturado o se varó, si resultó evidente que sus restos fueron aprovechados probablemente como carnada.

Durante más de treinta años se llevó a cabo la captura de toninas en México para proveer ejemplares a delfinarios. Leatherwood y Reeves (1982) mencionan que de 1961 a 1972 se capturaron en México entre 40 y 60 toninas y de 1973 a 1977, entre 18 y 25. En 1977 se capturaron entre cinco y ocho toninas para enviarlas a Inglaterra y en 1978 se enviaron 12 toninas a Suiza y Alemania (International Whaling Commission 1980). Un informe de la Comisión Ballenera Internacional indica que en México se habían capturado 58 toninas

hasta 1984 (International Whaling Commission 1984). Los reportes mencionados anteriormente no especifican las localidades de captura por lo que no se puede determinar cuántas de esas toninas fueron extraídas del Golfo de México. La primera captura confirmada para esta región se realizó alrededor de 1975 en Laguna de Términos, Campeche (Pérez-Cortés Moreno 2002). A partir de 1996 los informes que el gobierno de México entrega a la Comisión Ballenera Internacional incluyen información acerca de capturas de cetáceos, en donde se mencionan las siguientes capturas de toninas del Golfo de México para destinarlas al cautiverio: 12 individuos en 1995, cuatro en 1998 y 15 en 2000 (International Whaling Commission 1997, 2003). Debido a que los registros de capturas de delfines en México no son completos, es necesario elaborar y publicar un informe que contenga datos precisos acerca del número total de ejemplares que han sido capturados, así como sexo, edad, localidad y fecha de captura y destino.

Hasta 2001, las capturas de toninas se llevaron a cabo sin un reglamento específico y se autorizaban mediante un esquema de permisos y cuotas. En cada permiso de captura se establecían condicionantes y restricciones. En algunos casos se comprometía formalmente al solicitante del permiso a que realizara estudios poblacionales durante al menos un ciclo anual, pero fue hasta 1991 cuando se realizaron los primeros estudios para sustentar permisos de captura (Pérez-Cortés Moreno 2002). Desafortunadamente, los estudios abarcaron periodos de tiempo muy breves, no dieron seguimiento a las poblaciones después de que se extrajeron las toninas y no se publicaron. Por lo anterior, resulta difícil determinar qué consecuencias tuvieron las capturas en las poblaciones de toninas del sur del Golfo de México.

La captura de mamíferos marinos está contemplada actualmente en diversas normas administrativas y penales de la legislación mexicana. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las especies de mamíferos marinos del Golfo de México está protegida por la legislación vigente. El Código Penal Federal (artículo 420, fracción primera) impone una pena de uno a nueve años de prisión y el equivalente de salario mínimo de trescientos a tres mil días multa a quien ilícitamente capture, dañe o prive de la vida a algún mamífero marino, o recolecte o almacene de cualquier forma sus productos o subproductos. En 2001 se publicó la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-135-SEMARNAT-2001 (D.O.F. 2001) para regular la captura, transporte, exhibición, manejo y manutención de mamíferos marinos en cautiverio (D.O.F. 2001). El 10 de enero de 2002 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* el decreto por el que se reforma la Ley General de Vida

Silvestre y se prohíbe la captura de todas las especies de mamíferos marinos en México, ya sea con fines comerciales o de subsistencia, con excepción de aquella que tenga por objeto la investigación científica y la educación superior de instituciones acreditadas (D.O.F. 2002b).

CAPTURA INCIDENTAL E INTERACCIÓN CON PESQUERÍAS

Se han descrito varios casos de enmalle y muerte de manatíes en Alvarado, Veracruz y Catazajá, Chiapas (Ortega-Argueta 1999, Morales Solís 2001). Estos incidentes han generado conflictos entre pescadores y autoridades ambientales debido a que las redes agalleras en las que se enmallaron los manatíes están prohibidas. En Tabasco se reportan ocasionalmente algunos manatíes enmallados o golpeados por lanchas en las zonas con alta incidencia de pesca.

Los cetáceos también son objeto de captura incidental en diferentes artes de pesca utilizadas en el Golfo de México (Gallo-Reynoso 1986, Delgado-Estrella 1997, Ortega-Argueta *et al.* 1999, Patiño Valencia *et al.* 2000, Waring *et al.* 2002). Las artes de pesca en las que ocurren capturas incidentales y las especies involucradas son: redes agalleras (toninas, delfín moteado del Atlántico, delfín moteado pantropical), redes de arrastre (toninas), palangre (delfín de Risso, calderón de aletas cortas, calderón pigmeo) y trampas para cangrejo o langosta (toninas). En ocasiones los pescadores atacan a los cetáceos para evitar que se alimenten de los peces que han capturado y para que no dañen sus artes de pesca. Un ejemplo de ese tipo de interacción se da cuando los calderones de aletas cortas roban el atún de los palangres (Patiño Valencia *et al.* 2000). Los pescadores llegan a disparar con armas de fuego a los calderones para alejarlos del palangre. Algunos pescadores de camarón consideran que las toninas destruyen las redes y por esa razón les disparan cuando se acercan a sus embarcaciones (Delgado-Estrella 1997).

PÉRDIDA DEL HÁBITAT

El manatí y las toninas costeras han visto disminuir el hábitat disponible en algunas localidades del sur del Golfo de México debido a la construcción de estructuras para exploración, extracción y transporte de hidrocarburos, así como estructuras asociadas a la navegación. En otros lugares la disminución del hábitat se debe a actividades de agricultura y ganadería extensiva. Ejemplos de esas dos situaciones se presentan, respectivamente, en los humedales

de Tabasco y la costa central de Veracruz. A nivel de especie, el problema no es tan crítico para las toninas puesto que su área de distribución es extensa y los individuos tienen la posibilidad de desplazarse hacia áreas menos perturbadas. Aunque es posible que las toninas abandonen algunas localidades, la especie en su conjunto no está amenazada. En contraste, las poblaciones de manatíes en el sur del Golfo son pequeñas, fragmentadas y tienen una distribución reducida, por lo que la pérdida del hábitat es una grave amenaza para esa especie. Como ejemplo de esto, en un estudio del hábitat del manatí en Alvarado, Veracruz se estimó que de la superficie total del sistema lagunar, el 57% corresponde a tierras destinadas a la agricultura y ganadería extensiva, actividades que han modificado significativamente la superficie de humedales naturales (Ortega-Argueta 2002).

La conservación del manatí depende en gran medida de la reproducción exitosa en las áreas naturales de distribución. Los manatíes tienen un periodo de lactancia de aproximadamente dos años, alcanzan su madurez sexual de los tres a los cinco años, tienen un periodo de gestación de 12-14 meses y paren una sola cría en intervalos de tres a cinco años (Reynolds y Odell 1991, Bossart 2001). Debido a la baja tasa reproductiva y los altos costos de mantenimiento, los programas de repoblamiento basados en la reproducción de manatíes en cautiverio son una estrategia poco viable (Bossart 1999). Por esta razón, un programa más adecuado para la conservación de manatí debe incluir la instauración de redes de áreas naturales protegidas. Los santuarios del manatí que ya existen en la Bahía de Chetumal y la Laguna de Catazajá son un buen ejemplo. En cada uno de los estados del Golfo se han identificado áreas de humedales en buen estado de conservación. Como medida de manejo se debe buscar la conexión de estas áreas con hábitats importantes para el manatí, mediante la designación de nuevas áreas naturales protegidas para formar un corredor ecológico.

El cambio climático global es otro factor que debe considerarse al evaluar la pérdida del hábitat, particularmente para los mamíferos marinos que habitan la región costera (Würsig *et al.* 2002). Las consecuencias del cambio climático global pueden acelerar la pérdida del hábitat debido al aumento en el nivel del mar, cambios en la línea de costa y en la magnitud de las descargas fluviales. Además, los efectos secundarios del cambio global podrían alterar también las condiciones del hábitat que lo hacen favorable a los mamíferos marinos. Por ejemplo, si se presentan cambios en los patrones de corrientes, productividad primaria y marea roja, una localidad puede dejar de ser un hábitat adecuado para los mamíferos marinos (Würsig *et*

al. 2002).

CONTAMINACIÓN

Los mamíferos marinos son propensos a la bioacumulación y biomagnificación de contaminantes debido a que son animales longevos que se encuentran en los niveles superiores de la trama trófica (Kannan *et al.* 1997). En la capa de grasa subcutánea, que sirve para la termorregulación en estos animales, se pueden acumular grandes cantidades de contaminantes con afinidad por los lípidos (Mössner y Ballschmiter 1997). Además, los contaminantes acumulados en el tejido adiposo son transferidos a las crías durante la lactancia. Por esas características, los mamíferos marinos han sido propuestos como especies indicadoras para analizar la exposición prolongada a dosis bajas de contaminantes en el medio marino (Mössner y Ballschmiter 1997). A pesar de lo anterior, existen pocos estudios que analicen la concentración de contaminantes en los mamíferos marinos del Golfo de México. La presencia de compuestos organoclorados (PCB y DDE) fue registrada en tejidos de toninas costeras del norte del Golfo de México (Kuehl y Haebler 1995, Salata *et al.* 1995). Aunque no se estableció una relación de causa y efecto entre la presencia de dichos contaminantes y la muerte de las toninas (Colbert *et al.* 1999), se observó una correlación entre la concentración de los contaminantes y la reducción en la respuesta inmune de los organismos (Lahvis *et al.* 1995).

La presencia de gran número de instalaciones de extracción, transporte y refinación de hidrocarburos en la plataforma continental, la zona costera y los humedales del Golfo de México representa un riesgo potencial de contaminación para las especies que habitan la región. Por esta razón, es necesario evaluar y dar seguimiento a la concentración de contaminantes en las poblaciones de mamíferos marinos.

Otra fuente de contaminación que puede tener efectos negativos en las poblaciones costeras de mamíferos marinos es la descarga de aguas residuales. Los compuestos tóxicos, microorganismos patógenos e incluso los fármacos contenidos en esas descargas pueden afectar a los mamíferos marinos. Por ejemplo, Miller *et al.* (2002) observaron que la ocurrencia de toxoplasmosis en nutrias de la costa del sur de California está relacionada con descargas de agua contaminadas con heces de gato. Las infecciones de toxoplasmosis en cetáceos también pueden estar relacionadas a descargas de aguas contaminadas con ese microorganismo (Resendes *et al.* 2002).

TRÁFICO MARÍTIMO

La colisión con embarcaciones es la principal causa de mortalidad del manatí de la Florida. De hecho, se han observado diferencias significativas en la probabilidad de supervivencia de manatíes entre áreas donde la navegación es restringida y áreas con tráfico intenso de embarcaciones (Langtimm *et al.* 1998). Debido a que la distribución de manatí en el sur del Golfo de México se restringe generalmente a localidades remotas donde el tráfico de embarcaciones no es muy intenso, este factor no es un problema muy serio en la actualidad. Sin embargo, en el caso de que el tráfico de embarcaciones se incremente en las áreas de distribución de manatí, es muy probable que la colisión de manatíes y embarcaciones se convierta en un problema que limite la colonización de algunas áreas y afecte la recuperación de la especie.

La colisión con buques es una causa frecuente de mortalidad de ballenas. Un estudio realizado por Laist *et al.* (2001) indica que las colisiones se presentan con embarcaciones de cualquier tipo y tamaño, pero los encuentros de resultados fatales para las ballenas ocurren con buques de al menos 80 m de eslora que se desplazan a velocidades de más de 25.9 km/h (14 nudos). Las muertes causadas por colisiones con buques pueden afectar de manera significativa a poblaciones pequeñas de estos cetáceos. En el caso de la ballena franca en el Atlántico norte, más de la tercera parte de los casos de mortalidad documentados se deben a colisiones con barcos (Laist *et al.* 2001). El incremento del transporte en los puertos del sur del Golfo de México podría ocasionar un aumento en el tráfico de embarcaciones mayores en áreas con elevada densidad de cetáceos. Por lo anterior, es conveniente realizar un seguimiento de la incidencia de las colisiones entre embarcaciones y ballenas que permita detectar y prevenir posibles riesgos para las poblaciones de esos cetáceos.

EXPLORACIÓN GEOLÓGICA Y DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS

Otros dos casos de actividades humanas que pueden tener un efecto negativo sobre las poblaciones de mamíferos marinos del Golfo de México son la exploración geológica y la demolición o remoción de estructuras por medio de explosivos. Ambas actividades se asocian con la explotación de yacimientos de hidrocarburos en los fondos marinos. La exploración ecográfica de dicho fondo se hace a través de ondas de baja frecuencia generadas por

medio de explosiones. En un principio se usaba dinamita para generar las ondas pero actualmente se utilizan émbolos o “pistolas” de aire comprimido. Las ondas generadas por la explosión viajan a través de la columna de agua, penetran en el fondo del mar y se reflejan hacia la superficie de manera diferencial, dependiendo de las discontinuidades presentes en los sedimentos. Los ecos son registrados en la superficie por una serie de hidrófonos y posteriormente se analizan para determinar la estructura de los sedimentos y la presencia de probables yacimientos. Las explosiones utilizadas por este tipo de exploración geológica producen sonidos de gran intensidad que pueden tener efectos nocivos en los mamíferos marinos y en sus presas (Richardson *et al.* 1990, Engås *et al.* 1996, Goold y Fish 1998). A pesar de que la exploración geológica ha sido muy frecuente en el Golfo de México, no se han realizado estudios para determinar los efectos que pueda tener sobre las poblaciones de mamíferos marinos.

La remoción o demolición de plataformas petroleras marinas frecuentemente se lleva a cabo utilizando explosivos. La onda expansiva puede causar la muerte de mamíferos marinos que se encuentren cerca en el momento de la explosión (Klima *et al.* 1988). En la zona económica exclusiva de los Estados Unidos de América, la industria está obligada a evitar la mortalidad de mamíferos y tortugas marinas durante la demolición de estructuras. Para ello se colocan observadores que se encargan de detener la operación cuando existan mamíferos o tortugas marinas cerca del sitio de demolición. Es conveniente instaurar un programa similar en el sur del Golfo de México.

ECOTURISMO

La observación de mamíferos marinos en su ambiente natural se ha vuelto muy popular. Aunque en México este tipo de actividades se ha enfocado a la observación de ballenas en la costa del Pacífico y Golfo de California, es muy probable que pronto surja el interés en desarrollar actividades de observación de delfines o manatíes en la costa del Golfo de México. El ecoturismo puede ofrecer alternativas de desarrollo para algunas comunidades costeras del sur del Golfo, pero es necesario que se tomen precauciones y se regulen las actividades para asegurar su sustentabilidad (Young 1999, Heckel *et al.* 2003). Si no se lleva a cabo de una manera adecuada, la observación de mamíferos marinos pueden tener efectos negativos en las poblaciones involucradas (Janik y Thompson 1996, Constantine 2001, Heckel *et al.* 2003). La Norma Oficial Mexicana NOM-131-ECOL-1998 (D.O.F. 2000) que regula

esta actividad en México, se refiere solamente a la observación de ballenas y no incluye otras especies que podrían ser objeto de ecoturismo en el Golfo de México. Es necesario incluir en la normatividad a todas especies de mamíferos marinos que tienen potencial para esta actividad.

RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS MAMÍFEROS MARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO

A pesar de que la normatividad otorga protección especial a los mamíferos marinos, las investigaciones sobre cetáceos en esta región son escasas y se limitan casi totalmente a la zona costera. Con la finalidad de generar información básica necesaria para un manejo adecuado de las poblaciones de mamíferos marinos del sur del Golfo de México, sugerimos las siguientes acciones:

- a) Llevar a cabo estudios para obtener información precisa y actualizada acerca de la distribución, abundancia y hábitat crítico de los mamíferos marinos.
- b) Definir unidades de manejo (*stocks*), preferentemente a través de estudios de genética molecular de las poblaciones de mamíferos marinos.
- c) Cuantificar la mortalidad de mamíferos marinos ocasionada directamente por actividades humanas (capturas intencionales, capturas incidentales, interacciones con pesquerías y colisiones con embarcaciones).
- d) Reforzar la vigilancia de las autoridades ambientales en aquellas áreas de importancia para los mamíferos marinos, particularmente en la zona costera.
- e) Desarrollar programas de educación para sensibilizar a los pobladores sobre la importancia de proteger a los mamíferos marinos y su hábitat.
- f) Usar a los mamíferos marinos como especies bandera para la conservación de los ecosistemas acuáticos.
- g) Otorgar apoyo financiero y logístico a organizaciones que están participando activamente en la conservación de mamíferos marinos, como el caso del Subcomité técnico consultivo para la recuperación del manatí. Desde 1997, este comité reúne anualmente a un grupo de expertos para proponer medidas y tomar decisiones de manejo e investigación en torno a la especie. Las directrices de conservación están señaladas en el Proyecto de recuperación del manatí en México (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga Weiss, S. y W. Contreras Sánchez 1993. *El manatí (Trichechus manatus) en Tabasco*. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 73 pp.
- Baumgartner, M. F., K. D. Mullin, L. N. May y T. D. Leming 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 99:219-239. National Marine Fisheries Service Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Biggs, D. C., R. R. Leben y J. G. Ortega-Ortiz 2000. Ship and satellite studies of mesoscale circulation and sperm whale habitats in the northeast Gulf of Mexico during GulfCet II. *Gulf of Mexico Science* 18:15-22. Dauphin Island Sea Lab, Dauphin Island, AL, EE.UU.
- Bossart, G. D. 1999. The Florida manatee: On the verge of extinction? *Journal of the American Veterinary Medical Association* 214:1178-1183. American Veterinary Medical Association, Schaumburg, IL, EE.UU.
- 2001. Manatees. Páginas 939-960. En: L. A. Dierauf y F. M. D. Gulland (eds.) *CRC handbook of marine mammal medicine*. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham y J. L. Laake 1993. *Distance sampling: Estimating abundance of biological populations*. Chapman and Hall, London, U.K.
- Buckland, S. T. y A. E. York 2002. Abundance estimation. Páginas 1-6. En: W. F. Perrin, B. Würsig y J. G. M. Thewissen (eds.) *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press. San Diego, CA, EE.UU.
- Chanona Hernández, V. 1997. Estudio de la distribución y la abundancia poblacional del manatí (*Trichechus manatus*) en la Laguna de Catanzá, Chiapas, México. Tesis profesional, Universidad de Ciencias y Artes del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 80 p.
- Colbert, A. A., G. I. Scott, M. H. Fulton, E. F. Wirth, J. W. Daugomah, P. B. Key, E. D. Strozier y S. B. Galloway 1999. Investigations of unusual mortalities of bottlenose dolphins along the mid-Texas coastal bay ecosystem during 1992. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS 147. 23 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., USA.
- Colmenero R., L. C. 1986. Aspectos de la ecología y comportamiento de una colonia de manatíes (*Trichechus manatus*) en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 56:589-602. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Colmenero R., L. C. y M. E. Hoz Z. 1986. Distribución de los manatíes, situación y su conservación en México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 56:955-1020. Universidad Nacional Autónoma

- de México, México.
- Constantine, R. 2001. Increased avoidance of swimmers by wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) due to long-term exposure to swim-with-dolphin tourism. *Marine Mammal Science* 17:689–702. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Davis, R. W., W. E. Evans y B. Würsig (eds.). 2000. *Cetaceans, Sea Turtles and Seabirds in the Northern Gulf of Mexico: Distribution, Abundance and Habitat Associations*. Vol. II: Technical Report. U.S. Department of the Interior, Geological Survey, Biological Resources Division, USGS/BRD/CR-1999-0006 and Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA, EE.UU.
- Davis, R. W., G. S. Fargion, N. May, T. D. Leming, M. Baumgartner, W. E. Evans, L. J. Hansen y K. Mullin 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science* 14:490–507. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Davis, R. W., J. G. Ortega-Ortiz, C. A. Ribic, W. E. Evans, D. C. Biggs, P. H. Ressler, R. B. Cady, R. R. Leben, K. D. Mullin y B. Würsig 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 49:121–142. Elsevier Science, Oxford, Gran Bretaña.
- Delgado-Estrella, A. 1991. Algunos aspectos de la ecología de poblaciones de las toninas (*Tursiops truncatus* Montagü, 1821) en la Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México. Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 149 pp.
- 1994. Presencia del delfín de dientes rugosos o esteno (*Steno bredanensis*) en la costa de Tabasco, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 65:303–305. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 1996. Ecología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus*, en la Laguna de Yalahau, Quintana Roo, México. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 93 p.
- 1997. Relación de las toninas, *Tursiops truncatus*, y las toninas moteadas, *Stenella frontalis*, con la actividad camaronera en la Sonda de Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 68:317–338. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 2002. Comparación de parámetros poblacionales de las toninas, *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México (Estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 160 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 2000. Tomo DLVI, 10 de enero de 2000, pp. 11–17.

- Norma Oficial Mexicana NOM-131-ECOL-1998. Establece lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat.
- . 2001. Tomo DLXXXIII, 8 de junio de 2001, 1-26 p. Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-135-SEMARNAT1-2001. Para la captura, transporte, exhibición, manejo y manutención de mamíferos marinos en cautiverio.
- . 2002. Tomo DLXXXII, 6 de marzo de 2002, 95-190 p. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- . 2002b. Tomo Tomo DLXXX, 10 de enero de 2002, 5-6 p. Decreto por el que se reforman diversas disposiciones de la Ley General de Vida Silvestre.
- Engås, A., S. Løkkeborg, E. Ona y A. V. Soldal 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53:2238-2249. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Canadá.
- Escatel Luna, R. E. 1997. Biología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus*, en la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis de maestría, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y del Posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 94 pp.
- Fulling, G. L., K. D. Mullin y C. W. Hubard 2003. Abundance and distribution of cetaceans in outer continental shelf waters of the U.S. Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 101:923-932. National Marine Fisheries Service Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Gallo-Reynoso, J. P. 1986. Sobre los mamíferos marinos mexicanos. *Técnica Pesquera* 219:10-16. Ediciones Mundo Marino, Mexico, D.F.
- Gallo-Reynoso, J. P. y F. Pimienta. 1989. Primer registro del zifio de las Antillas (*Mesoplodon europaeus* Gervais, 1955) (Cetacea: *Ziphiidae*) en México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 60:267-278. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Goold, J. C. y P. J. Fish. 1998. Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America* 103:2177-2184. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, New York, NY, EE.UU.
- Griffin, R. B. y N. J. Griffin 2003. Distribution, habitat partitioning, and abundance of Atlantic spotted dolphins, bottlenose dolphins, and loggerhead sea turtles on the Eastern Gulf of Mexico continental shelf. *Gulf of Mexico Science* 21:23-34. Dauphin Island Sea Lab, Dauphin Island, AL, USA.
- Heckel Dziendzielewski, G. 1992. Fotoidentificación de tursiones *Tursiops truncatus*

- (Montagu, 1821) en la Boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: *Delphinidae*). Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 164 pp.
- Hammond, P. S., S. A. Mizroch y G. P. Donovan (eds.) 1990. *Individual recognition of cetaceans: use of photoidentification and other technics to estimate population parameters*. Reports of the International Whaling Commission, Special Issue 12. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- Heckel, G., I. Espejel y D. W. Fischer 2003. Issue definition and planning for whalewatching management strategies in Ensenada, Mexico. *Coastal Management* 31:277-296. Taylor & Francis, New York, NY, EE.UU.
- Heinsohn, G. E. 1976. Sirenians Draft Report. ACMRR/MM/SC/WG 4-1. En: *Food and Agriculture Organization, 1976, Scientific Consultation Marine Mammals*. FAO, Bergen, Noruega.
- Hersh, S. L. y D. A. Duffield 1990. Distinction between northwest Atlantic offshore and coastal bottlenose dolphins based on hemoglobin profile and morphometry. Páginas 129-139. En: S. Leatherwood y R. R. Reeves (eds.) *The bottlenose dolphin*. Academic Press, San Diego, CA, EE.UU.
- Hoelzel, A. R., C. W. Potter y P. B. Best 1998. Genetic differentiation between parapatric 'nearshore' and 'offshore' populations of the bottlenose dolphin. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 265:1177-1183. Printed for the Royal Society and sold by Harrison & Sons, London, Gran Bretaña.
- Hugentobler, H. y J. P. Gallo 1985. Un registro de la estenela moteada del Atlántico (*Stenella plagiodon* (Cope, 1866) (Cetacea: Delphinidae)) del Estado de Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología*. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 56:1039-1042. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- International Whaling Commission 1980. Report of the Scientific Committee, Annex I, Report of the Subcommittee on Small Cetaceans. *Reports of the International Whaling Commission* 30: 111-128. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 1984. Report of the Scientific Committee, Annex H, Report of the Sub-Committee on Small Cetaceans. *Reports of the International Whaling Commission* 34: 144-160. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 1997. National Progress Reports Submitted to the Scientific Committee. Mexico-Progress Report on Cetacean Research June 1995 to April 1996. *Reports of the International Whaling Commission* 47: 349-352. International Whaling Commission, Cambridge, Gran Bretaña.
- 2003. Report of the Scientific Committee, Annex K, Report of the Sub-Committee on Small Cetaceans. *Journal of Cetacean Research and Management* 5

- (Supplement): 362-381. International Whaling Commission, Cambridge.
- Janik, V. M. y P. M. Thompson 1996. Changes in surfacing patterns of bottlenose dolphins in response to boat traffic. *Marine Mammal Science* 12:597-602. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Jefferson, T. A. 1995. Distribution, abundance, and some aspects of the biology of cetaceans in the Offshore Gulf of Mexico. Ph.D dissertation, Texas A&M University, College Station, TX. 232 p.
- Jefferson, T. A. y A. J. Schiro. 1997. Distribution of cetaceans in the offshore Gulf of Mexico. *Mammal Review* 27:27-50. Published for the Mammal Society by Blackwell Scientific Publications, Oxford, Gran Bretaña.
- Kannan, K., K. Senthilkumar, B. G. Loganathan, S. Takahashi, D. K. Odell y S. Tanabe. 1997. Elevated accumulation of tributyltin and its breakdown products in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) found stranded along the U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Environmental Science & Technology* 31:296-301. American Chemical Society Easton.
- Kasuga, L. 1968. Como cazar toninas para carnada de tiburón. *Técnica Pesquera* 1:29. Ediciones Mundo Marino, México, D.F.
- Klima, E. F., G. R. Gitschlag y M. L. Renaud 1988. Impacts of the explosive removal of offshore petroleum platforms on sea turtles and dolphins. *Marine Fisheries Review* 50:33-42. NMFS Scientific Publications Office, Seattle, WA, EE.UU.
- Kuehl, D. W. y R. Haebler 1995. Organochlorine, organobromine, metal, and selenium residues in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) collected during an unusual mortality event in the Gulf of Mexico, 1990. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology* 28:494-499. Springer-Verlag, New York, NY, EE.UU.
- Lahvis, G. P., R. S. Wells, D. W. Kuehl, J. L. Stewart, H. L. Rhinehart y C. S. Via. 1995. Decreased lymphocyte responses in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) are associated with increased concentrations of PCBs and DDT in peripheral blood. *Environmental Health Perspectives* 103:67-72. National Institute of Environmental Health Sciences, Research Triangle Park, NC, EE.UU.
- Laist, D. W., A. R. Knowlton, J. G. Mead, A. S. Collet y M. Podesta 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science* 17:35-75. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Langtimm, C. A., T. J. O'Shea, R. Pradel y C. A. Beck 1998. Estimates of annual survival probabilities for adult Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Ecology* 79:981-997. Ecological Society of America, Tempe, AZ, EE.UU.
- Lazcano-Barrero, M. A. y J. M. Packard. 1989. The occurrence of manatees (*Trichechus manatus*) in Tamaulipas, Mexico. *Marine Mammal Science* 5:202-205. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Leatherwood, S. and R. R. Reeves. 1982. Bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* and

- other toothed cetaceans. Páginas 369-414. En: J. A. Chapman and G. A. Feldhammer (eds.) *Wild mammals of North America*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, EE.UU.
- LeBoeuf, B. J., K. W. Kenyon y B. Villa-Ramirez. 1986. The Caribbean monk seal is extinct. *Marine Mammal Science* 2:70-72. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Lechuga Medina, A. 1996. Distribución y asociación de las agrupaciones de tursiones (*Tursiops truncatus*, Montagu, 1821) de los alrededores de Isla Holbox y aguas adyacentes, 1993-1994, Quintana Roo, México. Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 92 pp.
- Lefebvre, L. W., M. Marmontel, J. P. Reid, G. B. Rathbun y D. P. Domning. 2001. Status and biogeography of the West Indian Manatee. Páginas 425-474. En: C. A. Woods and F. E. Sergile (eds.) *Biogeography of the West Indies, patterns and perspectives*. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU.
- López Hernández, I. 1997. Ecología poblacional de las toninas *Tursiops truncatus* en la costa de Tabasco, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 77 pp.
- McKillop, H. I. 1985. Prehistoric exploitation of the manatee in Maya and circum-Caribbean areas. *World Archaeology* 16:337-353. Routledge & Kegan Paul, Londres.
- Mead, J. G. y C. W. Potter. 1995. Recognizing two populations of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) off the Atlantic coast of North America: morphologic and ecologic considerations. *IBI Reports* 5:31-39. International Marine Biology Research Institute, Kamogawa, Japón.
- Merino, M. 1997. Upwelling on the Yucatan shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems* 13:101-121. Elsevier, Amsterdam, Holanda.
- Miller, M. A., I. A. Gardner, C. Kreuder, D. M. Paradies, K. R. Worcester, D. A. Jessup, E. Dodd, M. D. Harris, J. A. Ames, A. E. Packham y P. A. Conrad 2002. Coastal freshwater runoff is a risk factor for *Toxoplasma gondii* infection of southern sea otters (*Enhydra lutris nereis*). *International Journal for Parasitology* 32:997-1006. Pergamon Press, Oxford, Gran Bretaña.
- Morales Solís, R. 2001. Interacción de actividades pesqueras y urbanas con la distribución del manatí *Trichechus manatus* (Linnaeus, 1758), en la Laguna de Catazajá, Chiapas, México. Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana. 93 pp.
- Morales V., B. y D. Olivera G. 1994. Distribución espacial y estimación poblacional de los manatíes en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Baja California Sur* 2:27-34. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, México.
- Morales Vela, B. y D. Olivera Gómez 1996. Manatee rescue in Chiapas. *Sirennews, Newsletter*

- of the IUCN/SSC Sirenia Specialist Group 25. <http://www.sirenian.org/sirennews.html>
- Morales-Vela, B., J. Padilla-Saldivar y A. A. Mignucci-Giannoni 2003. Status of the manatee (*Trichechus manatus*) along the northern and western coasts of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Caribbean Journal of Science* 39:42-49. University of Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Morales-Vela, J. B. 2000. Distribución, abundancia y uso de hábitat por el manatí en Quintana Roo y Belice, con observaciones sobre su biología en la bahía de Chetumal, México. Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 143 pp.
- Mössner, S. y K. Ballschmiter. 1997. Marine mammals as global pollution indicators for organochlorines. *Chemosphere* 34:1285-1296. Pergamon Press, Oxford.
- Mullin, K. D. y L. J. Hansen. 1999. Marine Mammals of the Northern Gulf of Mexico. Páginas 269-277. En: H. Kumpf, K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science, Malden, MA, EE.UU.
- Ortega-Argueta, A. 1999. Situación actual y las perspectivas de conservación del manatí en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Informe Técnico Preliminar presentado a la Dirección General de Vida Silvestre, INE-SEMARNAT. 13 pp.
- 2000. Conservation activities on the Alvarado manatee population. *Sirennews, Newsletter of the IUCN/SSC Sirenia Specialist Group* 33:14-15. <http://www.sirenian.org/sirennews.html>.
- 2002. Evaluación del hábitat del manatí (*Trichechus manatus*) en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Tesis de Maestría, Programa de Manejo de Fauna Silvestre, Instituto de Ecología, A. C., Xalapa, Ver. 80 pp.
- Ortega-Argueta, A., C. E. Pérez Sánchez, G. Gordillo Morales, O. G. Gordillo Solís, D. G. Pérez y H. Alafita. 1999. Cetacean strandings on the southwestern coast of the Gulf of México. Informe Técnico, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, México. 8 pp.
- Ortega-Ortiz, J. G. 2000. Muestreo de mamíferos marinos: Estimación de abundancia de delfines mediante fotoidentificación. Páginas 337-351. En: A. Granados Barba, V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (eds.) *Métodos de Muestreo en la Investigación Oceanográfica*. Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 2002. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College Station, TX. 170 pp.
- Patiño Valencia, J. L., K. Ramírez, P. Ulloa Ramírez y H. Pérez-Cortés Moreno 2000. Interacción de calderones *Globicephala* sp. con las actividades de pesca del atún con palangre en el Golfo de México. Resúmenes XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, 7-11 Mayo de 2000. La Paz, Baja California Sur,

México.

- Pérez-Cortés Moreno, H. 1985. Estudio de una población de manatíes, *Trichechus manatus manatus* (Mammalia: Sirenia) en el municipio de Palizada, Campeche, México. Tesis de licenciatura en biología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 73 pp.
- 2002. Análisis histórico y perspectivas actuales del manejo de delfines. Ensayo Predoctoral, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B.C.S. 43 pp.
- Portilla Ochoa, E., K. Paradowska y B. E. Cortina Julio 1999. Evaluación participativa y conservación del manatí en el complejo lagunar de Alvarado, Veracruz. Informe Técnico presentado al U.S. Fish and Wildlife Service. Universidad Veracruzana, Xalapa.
- Resendes, A. R., S. Almería, J. P. Dubey, E. Obón, C. Juan-Sallés, E. Degollada, F. Alegre, O. Cabezón, S. Pont y M. Domingo 2002. Disseminated toxoplasmosis in a Mediterranean pregnant Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with transplacental fetal infection. *Journal of Parasitology* 88:1029–1032. American Society of Parasitologists, Lawrence, KS, EE.UU.
- Reynolds, J. E., III y D. K. Odell 1991. *Manatees and dugongs*. Facts on File, New York, EE.UU.
- Rice, D. W. 1998. *Marine mammals of the world. Systematics and distribution*. The Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- Richardson, W. J., B. Würsig y C. R. Greene, Jr. 1990. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to drilling and dredging noise in the Canadian Beaufort Sea. *Marine Environmental Research* 29:135-160. Applied Science Publishers, London, Gran Bretaña.
- Salata, G. G., T. L. Wade, J. L. Sericano, J. W. Davis y J. W. Brooks 1995. Analysis of Gulf of Mexico bottlenose dolphins for organochlorine pesticides and PCBs. *Environmental Pollution* 88:167-175. Applied Science Publishers, Barking, Essex, Gran Bretaña.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001. *Proyecto de Conservación, Recuperación y Manejo del manatí Trichechus manatus en México*. Serie Proyectos de Conservación y Recuperación de Especies Prioritarias No. 11. SEMARNAT-Dirección General de Vida Silvestre, México.
- Torres, L. G., P. E. Rosel, C. D'Agrossa y A. J. Read 2003. Improving management of overlapping bottlenose dolphin ecotypes through spatial analysis and genetics. *Marine Mammal Science* 19:502-514. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, EE.UU.
- U. S. Fish and Wildlife Service 1999. Endangered and Threatened Wildlife and Plants 50 CFR 17.11 and 17.12, Diciembre de 1999.
- Villa-R., B., J. P. Gallo-R. y B. LeBoeuf. 1985. La foca monje *Monachus tropicalis*

- (Mammalia: Pinnipedia) definitivamente extinguida en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 56:573-588. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Waring, G. T., J. M. Quintal y S. L. Swartz (eds.) 2001. U. S. Atlantic and Gulf of Mexico Marine Mammal Stock Assessments - 2001. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-168, 307 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., EE.UU.
- Waring, G. T., J. M. Quintal y S. L. Swartz (eds.) 2002. U. S. Atlantic and Gulf of Mexico Marine Mammal Stock Assessments - 2002. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-169, 318 p. National Marine Fisheries Service, Washington, D.C., EE.UU.
- Würsig, B., T. A. Jefferson y D. J. Schmidly 2000. *The Marine Mammals of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station, TX, EE.UU.
- Würsig, B., R. R. Reeves y J. G. Ortega-Ortiz 2002. Global Climate Change and Marine Mammals. Páginas 589-608. En: P. G. H. Evans y J. A. Raga (eds.) *Marine Mammals: Biology and Conservation*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, NY, EE.UU..
- Young, E. H. 1999. Balancing conservation with development in small-scale fisheries: is ecotourism an empty promise? *Human Ecology* 27:581-620. Plenum Pub. Corp., New York, NY, EE.UU.

OSTRÁCODOS BENTÓNICOS DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO

Ma. Luisa Machain-Castillo y Raúl Gío-Argáez

INTRODUCCIÓN

Los ostrácodos son uno de los grupos más abundantes de la microfauna bentónica. Además de ser importantes eslabones en la cadena alimenticia, se caracterizan por ser útiles indicadores ecológicos. En este capítulo se presenta el conocimiento actual sobre la biodiversidad de ostrácodos en el sur del Golfo de México, sus patrones de distribución y su uso actual y potencial como indicadores ambientales.

Los ostrácodos son microcrustáceos (0.5 mm en promedio) que se caracterizan por presentar un caparazón bivalvo que encierra al organismo y es parte integral del cuerpo. Esto permite que en el caparazón se preserven diversas características que proveen información sobre las adaptaciones fisiológicas de los mismos. Su estrecha relación con el medio en que se desarrollan les permite ser utilizados como indicadores de diversos parámetros ambientales como la temperatura, salinidad, tipo de sustrato, y la concentración de ciertos elementos en agua y sedimento. Al cambio de las condiciones ambientales, la ostracofauna puede responder con cambios en la composición taxonómica de la población, en su forma o su composición química.

COMPOSICIÓN TAXONÓMICA

Al cambiar los factores oceanográficos en una zona, como por ejemplo, alteraciones en los patrones de circulación oceánica y en las masas de agua, la composición taxonómica de la fauna de ostrácodos varía de acuerdo con los nuevos factores ambientales presentes. Un caso típico es el cambio de salinidad. El aumento o disminución de salinidad presenta en una misma área diferentes poblaciones asociadas a las diversas salinidades. En la zona de influencia de la desembocadura de los principales ríos se encuentran en época de lluvias especies tolerantes de menores salinidades provenientes de ambientes salobres o dulceacuícolas, tales como *Cyprideis* spp, *Limnocythere friabilis* Benson and MacDonald, *Loxoconcha matagordensis* Swain (Machain-Castillo *et al.* 1990: 345). La presencia de dichas especies en los sedimentos nos permite conocer en el ámbito marino, la distribución geográfica de la influencia fluvial.

ALTERACIONES MORFOLÓGICAS

Algunas especies de ostrácodos presentan modificaciones en su caparazón de acuerdo con la cantidad de iones/cationes presentes en su ambiente. Por ejemplo, la misma especie puede presentar un caparazón más grueso y mayor ornamentado en zonas con mayor cantidad de carbonatos que en zonas donde la concentración de carbonatos es menor. El cambio de salinidad también puede modificar la morfología de las valvas. Algunas especies producen tubérculos fenotípicos. En un estudio estratigráfico en el pantano de Cobweb (al sur de Quintana Roo) se encontró que las poblaciones de *Cyprideis ovata* (Mincher) presentan organismos lisos en ambientes salobres, mientras que poblaciones nodosas o tuberculadas se encuentran en condiciones dulceacuícolas (Machain-Castillo *et al.* 1992).

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al igual que el resto de los crustáceos, los ostrácodos crecen por mudas y su caparazón calcifica en unas cuantas horas (Palacios-Fest com. pers.) por lo que la composición química del mismo refleja de manera “instantánea” las condiciones del ambiente en que se formó (del agua circundante). En este sentido el análisis de la composición química de los caparazones puede indicar la presencia y concentración ciertos elementos en el agua al tiempo de su formación. Esta característica les confiere un potencial uso como indicadores

de contaminación, ya sea natural o antropogénica y a diferencia de otros organismos indicadores que metabolizan o acumulan productos de contaminantes a través del tiempo, el caparazón de los ostrácodos presenta una “fotografía instantánea” de la presencia de dichos contaminantes en el momento de su calcificación. Una ventaja adicional es que el caparazón se preserva en el sedimento y su registro través del tiempo permite la reconstrucción de la historia ambiental y de contaminación de la zona.

BIODIVERSIDAD Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN

Hasta 1985, los reportes sobre ostrácodos en la zona económica exclusiva mexicana del Golfo de México y el Caribe comprendían únicamente los trabajos de Krutak y colaboradores para los arrecifes de Veracruz (Krutak, 1982, Krutak y Rickles 1979, Krutak *et al.* 1980) y de Palacios-Fest y Gío-Argáez (1979) y Palacios-Fest *et al.* (1983) para el Caribe Mexicano.

A partir de 1985 los autores del presente iniciaron el estudio sistemático de este grupo en los mares mexicanos. El material de estudio proviene de más de 10 campañas oceanográficas a bordo del B/O “Justo Sierra” de la UNAM, donde se colectaron diversos grupos taxonómicos y se obtuvieron parámetros físico-químicos y geológicos. A la fecha se han determinado casi 200 especies de ostrácodos en el Golfo de México al sur del paralelo 21° N, a profundidades entre 15 y 3,500 m. Las especies presentan un claro patrón de distribución en 6 asociaciones faunísticas, relacionadas con el tipo de sustrato, la profundidad y la dinámica oceánica.

En la plataforma continental interna del sur del Golfo de México se pueden distinguir dos asociaciones principales: a) la ostracofauna de afinidades terrígenas al oeste de la Laguna de Términos y b) la ostracofauna de la plataforma carbonatada del Banco de Campeche.

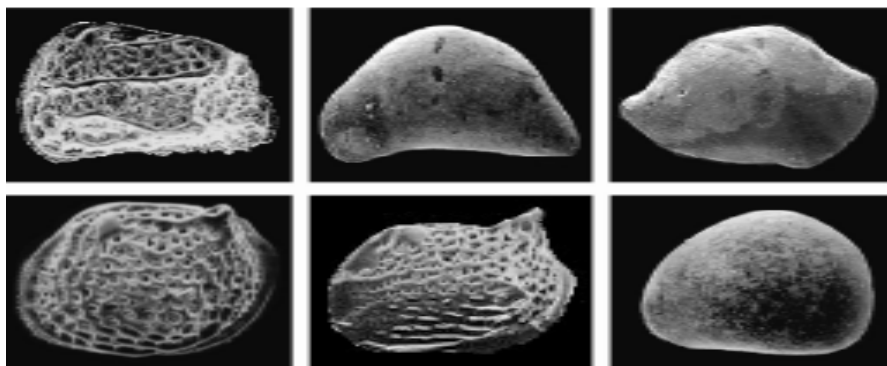
La plataforma interna terrígena del sur del Golfo de México (15 a 60 m de profundidad) se caracteriza por la presencia de sedimentos clásticos y la influencia de numerosos ríos que descargan estacionalmente cantidades variables de agua dulce, sedimentos, materia orgánica, contaminantes, etc. Dichas descargas influyen en una marcada variabilidad en el ambiente de todos estos factores.

La fauna de ostrácodos se encuentra adaptada a la inestabilidad del ambiente y está dominada por las siguientes especies: *Loxoconcha moralesi* Kontrovitz, L. sp. A, *Cytherella vermilionensis* Kontrovitz, *Cytherura* spp. y *Pontocythere* spp. También son importantes en esta asociación *Cytheromorpha*

paracastanea (Swain) *Cytherura* spp. y *Paradoxostoma* spp (figura 1).

En el Banco de Campeche, se encuentran sedimentos carbonatados con

FIGURA 1. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA INTERNA TERRÍGENA

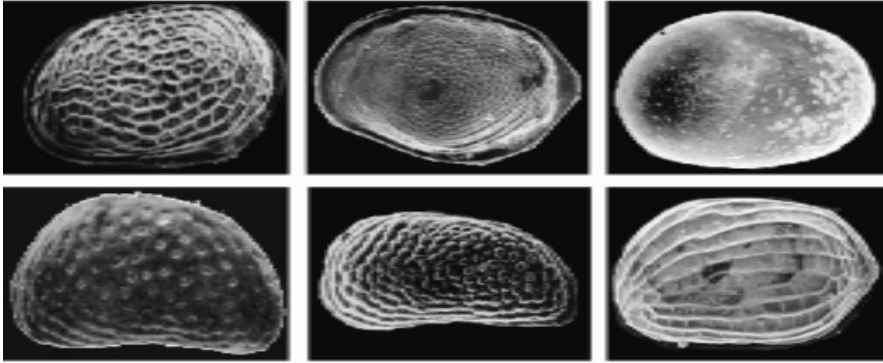


Loxoconcha moralesi, *Loxoconcha* sp. A, *Cytherella vermilionensis*, *Pontocythere semicircularis*, *Pontocythere tuberculata* y *Cytherura* sp.

poca o nula influencia fluvial y turbidez; salinidad y temperatura casi estable y menor contenido de materia orgánica. Las especies características encontradas en esta zona son: *Macrocyprina skinneri* Kontrovitz, *Orionina* sp. A, *Loxocorniculum* spp. y especies de la familia Bairdiaceae (figura 2).

Entre estas dos provincias se encuentra una amplia zona de transición, alrededor de la Laguna de Términos, variable estacionalmente. La ostracofauna de esta zona se encuentra conformada por mezcla de especies de las dos asociaciones anteriormente descritas. La mayoría de estas especies toleran amplias variaciones en los factores ambientales, como son las especies *Proteoconcha* sp. A, *Basslerites minutus* van den Bold, *C. paracastanea*, *Cytherura sandbergi* Morales, *C. swaini* van den Bold, *Loxoconcha moralesi* Kontrovitz, *Paracytheroma sptephensoni* (Puri), *Orionina* sp. A, *Pellucistoma magniventra* Edwards, *Pumilocytheridea ayalai* Morales y *Xestoleberis rigbyi* Morales, las cuales se encuentran presentes tanto en la Laguna de Términos como en las costas adyacentes de la Bahía de Campeche (Machain-Castillo y Gío Argáez 1989: 41)

FIGURA 2. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA PLATAFORMA INTERNA DEL BANCO DE CAMPECHE



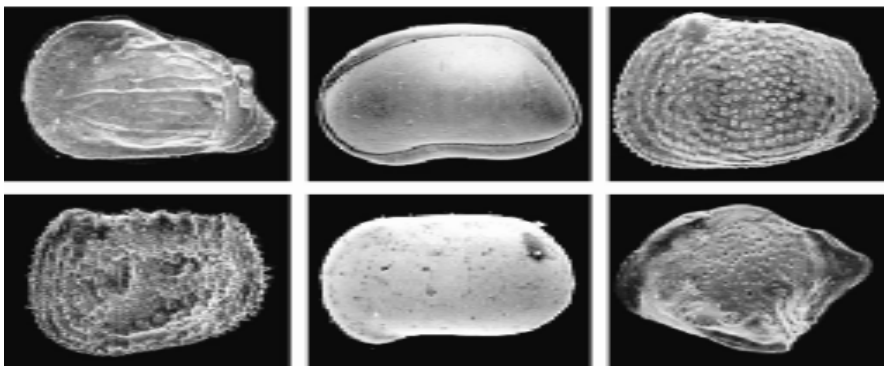
Orionina sp. A, *Macrocyprina skinneri*, *Bairdoppilata cushmani*, *Loxocorniculum tricordatum*, *Loxocorniculum dorsotuberculata* y *Xestoleberis antillea*.

Fuera de la influencia continental, en profundidades de aproximadamente 60 a 110 m, se encuentra la misma asociación de ostrácodos tanto en el sur como en el norte del Golfo de México. Esta asociación se encuentra dominada por las especies *Echinocythereis margaritifera* (Brady), *Pontocythere tuberculata* (Puri), *Pterigocythereis alopia* Hazel y en menor grado por *Cytheropteron yorktownensis* (Malkin), *Munseyella louisianensis* Kontrovitz y *P. inexpectata* (Blake) (figura 3).

En la plataforma externa la ostracofauna está caracterizada por *Amboocythere* sp cf. A. sp A Cronin, *Argilloecia posterotruncata* van den Bold, *Cytheropteron* spp., *Echinocythereis spinireticulata* Kontrovitz, *Henryhowella* ex. gp. *asperrima* (Reuss), *Pseudopsammocythere* ex. gp. *vicksburgensis* (van den Bold) y especies del género *Krithe* y *Parakrithe* en abundancias de hasta el 60% (figura 4).

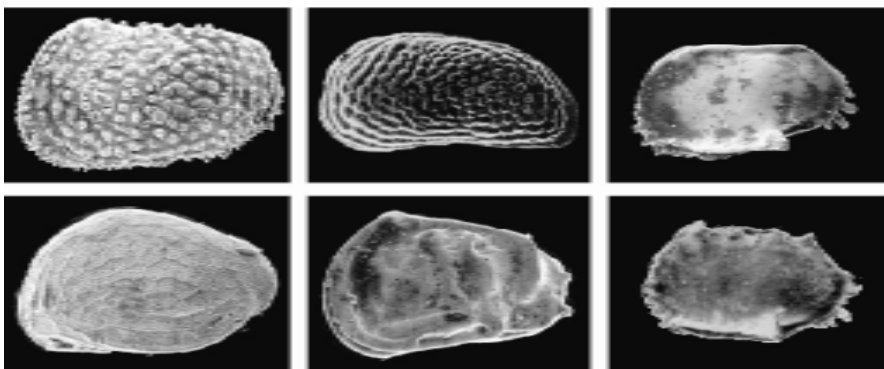
En la zona batial y abisal del Golfo de México las poblaciones de ostrácodos decrecen tanto en abundancia como en diversidad y están dominadas por los géneros *Krithe*, *Cytheropteron* y *Parakrithe*. Otras especies que constituyen esta asociación son *A. posterotruncata*, *Cytheropteron palton* van den Bold y *Bradleya dictyon* (Brady). Las especies del género *Krithe* inician su distribución en la plataforma media-externa y aumentan en porcentaje conforme aumenta la profundidad. En la zona abisal constituyen hasta el 85% de la población total (figura 5).

FIGURA 3. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA MEDIA



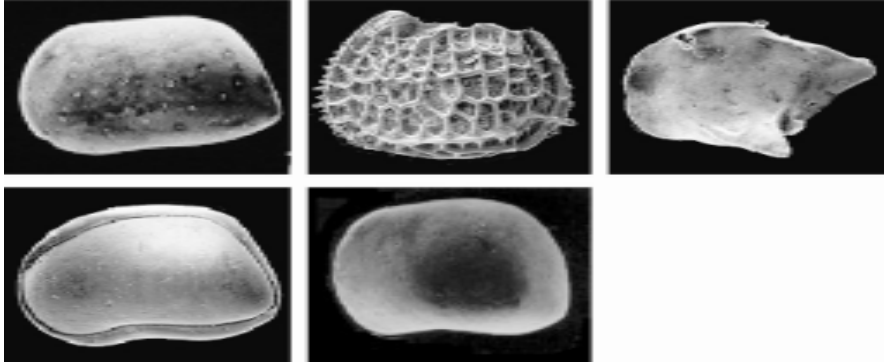
Echinocythereis margaritifera, *Pontocythere tuberculata*, *Pterigocythereis alophia*, *Cytheropteron yorktownensis*, *Munseyella louisianensis* y *Pterigocythereis inexpectata*.

FIGURA 4. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE PLATAFORMA EXTERNA



Ambocythere sp. cf. *A. sp. A* Cronin, *Argilloecia posterotruncata*, *Echinocythereis spinireticulata*, *Henryhowella* ex. gp. *asprerrima*, *Pseudopsammocythere* ex. gp. *vicksburgensis* y *Cytheropteron morgani*.

FIGURA 5. ESPECIES REPRESENTATIVAS DE LA ASOCIACIÓN DEL TALUD CONTINENTAL

*Krithe producta*, *Bradleya dictyon*, *Cytheropteron palton*, *Argilloecia posterotruncata* y *Parakrithe alta*

CONTAMINACIÓN

Los ostrácodos han sido utilizados como indicadores de diversos tipos de contaminación y calidad de agua (Bromley y Por 1975, Rosenfeld y Ortal 1983, Mesquita *et al.* 1996, Milhau *et al.* 1997, entre otros).

Su estrecha relación con el ambiente les confiere la capacidad de ser utilizados como indicadores ecológicos de diversos parámetros ambientales incluyendo la contaminación, a la cual responden con variaciones en la abundancia, diversidad o composición taxonómica de las poblaciones, o en la composición química de los caparazones al involucrar en ellos elementos contaminantes.

Rosenfeld *et al.* (2000: 171) encontró que en los ríos contaminados por descargas de asentamientos humanos las comunidades de ostrácodos presentan una zonación biótica que permite distinguir entre zonas de alta, moderada y baja contaminación. Estos autores consideran que la ostracofauna revela mejor el estado de la contaminación del ambiente que los factores físico-químicos medidos y que los análisis tanto taxonómicos como de densidad y diversidad de las poblaciones son útiles para determinar niveles de contaminación.

Con el objetivo de evaluar el impacto de las actividades de explotación de hidrocarburos en las comunidades de ostrácodos se realizaron muestreos

en la zona de plataformas de extracción petrolera del sur del Golfo de México. Resultados preliminares indican que la composición taxonómica de la ostracofauna no varía con respecto a la de las zonas aledañas, pero sí la densidad de las poblaciones. Se encontró que, en general, la densidad de las poblaciones (el número de organismos por gramo de sedimento) era mayor en las muestras donde se observó visualmente la presencia de hidrocarburos, comparadas con muestras de la misma zona y profundidad sin hidrocarburos (figuras 6 y 7).

Asimismo, se determinó una mayor concentración de materia orgánica en las estaciones con presencia de hidrocarburos, por lo que se sugiere que el aumento de las poblaciones de ostrácodos pueda estar relacionado con el incremento en la materia orgánica (figura 8).

Con respecto al análisis de metales traza y otros elementos producto de la contaminación tanto natural como antropogénica en el medio, no se han realizado hasta la fecha estudios de la composición química de los caparazones de ostrácodos del sur del Golfo de México, pero esta área ofrece un alto potencial para el estudio de la contaminación en el medio acuático, no sólo en el momento actual sino a través del tiempo, ya que al preservarse los caparazones en el sedimento, pueden reflejar la historia de la presencia de dichos contaminantes en el medio.

CONCLUSIONES

La diversidad y patrones de distribución de los ostrácodos en el sur del Golfo de México demuestran la sensibilidad que estos organismos presentan a los diferentes parámetros oceanográficos y su potencial utilización como indicadores ecológicos.

Estudios preliminares en la zona de plataformas de extracción petrolera, indican que la composición taxonómica de la ostracofauna no varía con respecto a la de las zonas aledañas, pero sí su abundancia, que se encuentra relacionada con una mayor cantidad de materia orgánica presente en las muestras de sedimento con hidrocarburos.

Aunque los estudios sobre contaminación en el Golfo de México utilizando ostrácodos como biomarcadores se encuentra en sus inicios, el potencial de estos estudios es muy promisorio y puede contribuir no sólo al estudio de la contaminación actual, sino a su variación a través del tiempo y a la historia de la calidad del ambiente en diversas regiones acuáticas.

FIGURA 6. NÚMERO DE ORGANISMOS EN LAS MUESTRAS CON Y SIN PRESENCIA DE HIDROCARBUROS

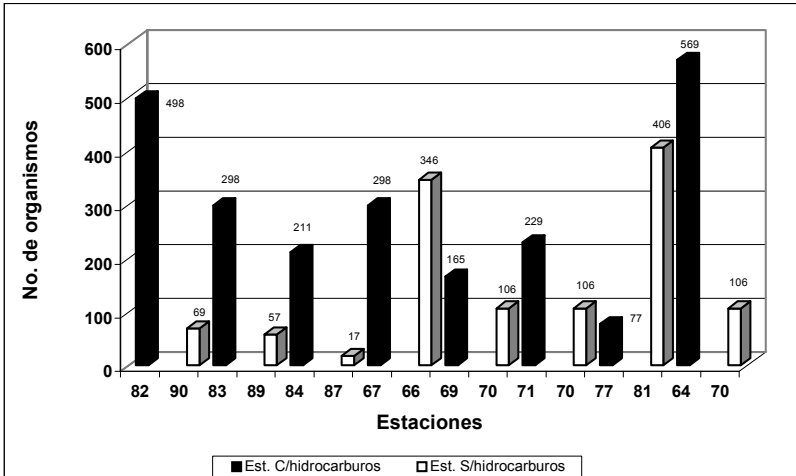
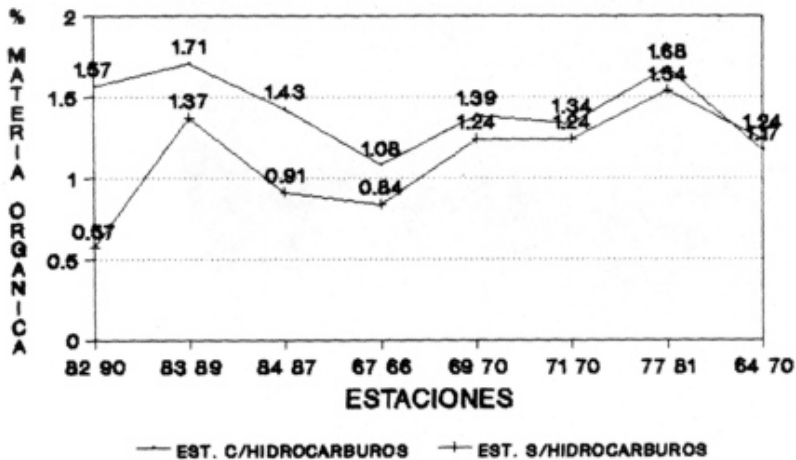


FIGURA 7. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN LA FIGURA 6



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa participación del personal científico y tripulación de las campañas oceanográficas OGMEX, IMCA DINAMO, PROMEBIO en la colecta de los materiales de estudio, a los integrantes del Laboratorio de Micropaleontología del ICML, a L. Bárbara Cuesta por su ayuda con las figuras del manuscrito y a Yolanda Hornelas por las fotografías de microscopio electrónico. Este proyecto fue realizado con apoyo del ICML-UNAM y CONACyT a través de los proyectos PCCNCNA 031676 y G35229-T.

BIBLIOGRAFÍA

- Bromley, H.J. y Por F.D. 1975. The metazoan fauna of a sewage-carrying wadi, Nahal Soreq (Judean Hills, Israel). *Freshwater Biol.* 5: 121-133.
- Krutak, P. R. 1982. Modern ostracodes of the Veracruz-Anton-Lizardo Reefs, Mexico. *Micropaleontology*, 28(3): 258-288. Micropaleontology Press, EE.UU.
- Krutak, P. R. y S. E. Rickles 1979. Equilibrium in modern coral reefs, Western Gulf of Mexico – Role of ecology and ostracod microgauna. *Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.* 29: 263-274. EE.UU.
- Krutak, P. R., Rickles, S. E. y Gío-Argáez, F.R. 1980. Modern ostracode species diversity, dominance, and biofacies patterns Veracruz-Anton Lizardo Reefs, Mexico. *An. Cien. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 16(1): 116-134. México.
- Machain-Castillo, M. L. y Gío-Argáez, F. R. 1989 (1991). Comparación faunística de los ostrácodos presentes en la Laguna de Términos y las costas adyacentes de la Bahía de Campeche. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 40: 35-48. México.
- Machain-Castillo, M. L., Pérez-A.M., y Maddocks, R.F. 1990. Ostracoda of the terrigenous continental platform of the southern Gulf of Mexico. En: Whatley, R. y C. Mayburry (eds.). *Ostracoda and Global Events*. Brithish Micropal. Soc. Pub. Series. Chapman and Hall, London: 341-353.
- Machain-Castillo, M. L., Gío-Argáez, F.R., Alcalá-Herrera, J.A. y Jacob, J.S. 1992 (1994). Ostracodos del Holoceno del norte de Belice y su interpretación paleoambiental. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.*, 43: 87-94. México.
- Mezquita, F. Sanz-Brau, A, y Miracle, M.R. 1996. New data on freshwater ostracod assemblages (Crustacea, Ostracoda) from Cuenca (Central Spain). *Bull. Soc. Nat. Luxembourg* 97: 239- 247. Luxemburgo.
- Milhau, B., Dekens, N., y Wouters, K. 1997. Evaluation de l'utilisation des Ostracodes comme bio-indicateurs potentiels de pollution. Application aux eaux de la Slack (Boulonnais, France). *Ecologie* 28: 3-12.

- Palacios-Fest, R.M. y Gío-Argáez, F.R. 1979. Sobre la presencia de dos especies de *Havanardia* Pokorny, 1968 (Bairdiidae, Ostracoda, Crustacea) en el Caribe Mexicano. *Rev. Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México*. 31(1): 24-28. México
- Palacios-Fest, R.M., Gío-Argáez, F.R. y Krutak, P.R. 1983. Los ostrácodos (Crustacea) recientes del Caribe Mexicano y su significación faunística. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 10(1): 195-208. México.
- Rosenfeld, A. y Ortal, R. 1983. Ostracodes as indicators of water pollution in Nahal Harod, northern Israel., En: R. F. Maddocks (ed.). *Applications of Ostracoda, Proc. 8th Int. Ostracode Symp.* Houston. Department of Geosciences. University of Houston, pp. 229-237.
- Rosenfeld, A, Ortal, R. y Honigstein, A. 2000. Ostracodes as indicators of river pollution in Northern Israel. . En: R.E. Martin (ed.). *Environmental Micropaleontology*. Topics in Geobiology, vol 15:167-180. Kluwer Academic/Plenum Pubs., New York.

LAS TORTUGAS MARINAS DEL GOLFO DE MÉXICO. ABUNDANCIA, DISTRIBUCIÓN Y PROTECCIÓN

René Márquez-M.

ANTECEDENTES

Las tortugas marinas han sido utilizadas desde épocas prehispánicas como alimento tradicional. Hasta 1960 eran un recurso alimenticio de uso cotidiano para muchas comunidades ribereñas (Márquez-M. 1996). Hasta la primera mitad de la década de 1960, la explotación de tortugas en las costas del Atlántico y del Pacífico fue muy similar, pero en los siguientes años la explotación de algunas especies del Pacífico se incrementó a tal grado que para 1968, México aportó al mercado mundial poco más de 14,500 toneladas, equivalentes a casi el 80% de la producción total. La principal especie capturada fue *Lepidochelys olivacea*, del océano Pacífico. Obviamente esta explotación no se pudo sostener mucho tiempo y las poblaciones se colapsaron, de tal manera que a mediados de 1971 fue necesario decretar una veda, que estuvo vigente hasta diciembre de 1972, pero fue hasta junio de 1973 cuando se reinició la captura, ahora con exclusividad a las cooperativas pesqueras y regulada por cuotas. El respeto a estas regulaciones fue escaso, la explotación ilegal continuó y las poblaciones siguieron disminuyendo. En consecuencia el 1º de junio de 1990 se tuvo que decretar una veda total para todas las especies (D.O.F. 1990) que aun está vigente.

Las tortugas marinas son muy vulnerables a la depredación natural en todas las fases de su desarrollo y la captura legal e ilegal las afecta en la fase de

huevo y desde las etapas juveniles hasta los adultos, además de que durante las actividades de otras pesquerías pueden ser atrapadas incidentalmente. También son muy vulnerables al deterioro ambiental causado por desarrollos turísticos y urbanos, carreteras, desechos industriales, basura, etc. y por fenómenos ambientales, como: huracanes, sequía, exceso de lluvia, etc.

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios sobre la pesquería y la anidación de las tortugas marinas se iniciaron en 1962 en el Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras (INIBP), en ambas costas del país (Solórzano 1963). En 1963 empezó a funcionar el «Centro Quelonicultor», de Isla Mujeres, Quintana Roo, en donde una de las actividades iniciales fue separar de la captura comercial las hembras maduras de tortuga blanca (*Chelonia mydas*), llevarlas a un corral construido entre el mar y la playa. Durante su confinamiento cada tortuga podía anidar varias veces y los nidos producidos se cuidaban hasta eclosionar y posteriormente liberar las crías (D. Fuentes com. pers.). Al terminar la reproducción estas tortugas eran retornadas a los pescadores, quienes las comercializaban regionalmente o las exportaban a Florida, EE.UU., desde Isla Mujeres, Cozumel y Puerto Juárez (Márquez-M. 1994). La exportación se detuvo en 1973, el comercio en la región se detuvo antes de finalizar la década de 1970 y las actividades de conservación continúan hasta la fecha, con el apoyo de una ONG.

En 1964 se formalizó el Programa de Tortugas Marinas y para 1966 con apoyo militar e inspectores de pesca, se instalaron por primera vez los «campamentos tortugueros», uno en el Golfo de México, en Rancho Nuevo, Tamaulipas y tres en el Pacífico, en el Playón de Mismaloya, Jalisco, Boca de Pascuales, Colima y Piedra de Tlalcoyunque, Guerrero. A partir de entonces se incrementaron estas actividades. En 1978 se incluyeron las tortugas marinas en el programa de colaboración MEXUS-Golfo entre el INP y el Servicios de Pesca y Vida Silvestre (USF&WS) y NMFS, de EE.UU. A partir de la década de 1980 los estudiantes universitarios, organismos estatales y ONG iniciaron su apoyo a estas actividades y contribuyeron de manera sustancial a la preservación de sus poblaciones. Posteriormente, con apoyo del INE se incrementó la cobertura de los trabajos de conservación. Hoy en día se establecen anualmente más de 40 campamentos (Briceño-D. y Abreu-G 1994, Márquez-M. 1996); sin embargo, a partir del año 2001, cuando se realizó el cambio de los programas que se desarrollaban en el INP y en el INE, por la

Dirección de Vida Silvestre, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la investigación dejó de ser parte esencial del trabajo y el personal que estaba en este Programa, ahora se dedica casi exclusivamente a las actividades de conservación en campamentos tortugueros.

Una parte importante del programa ha sido el tradicional marcado de tortugas con marcas de acero inoxidable más recientemente, en algunas especies como *L. kempi*, dentro del Programa Conjunto México-EE.UU., se han utilizado las marcas electrónicas «PIT tag» (*Passive Integrated Transponder*) que consisten en un chip incluido en una pequeña cápsula de cristal que se inyecta bajo la piel, generalmente en la aleta izquierda. También se ha utilizado con muy buenos resultados en programas conjuntos (México-EE.UU.) las marcas sónicas de alta frecuencia, para ser captadas con equipos terrestres y las que se rastrean por medio de satélites.

ESPECIES DE LA REGIÓN

Existen 11 variedades de tortugas marinas, 5 de ellas habitan las aguas del Golfo de México, cada una tiene características biológicas, abundancia y distribución geográfica muy particulares. Las siguientes descripciones fueron adaptadas de Márquez-M. (1990, 1996).

Tortuga blanca (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758). Se distribuye ampliamente tanto en aguas costeras continentales como insulares, latitudinalmente está limitada por el desplazamiento estacional de las isoterms de 20°C. Existen registros de esta especie fuera de estas fronteras, pero generalmente corresponden a individuos solitarios en fases no reproductivas. Es una especie típicamente nerítica, que forma agregaciones en aguas someras, abundantes en pastos y algas marinas. Algunas poblaciones efectúan grandes migraciones desde las áreas de alimentación hasta las de reproducción. Hay playas de anidación importantes alrededor de todo el mundo. En México anida desde Tamaulipas hasta Quintana Roo, pero las playas más sobresalientes se encuentran en Isla Aguada, Río Lagartos, X'cabel, Isla Cozumel, etc., todas en la Península de Yucatán. Anidan entre mayo y octubre, con mayor abundancia entre junio y agosto.

Tortuga caguama (*Caretta caretta* Linnaeus, 1758). Se encuentra en aguas costeras tropicales y subtropicales, a menudo entra a las bahías y desembocaduras de ríos, donde puede permanecer todo el invierno asentada en los fondos lodosos, también se han observado ejemplares siguiendo corrientes marinas que las pueden llevar a través del Atlántico, posiblemente hasta costas

europas. Son especies neríticas que se alimentan principalmente de crustáceos y moluscos, y realizan extensas migraciones entre las áreas de alimentación y de reproducción. En la actualidad no son frecuentes dentro del Golfo de México; aunque anidan esporádicamente en algunas de sus playas, son más abundantes en el norte y este de la península de Yucatán, y anidan desde Holbox hasta la frontera de Belice. Es la especie más común en la costa este de EE.UU. La época de reproducción ocurre de mayo a septiembre.

Tortuga de carey (*Eretmochelys imbricata* Linnaeus, 1766). Esta especie se puede encontrar solitaria o formando pequeños grupos, alrededor de casi todas las costas rocosas y coralinas. Su área de distribución está limitada por los paralelos 25° Norte y 35° Sur. Es la más costera de todas las especies y vive en ambientes con abundante fauna bentónica de arrecifes coralinos y mantos de vegetación marina, que le sirven de alimento. La anidación es nocturna y se efectúa solitaria o en pequeños grupos. La época de reproducción varía entre las localidades; en México abarca desde abril hasta agosto, siendo las zonas más importantes de reproducción las de Campeche, que abarcan las Islas del Carmen y Aguada, Sabancuy y Champotón, las playas de Yucatán: Celestún y entre Río Lagartos e Isla Holbox; también en algunas playas de Quintana Roo anida en pequeñas cantidades.

Tortuga lora (*Lepidochelys kempí* Garman, 1880). Esta es una de las tortugas marinas con distribución geográfica más restringida. La gran mayoría de los adultos se encuentran dentro del Golfo de México; sin embargo, una parte de la población de juveniles y pre-adultos deambulan por la costa este de EE.UU, por lo que algunos individuos pueden llegar hasta las aguas europeas siguiendo la Corriente del Golfo. Esta especie usualmente se encuentra en zonas costeras de fondos arenosos y lodosos con abundancia de crustáceos. Se ha registrado la presencia de juveniles en las bahías, lagunas costeras y estuarios del norte del Golfo y la costa este de EE.UU, mientras que los adultos se reúnen en las áreas de alimentación localizadas en el oeste de Florida, la desembocadura del río Misisipí y el Banco de Campeche (Márquez-M. 1994). La época de reproducción va de marzo a julio y anida principalmente entre el río Soto la Marina y Punta Jerez, con mayor abundancia frente a Rancho Nuevo, Tamps. En parte de la costa norte de Tamaulipas y entre Cabo Rojo y Tecolutla (Veracruz) hay varios sitios de anidación de menor importancia. Últimamente se ha registrado un incremento de nidos en el sur de Texas, EE.UU. (Shaver y Caillouet 1998) y Florida (Johnson *et al.* 1999) lo cual se podría considerar un indicador de la recuperación de esta población. Estos orga-

nismos tienden a formar arribazones para desovar. Es la única especie que de manera sistemática anida durante el día.

Tortuga laúd (*Dermochelys coriacea* Vandelli 1761). Está adaptada para soportar temperaturas más bajas que el resto de las tortugas marinas (hasta 10°C) por lo que también se distribuye en gran parte de la zona templada. Esta especie realiza grandes migraciones (Eckert y Sarti 1997). En el Golfo de México es menos abundante que en el mar Caribe y también la anidación es más esporádica. En el Caribe las zonas de alimentación están distribuidas a todo lo largo del archipiélago de las Islas Antillas, pero sólo se reproduce en unos cuantos lugares, como Trinidad, Dominica y República Dominicana. En altamar pueden formar pequeñas flotillas, las cuales generalmente se observan en zonas de giros, frentes y surgencias marinas, donde se congregan los organismos que les sirven de alimento, en particular medusas.

LA ANIDACIÓN

Algunas tortugas, como las del género *Lepidochelys* forman grandes arribazones que se supone son una adaptación evolutiva contra la depredación, pues estos eventos se presentan espaciados en el tiempo y son de corta duración, lo que interrumpe la continuidad de su disponibilidad a los depredadores, además de que debido a esta abundancia es muy probable que una buena parte de huevos y crías sobrevivan. Sin embargo, otras tortugas anidan en grupos más pequeños o de manera solitaria, lo cual podría deberse a una menor presión de depredadores o a la reducción de sus poblaciones por la captura excesiva. La figura 1 es una foto histórica de una arribazón de *L. kempí*, en Rancho Nuevo, Tamaulipas, Mayo 24, 1968 (tomada por A. Montoya), mayor a 5,000 tortugas.

Sitio de anidación. De acuerdo a la especie y características de la playa, los nidos pueden ser depositados a diferentes distancias de la línea de marea, además la consistencia del terreno afecta la profundidad a la que se efectúa la puesta y la forma del nido varía con el tamaño de la especie, de tal manera que los efectos de los fenómenos meteorológicos como huracanes, mareas altas, temperatura y humedad extrema, afectan de manera muy variable a la supervivencia de los nidos y las crías.

En una playa típica, de mediana energía, como la utilizada más comúnmente por las tortugas marinas, *D. coriacea* anida al inicio del talud, *L. kempí* y *C. caretta* suben un poco más, generalmente cerca de la cima de la primera duna y *Ch. mydas* por lo común hace mayores recorridos, más

FIGURA 1. ARRIBAZÓN DE TORTUGA LORA (*L. kempí*)
EN LA PLAYA DE RANCHO NUEVO, TAMAULIPAS



Fuente: Márquez-M. 1996. Foto: A. Montoya.

allá de la primera duna e incluso *E. imbricata* llega a internarse entre la vegetación.

Extensión de la anidación. La evolución histórica en la abundancia de las poblaciones de tortugas marinas ha sido influida no sólo por la explotación directa o indirecta que se ha realizado, sino también por los cambios que ha sufrido el hábitat donde se desarrollan. Estos cambios en muchos casos han sido tan drásticos, que imposibilitan la recuperación parcial o total de las poblaciones, de tal manera que los niveles de abundancia se ven limitados, por ejemplo, por la pérdida de playas de anidación, destrucción de áreas de alimentación, contaminación de diversos tipos, etc. Por otra parte, existen casos en los que se realizan exageradas extrapolaciones refiriéndose a extraordinarias abundancias que tuvieron algunas poblaciones, lo que hace que las metas de recuperación parezcan inalcanzables y que continúen siendo consideradas en peligro de extinción.

Dentro del contexto regional, las tortugas marinas en México ocupan un sitio muy especial ya que poseen varias poblaciones de las más importantes, como son las de las tortugas *L. kempí*, *Ch. mydas*, *E. imbricata* y *C. caretta*, de acuerdo a la información captada por medio de las encuestas realizadas en 12

CUADRO 1. FRECUENCIA DE PAÍSES SEGÚN LA MAGNITUD ANUAL DE LA ANIDACIÓN
(>1, >3, >11..... >5001) DE CADA ESPECIE

ESPECIES	NO DE NIDOS										NIDOS
	>1	>3	>11	>26	>51	>101	>201	>501	>1001	>5001	PROM.
<i>Ch. mydas</i>	0	3	1	0	1	0	0	1	1	0	3,864
<i>C. caretta</i>	1	4	1	0	0	0	1	0	1	0	3,396
<i>E. imbricata</i>	1	2	3	2	0	0	1	0	2	0	6,491
<i>D. coriacea</i>	2	4	2	2	1	0	0	0	1	0	3,787
<i>L. kempii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5,000
Total											22,538

diferentes países del Caribe (Cuba, Dominica, República Dominicana, Grenada, México, Nevis, Nicaragua, San Kitts, Santa Lucía, San Vicente, Trinidad y Venezuela), por el “Grupo Regional para la Investigación y Manejo de las Tortugas Marinas del Caribe” (CTMRG), durante 1998 y 1999, y presentadas en el Taller para el desarrollo de un Programa Regional de Investigación y Manejo de Tortugas Marinas el 15 de febrero, 2001, en La Habana, Cuba. Estas encuestas indican que hay países donde las tortugas aunque pueden ser abundantes en el mar, en la playa llegan a ser muy escasas. Las encuestas fueron desglosadas en valores mínimos y máximos de anidación. En el cuadro 1 se incluyen sólo los valores promedio, información que permite tener una idea general sobre los niveles de abundancia por especie en la región. La única especie que no se reproduce en el Caribe es *L. kempii* ya que sólo anida en el oeste del Golfo de México (Márquez-M. 1990). De acuerdo con la información aportada, es muy posible que la anidación de todas las especies se haya reducido, en la mayoría de los países, por lo menos en dos cifras de magnitud, ya que en casi todos hay informes de que están por abajo de 100 nidos por temporada. Sólo Cuba, México, Trinidad y San Vicente registran nidos de *E. imbricata*, *Ch. mydas* y *C. caretta* en valores importantes. En el caso de *D. coriacea* únicamente en Trinidad se registra una colonia de cierta magnitud (cuadro 1). Es muy curioso encontrar que la abundancia de la anidación, por ejemplo en el caso de *E. imbricata*, en República Dominicana, se clasifica como escasa, con valores de 10 a 25 nidos por temporada, cuando la presencia de

artículos elaborados con sus escudos se encuentran en venta en un gran número de tiendas para turistas, incluyendo el aeropuerto internacional y se admite una explotación generalizada de huevos de ésta y otras especies; sin embargo, ni en el presente ni en el pasado se ha llevado un registro de la magnitud de su explotación, deficiencia que prevalece en la mayoría de los países incluidos en la encuesta.

ABUNDANCIA DE LAS ESPECIES

El registro del número de nidos por especie entre 1993 y 2002 en las playas de Tamaulipas (Rancho Nuevo, Tepehuajes, Barra del Tordo, La Pesca, Altamira y Tampico), de Veracruz (Tecolutla-Santander, Lechuguillas y Alto Lucero) de Campeche (Isla Aguada, Chencan y 8 playas más) de Yucatán (Celestun, Las Coloradas – Río Lagartos y El Cuyo) y de Quintana Roo (Isla Mujeres, Isla Holbox, Xcacel, Mahagual, Xcaret [12 playas] e Isla de Cozumel) presentan los siguientes porcentajes (cuadro 2).

CUADRO 2. PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE LA ANIDACIÓN POR ESPECIE, EN 39 PLAYAS ANALIZADAS. DATOS DE 1993 A 2002

<i>L. KEMPI</i>	<i>CH. MYDAS</i>	<i>C. CARETTA</i>	<i>E. IMBRICATA</i>
30.2	29.3	28.4	12.1

El análisis estadístico de la abundancia de los nidos por especie, en los años mencionados (1993 a 2002), se presenta en el cuadro 3. Es interesante que *L. kempi* se considera como la especie más amenazada; sin embargo, en los datos siguientes su abundancia se encuentra después de *E. imbricata*. Es probable que ésto se deba a que el registro de la anidación de *L. kempi* ha sido más detallado que el de las otras especies; además en estas últimas no se incluyen datos de varias playas que, o no se protegen o no se tuvo la información apropiada. Es muy interesante que el máximo número de nidos en alguna temporada de anidación corresponde a *Ch. mydas*, sin embargo, su promedio es menor al de *L. kempi* y *E. imbricata*, debido a que esta especie presenta alternativamente años con mayor y menor abundancia.

CUADRO 3 - ANÁLISIS DE LA ABUNDANCIA DE NIDOS POR ESPECIE, ENTRE 1993 Y EL 2002, DE *L. KEMPI* Y *CH. MYDAS*, Y DE 1993 AL 2001 PARA *C. CARETTA* Y *E. IMBRICATA*

	<i>L. KEMPI</i>	<i>CH. MYDAS</i>	<i>C. CARETTA</i>	<i>E. IMBRICATA</i>
Años evaluados	10	10	9	9
Media	3,544	3,332	1574	3817
Desviación estándar	19,31.2	2,362.1	686.4	1,605.4
Mínimo	1,567	935	567	1,300
Máximo	6,434	7,437	2,649	5,689
Suma de nidos	35,439	33,317	14,162	34,349
Nivel de confianza 95%	1,381.5	1,689.7	527.6	12,34.0

La importancia de la anidación en los últimos 10 años, considerando el valor promedio de la abundancia de los nidos por especie y por entidad federativa, se destaca en negritas en el cuadro 4, y tuvo el siguiente orden: *C. mydas* y *C. caretta* en Quintana Roo, *L. kempi* en Tamaulipas, *E. imbricata* en Campeche y *D. coriacea* en Veracruz. En el mismo cuadro, la abundancia promedio de los años analizados, por especie fue para: *L. kempi* con 3,447 nidos, *E. imbricata* con 2,761, *C. caretta* con 1,482, *C. mydas* con 1,430 y *D. coriacea* con menos de un nido al año, 0.88.

En ese mismo cuadro se puede observar que *Ch. mydas* anida en todo el Golfo de México y en la península de Yucatán, pero principalmente en Quintana Roo (41.20%); *E. imbricata* anida en toda la península de Yucatán con mayor abundancia en Campeche (62.72%); *C. caretta* anida casi exclusivamente en la costa de Quintana Roo; *L. kempi* principalmente en Tamaulipas (96.62%), y un pequeño porcentaje en Veracruz y *D. coriacea* casi está ausente de nuestras playas, con menos de un nido por año en Veracruz (41.5%) y en las demás entidades uno cada dos o tres años.

En la figura 2 las curvas muestran la tendencia que tuvo la abundancia de la anidación entre 1993- 2002 en las especies analizadas. Se puede observar que todas las tendencias son positivas y *L. kempi* es la que más rápido se está recuperando, después *E. imbricata*, luego *Ch. mydas* y por último *C. caretta*. Esta recuperación se debe a la combinación de las actividades de conservación en la playa, la veda total desde 1990 y el uso de los excluidores de tortugas marinas en la captura del camarón. Los resultados del análisis lineal de la abundancia de los nidos de cada especie se muestran en el cuadro

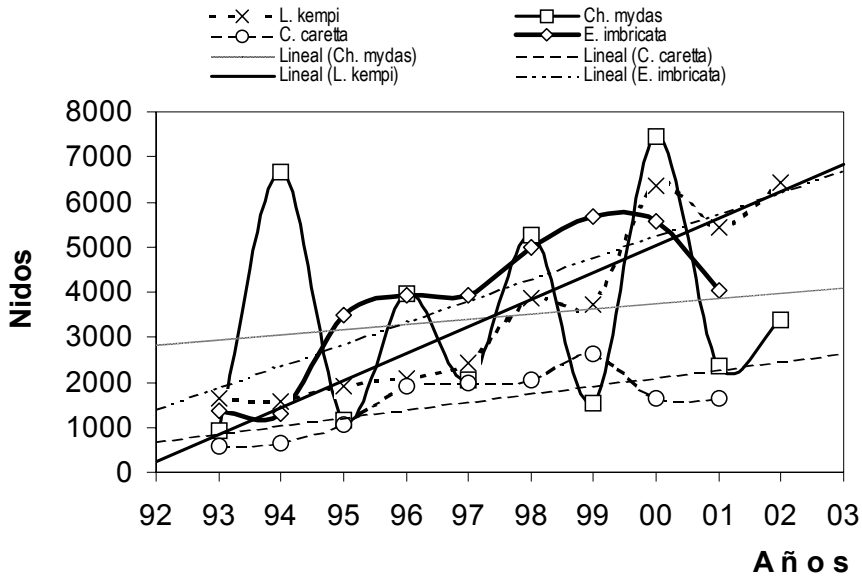
CUADRO 4. ABUNDANCIA ANUAL DEL NÚMERO DE NIDOS Y SU PORCENTAJE POR ESPECIE Y POR ENTIDAD FEDERATIVA (1993 A 2002)

	SUMA	ANUAL	%	SUMA	ANUAL	%
<i>Ch. mydas</i>				<i>E. imbricata</i>		
Tams.	1,272	141.3	4.07	7	0.70	0.02
Ver.	6,572	730.2	21.04	20	2.50	0.06
Camp.	4,817	535.2	15.42	19,325	2,761	62.72
Yuc.	6,338	633.8	18.26	12,508	1,250.8	28.42
Q. Roo	14,229	1,430	41.20	3,482	386.83	8.79
<i>C. caretta</i>				<i>D. coriacea</i>		
Tams.	28	2.8	0.19	5	0.50	23.72
Ver.	8	1	0.07	7	0.88	41.50
Camp.	1	0.111	0.01	3	0.33	15.81
Yuc.	13	1.444	0.10	4	0.40	18.97
Q. Roo	13,341	1,482	99.64			
<i>L. kempí</i>						
Tamps.	34,472	3,447	96.62			
Ver.	959	119.9	3.36			
Camp.	8	0.8	0.02			

5. Como se observa todas las tendencias son positivas aunque el valor de correlación (R^2) solo es apropiado para *L. kempí* y *E. imbricata*. En el caso de *Ch. mydas* las variaciones de la anidación anual son muy amplias de un año a otro, por lo que la correlación es muy baja, aunque aumenta si se analizan por separado los años de anidaciones máximas y los de mínimas.

La investigación que se realiza en México, además de ampliar el conocimiento biológico, se aplica al fomento de las poblaciones silvestres. Como resultado de estas actividades se ha logrado estabilizar o incluso mejorar algunas poblaciones como *Ch. mydas* y *E. imbricata* o se ha evitado la extinción de *L. kempí*, como se puede ver en las curvas de abundancia presentadas en la figura anterior. En todo este periodo (1993 - 2002), *L. kempí* muestra un incremento constante (más de 10% anual), lo mismo que *E. imbricata*. Los datos de los últimos dos años para *E. imbricata* y las demás especies no son muy confiables, pues en algunas playas o se redujo el esfuerzo de trabajo o la información no se obtuvo completa.

FIGURA 2. ABUNDANCIA DE LA ANIDACIÓN DE TORTUGAS MARINAS Y SU TENDENCIA

CUADRO 5. ANÁLISIS LINEAL DE LA TENDENCIA DE LA ABUNDANCIA DE NIDOS
EN LAS CUATRO ESPECIES

ESPECIE	ECUACIÓN LINEAL	R ²
<i>E. imbricata</i>	$y = 483.40x + 916.10$	0.680
<i>L. kempí</i>	$y = 598.59x + 345.12$	0.882
<i>Ch. mydas</i>	$y = 116.18x + 2721.6$	0.023
<i>C. caretta</i>	$y = 175.07x + 523.16$	0.488

CONSERVACIÓN

Las causas por las que se deterioran las especies son muy variadas, como la contaminación, la captura incidental, la captura comercial ilegal y últimamente el efecto que el cambio climático puede tener en el futuro en la proporción de sexos, determinados durante la incubación de los huevos. Así mismo, los fenómenos extremos causan problemas directos a las poblaciones, como los huracanes, falta o exceso de lluvia, el fenómeno de El Niño, etc.

Para tratar de contrarrestar por lo menos la captura legal e ilegal, se realizan actividades en el mar, a través de reglamentaciones a la pesca, como la implementación de vedas y el uso de los TED (Turtle Excluder Device); y en las playas protegiendo la anidación y la supervivencia de las hembras, los huevos y las crías, a través de “campamentos tortugueros”; y finalmente el cultivo experimental que puede aportar alguna contribución, como el caso del programa México-EE.UU. de *L. kemp*i.

CULTIVO

En México no se ha desarrollado el cultivo hasta niveles comerciales, sólo se han mantenido las crías unos días y en ocasiones hasta más de un año, antes de liberarlas en el medio silvestre. Este “cultivo” informal se ha desarrollado generalmente dentro de los programas de protección que se realizan en diversas playas del país; sin embargo, la mayoría de las veces ha sido con la única finalidad de hacerle publicidad a los resultados de las actividades de protección, de tal manera que no se ha considerado una metodología adecuada y ni el estado de salud de los animales. Con frecuencia las pequeñas tortugas son liberadas con mutilaciones, traumas o infecciones en la piel. También se tiene la idea errónea de que con un relativo crecimiento las tortugas evitarán más fácilmente la depredación, sin embargo, como en la mayoría de los casos se desconocen las áreas naturales de distribución de las tortugas de tallas similares, es frecuente que éstas sean liberadas en lugares y momentos inadecuados, por lo que es difícil que encuentren organismos de su talla, se reúnan con la población silvestre y sobrevivan apropiadamente. Por lo tanto, se ha sugerido reiteradamente que no se deben mantener crías en cautiverio si no se tienen las instalaciones adecuadas y una información suficiente sobre los hábitos y distribución de las especies que garantice apropiadamente las liberaciones de los juveniles; en caso contrario es mejor liberarlas inmediatamente después de salir del nido y de la manera más natural posible.

Cultivo experimental. Con la finalidad de ampliar el área de anidación y apoyar la recuperación de la población de tortuga lora (*Lepidochelys kempi*), en 1978 el INP inició un trabajo en colaboración con el USF&WS y el NMFS de los EE.UU. A partir de ese año se apoyaron las actividades en la playa de anidación de Rancho Nuevo y a cambio, hasta 1992, se donaron cada año 2,000 huevos o crías (Márquez-M. en prensa), para incubarlos en las instalaciones de Isla Padre, Texas. Con la idea de que reconocieran esta playa, las crías se liberaron ahí mismo y se volvieron a capturar después de internarse unos metros en el mar; acto seguido las crías se llevaron a cultivar a las instalaciones del NMFS en Galveston, Texas y después de 9 a 10 meses, las tortugas que sobrevivieron, después de ser marcadas, se liberaron en el mar. Estas actividades se suspendieron parcialmente en 1992 y el donativo se redujo a 200 crías anuales, al considerar que era muy caro el cultivo y no se habían obtenido los resultados que se esperaban; sin embargo, en los registros hasta el año 2000, se había documentado la anidación en las costas de Texas de nueve tortugas provenientes de este experimento (Shaver 2000). Ese año se registraron 12 nidos de esta especie y se identificaron anidando dos tortugas con las marcas usadas en este experimento. El número de nidos continúa incrementándose poco a poco, alcanzando en la costa de Texas, 38 nidos en 2002 (Shaver com. pers.) por lo que la percepción negativa que se tenía ha estado cambiando.

Considerando la precaria situación de la especie *L. kempi*, 740 nidos anuales entre 1985-1987, con el apoyo de un inversionista holandés, supervisado por los doctores Peter Pritchard, Leo Brongersma, James Wood y el suscrito, trasladaron a la granja de las islas Gran Caimán (Cayman Turtle Farm) un “stock de reserva”, como precaución para el caso de que la población siguiera disminuyendo. El embarque de 100 juveniles de 9 meses cultivados en Galveston, Tx. y 100 crías nacidas en Rancho Nuevo se efectuó el 4 de julio de 1980. Antes de cinco años, 2 hembras de la clase 1979 desovaron 2 nidos (en 1984), y para 1989 la anidación se había regularizado, por lo que el stock original se fue incrementando y para 1994 había además 446 tortugas de 5 clases anuales (1989-1993). Dada la recuperación de la población silvestre, se consideró en 1998 traer de la granja entre 100 y 200 individuos, con la posibilidad de regresarlos a su medio natural, manteniéndolos previamente en cuarentena antes de liberarlos. Para esta labor se obtuvo el apoyo de las autoridades del Parque Eco-Arqueológico de Xcaret, quienes construyeron nuevas instalaciones para albergar a estas tortugas donde se encuentra en la actualidad cerca de 100 individuos de ambos sexos.

Cultivo con fines ecoturísticos. El Parque Eco-Arqueológico de Xcaret, Quintana Roo, desarrolla un cultivo similar al anterior, con la tortuga blanca (*Ch. mydas*) y la caguama (*C. caretta*), y además del interés por la recuperación de estas especies se incluye la exhibición de las tortugas en instalaciones diseñadas para este fin. Los nidos se colectan en las playas de anidación de la localidad, donde se desarrollan trabajos de conservación. Estos se trasladan a las instalaciones de Xcaret y se incuban los huevos en cajas de poliuretano. La mayor parte de las crías se libera en las playas de origen y el resto se mantiene en cultivo cerca de un año, después se marcan y liberan en la misma región, generalmente involucrando en estas actividades a los turistas.

Cultivo comercial. En las décadas de 1960 y 1970, el cultivo de tortugas marinas se consideró como una posibilidad de gran futuro (Carr 1967, Hirt 1971), por lo cual en varios lugares se intentó cultivarlas (por ejemplo, las Islas Reunión del océano Indico, en la isla Gran Caimán de las Indias Occidentales y en el Estrecho de Torres, entre Nueva Guinea y Australia). En todos los casos se utilizó tortuga blanca (*Ch. mydas*). La metodología ha sido dominada, pero el cultivo comercial no ha prosperado debido a que las tortugas marinas están consideradas en peligro de extinción por la UICN y CITES, de tal manera que el comercio internacional no se ha podido realizar.

El cultivo de las tortugas marinas, de acuerdo con la CITES, tiene dos variantes. 1. “Cultivo en granja”, el cual se ha desarrollado usando de preferencia alimento preparado, ya que el natural fresco se descompone más rápidamente y contamina el agua de los estanques, y 2. “Cultivo en rancho”, en el cual se ha optado por alimento fresco, que incluye varias especies animales o vegetales según la disponibilidad, o preparado en caso de que éstas escaseen.

1. “Cultivo en granja”. Se desarrolla en la granja de tortugas marinas de la isla de Gran Caimán. Es un cultivo cerrado, ya que se inició con la captura de varios ejemplares adultos y la introducción de huevos y crías (Márquez-M. *et al.* 1991, 1992). Para realizar el comercio, la granja debe ser auto-sustentable y las tortugas destinadas a este fin deben ser obtenidas a partir de la reproducción de la segunda generación (F2) dentro de la granja. La granja inició sus actividades en 1968, y como la madurez sexual en cautiverio se puede obtener a partir de los cinco años, este requisito ya fue cumplido; sin embargo además de las regulaciones de CITES, existe una gran oposición de grupos conservacionistas, la cual no ha permitido exportar la producción, por lo que ésta ha sido reducida exclusivamente

para el consumo local. La talla comercial se obtiene en tres o cuatro años, tiempo en el cual las tortugas alcanzan 40 kg de peso. El exceso de la producción de crías que se obtiene cada temporada se cultiva durante un año, para luego ser liberadas.

2. "Cultivo en rancho". En este caso se deben coleccionar cada temporada los huevos y las crías en las playas cercanas a las instalaciones y mantenerlas en cautiverio 3 ó 4 años, hasta que alcancen tallas comerciales; este cultivo siempre dependerá de la producción silvestre. Los huevos o las crías se supone que provienen de la selección de los nidos en los cuales existe la certidumbre de que se van a echar a perder por causas naturales como: la erosión, la temperatura o humedad inadecuadas, la presencia de sustrato muy compacto o de grano muy grueso o con exceso de materia orgánica, o por estar en un sitio muy vulnerable a la depredación o las mareas, considerando además que su extracción no afectará el equilibrio natural de la abundancia de la población.

PESQUERÍA

Las tortugas marinas se explotaron en México hasta 1990, cuando se estableció una veda total, por tiempo indefinido (D.O.F. 1990). El desarrollo de esta pesquería en la costa oriental fue más conservadora, ya que al compararla con la del Pacífico, que en menos de una década creció rápidamente, llegó al máximo y por sobre-explotación se colapsó en menos de tres años. En cambio en la costa este, las fluctuaciones fueron menos amplias y más lentas, además de que la captura se registró de manera muy deficiente y sin diferenciar las especies, aunque se puede afirmar que la mayoría de las tortugas capturadas pertenecieron a las especies *Ch. mydas*, *C. caretta* y *E. imbricata*, las cuales en gran parte se consumieron regionalmente y una porción se exportó a EE.UU. A excepción de la tortuga laúd, todas las especies se comercializaron en mayor o menor grado. En la región, actualmente continúa la captura clandestina, pero aunque se desconoce su volumen, existe la conjetura de que puede alcanzar varios miles de tortugas al año, ya sea por captura intencional o a través de la pesca incidental. Las especies incluidas en esta captura son principalmente *Ch. mydas*, *C. caretta*, *L. kemp*i y *E. imbricata*; en la captura incidental ocurren las mismas especies pero en diferentes proporciones. Las zonas de mayor captura incidental abarcan los estados de Tamaulipas y Veracruz y la Sonda de Campeche. Se desconoce el volumen anual de esta captura.

Las tortugas marinas y sus huevos se explotaron durante varios siglos de manera sustentable. Formaron parte de la dieta cotidiana en los pueblos de estas costas, en especial *Ch. mydas*, que incluso se exportó a la Unión americana. La carne, la piel y el aceite de esta especie y la de *C. caretta* se comercializaron ampliamente en la región y las artesanías elaboradas con la concha de carey tuvieron gran aceptación. La explotación comercial se realizó usando redes tortugueras y arpones, además de que fueron atrapadas durante la anidación. Entre 1964 y 1981 la proporción de captura registrada (cuadro 6) fue: *Ch. mydas* 67.9% en 17 años, *C. caretta* 24.8% en 13 años, *E. imbricata* 1.13% en 9 años, piel 5.56% en 8 años y aceite 0.6% en 7 años. Los años faltantes no se capturó o no se registró. La distribución del total de esta captura, por estados (cuadro 7), en los mismos años fue: Tamaulipas 0.08%, Veracruz 2.29%, Tabasco 0.23%, Campeche 14.01%, Yucatán 6.1% y Quintana Roo 74.73%. Debido a la sobreexplotación, para 1970 todas las poblaciones habían sido diezmadas. Durante 1972-1973 hubo una veda total y en esta región la captura comercial, a partir de 1982 dejó de registrarse, al volverse a otorgar permisos de captura.

En las figuras 3 y 4 se incluye gráficamente la proporción en las cuales se registraron tanto las especies como sus productos. Los datos se separaron en dos figuras debido a que el carey y el aceite se registraron en una proporción muy baja comparada con *Ch. mydas* y *C. caretta*; el carapacho sólo se registró un solo año y no está claro a qué especie corresponde, aunque es posible que se refiera a la tortuga de carey, por su valor comercial.

CUADRO 6. PORCENTAJE DE LAS ESPECIES EN LA CAPTURA COMERCIAL EN LA REGIÓN Y AÑOS EN LOS QUE APARECE EL REGISTRO ESTADÍSTICO. PERIODO 1964–1981

ESPECIES	%	AÑOS
<i>Ch. mydas</i>	67.89	17
Caguama	24.81	13
Carey	1.13	9
Piel	5.56	8
Aceite	0.60	7

CUADRO 7. PORCENTAJE DE LA CAPTURA COMERCIAL ANUAL PROMEDIO
POR ESTADO ENTRE 1964 Y 1981

ESTADOS	%
Tamaulipas	0.085
Veracruz	2.292
Tabasco	0.228
Campeche	14.013
Yucatán	6.060
Q. Roo	74.734
Total	97.41

FIGURA 3. REGISTRO DE LA CAPTURA COMERCIAL DE TORTUGA BLANCA, CAGUAMA Y PIEL

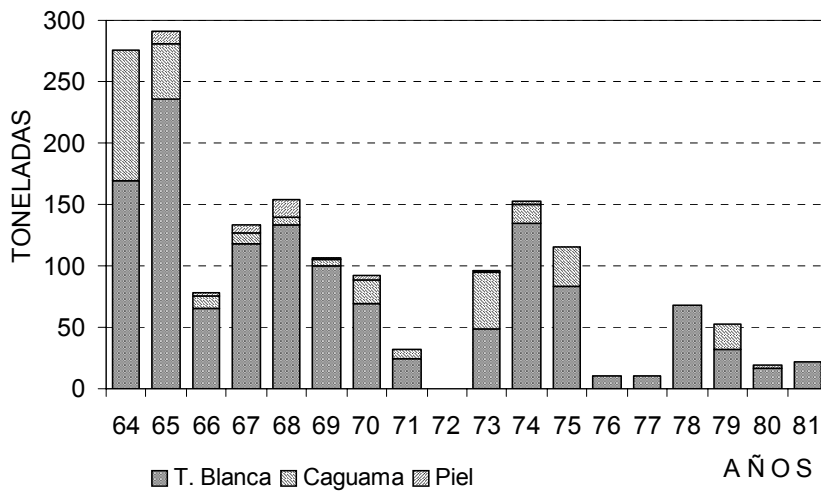
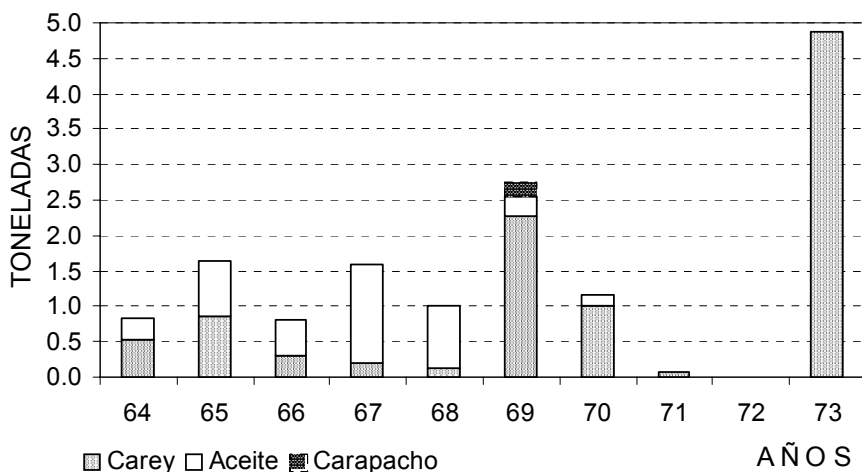


FIGURA 4. REGISTRO DE LA CAPTURA COMERCIAL DE TORTUGA CAREY, ACEITE Y CARAPACHO



La captura se realizó por medio de redes de hilo de algodón o monofilamento de nylon, tejido de malla grande (mayor a 70 cm entre nudos), longitud generalmente mayor a 50 metros, con boyas separadas cada 2 metros en la relinga superior y en la inferior plomada ligera con objeto de que la tortuga pudiera salir a respirar. Los arpones se usaron en el Caribe, durante el método llamado “correteada” que consistía en seguir a la tortuga hasta que salía a respirar para lanzarle el arpón o sacarla a mano o con un gancho (Márquez-M. 1976). También se capturaron ilegalmente tortugas en la playa durante la época de anidación y se extrajeron sus huevos, se desconoce el volumen de esta captura, pero debió ser similar a la obtenida legalmente. El huevo de vientre (folículos vitelogénicos), llamado “coral” se ponía a secar en el sol y era consumido principalmente por las familias de los pescadores.

Captura incidental. El uso de excludores. La pesquería de camarón es una de las menos selectivas que se realizan en la actualidad, aproximadamente por cada tonelada de camarón se extraen nueve de otras especies, las cuales entre el 80 y 90% son consideradas sin valor comercial. Dentro de la fauna de acompañamiento (FAC) se puede encontrar: peces, tiburones, rayas, jaibas, cangrejos, cucarachas, caracoles, almejas, pulpos, calamares, medusas, aba-

nicos, estrellas, erizos, etc., sin embargo la gran mayoría de los organismos que pudieran tener algún valor comercial no alcanzan una talla aceptable y por lo tanto son regresados al mar; desafortunadamente durante la manipulación muere más del 95%. En ciertas zonas, las tortugas marinas también se pueden capturar con frecuencia y el *stress* y la anoxia que sufren durante la captura puede causarles desde daños leves hasta la muerte.

En los EE.UU., la controversia sobre la captura incidental de tortugas marinas en la pesca del camarón se inició hace varias décadas. Los cálculos hasta 1983, efectuados por el NMFS para su región Atlántica, indicaban para finales de los años 1970 una captura anual incidental, (realizada por una flota estimada en 17,200 embarcaciones, operando más allá de las dos brazas de profundidad) de alrededor de 47,970 tortugas, de las cuales se estimó que morían ahogadas 11,180 (Henwood y Stuntz 1987). Para reducir significativamente esta captura, el NMFS recopiló experiencias de pescadores, e inició en 1978 estudios para desarrollar un artefacto que permitiera la salida de las tortugas, con el mínimo daño posible y la menor pérdida de camarón (Webber *et al.* 1995).

En 1981 se creó el primer TED (*Trawling Efficiency Device*), nombre que después se cambió por *Turtle Excluder Device* (Webber *et al.* 1995). La eficiencia de estos equipos ha sido variable, ya que aun cuando pueden estar perfectamente adaptados al tipo de red, de barco y lugar de arrastre, el resultado depende también de otros factores circunstanciales que pueden causar una pérdida considerable de camarón.

A partir del 1º de abril de 1993, se inició el uso del TED de manera obligatoria en nuestra costa Atlántica (Márquez-M. 1994). Para adaptar estos artefactos a nuestras necesidades, sobre todo considerando en lo posible el uso que se da a cierta parte de la FAC, se desarrollaron programas de investigación dentro del INP y, al mismo tiempo, con apoyo del NMFS se realizaron seminarios y talleres de actualización y entrenamiento a los pescadores.

REGLAMENTACIONES

La pesquería de tortugas marinas se ha caracterizado por un súbito desarrollo en la década de 1960 y su rápida caída a principios de la siguiente, de tal manera que se tuvieron que decretar restricciones como: tallas mínimas, cuotas de captura, vedas parciales y totales, etc. En el ámbito internacional su comercio está regido por la CITES y la UICN y para una mejor administración y conservación se creó recientemente la Convención Interamericana

para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. En México se han puesto en vigor un sinnúmero de medidas, algunas de las cuales se incluyen en el cuadro 8.

CUADRO 8. MEDIDAS ADMINISTRATIVAS ADOPTADAS EN MÉXICO PARA EL MANEJO Y PROTECCIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS LA MAYORÍA HAN SIDO PUBLICADAS EN EL *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN* COMO DECRETOS, NORMAS O CIRCULARES

DISPOSICIONES	AÑOS
Promulgación de vedas temporales a la pesca, prohibición temporal a la recolección de huevos y decreto de tallas mínimas de captura.	1925-1946
Prohibición definitiva a la cosecha y comercio de huevos.	1963
Inicio de los trabajos de protección en las playas de Rancho Nuevo, Piedra de Tlalcoyunque, Boca de Pascuales y Playón de Mismaloya.	1966
Inicio de los trabajos de protección en la playa de La Escobilla.	1967
Veda total a la captura de tortugas marinas.	1971-1972
Otorgamiento de permisos para la captura exclusivamente a sociedades cooperativas de producción pesquera.	1973
Decreto de Veda Total a la explotación de la tortuga lora.	1973
Decreto de la Zona de Reserva Natural de 17.5Km de la playa de Rancho Nuevo, Tamps.	1977
Veda total para la explotación de lora, blanca, caguama y Carey.	1978
Incorporación del Programa de Tortugas Marinas a los Programas binacionales MEXUS-Golfo y MEXUS-Pacífico.	1978
Decreto como Zonas de Reserva y Sitios de Refugio a 17 playas de anidación de tortugas marinas en todo el país.	1986

(Continúa)

TABLA 8 - MEDIDAS ADMINISTRATIVAS ADOPTADAS EN MÉXICO PARA EL MANEJO Y PROTECCIÓN DE LAS TORTUGAS MARINAS LA MAYORÍA HAN SIDO PUBLICADAS EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, COMO DECRETOS, NORMAS O CIRCULARES

DISPOSICIONES	AÑOS
Publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de la Protección al Medio Ambiente, en la cual se incluyen medidas para la protección del hábitat de las tortugas marinas.	1988
Incorporación de la captura a un régimen de cuotas y franquicias, con exclusividad a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera de Michoacán y Oaxaca.	1988
Decreto de veda total y Permanente de todas las especies y subespecies de tortuga marina.	1990
Modificaciones al Código Penal para sancionar la captura, colecta y comercialización de especies en peligro de extinción, particular-mente delfines y tortugas marinas.	1991
Norma mexicana sobre uso obligatorio de Dispositivos Excluidores de Tortugas ("TED's") para el Golfo de México y Mar Caribe.	1993
Norma mexicana sobre el uso obligatorio de "TED's" en el Pacífico Mexicano, incluyendo el Golfo de California.	1996
Reformas y Derogaciones al Código Penal en materia de Fuero Federal, para sancionar la captura, colecta y comercialización de especies en peligro de extinción como las tortugas marinas o sus productos y derivados. Capítulo. Delitos ambientales, artículo 420.	1996
Firma y Ratificación, por México, de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de Tortugas Marinas.	1998
Acuerdo por el que se determinan como áreas naturales protegidas, con la categoría de <i>santuarios</i> , a las zonas de reserva y sitios de refugio para la protección, conservación, repoblación, desarrollo y control de las diversas especies de tortuga marina, ubicadas en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Sinaloa, Tamaulipas y Yucatán, identificadas en el decreto publicado el 29 de Octubre de 1986.	2002
Primera Reunión de la Comisión Interamericana para la protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Constitución de los comités y las comisiones científicas.	2003

Fuente: Adaptada de Márquez-M. *et al.* 1998.

Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas. Reconociendo la distribución regional de las diferentes especies de tortugas marinas que frecuentan los litorales americanos, su vulnerabilidad a las diferentes artes de pesca y a las modificaciones de su hábitat, se consideró necesario desarrollar una campaña internacional a través de la firma de una «convención hemisférica», a fin de salvaguardar y, en su caso, incrementar las poblaciones de estos reptiles, además de conservar la biodiversidad y la posibilidad futura de realizar una captura en niveles sustentables. Esta convención fue establecida en diciembre de 1998, reconociendo todos los aspectos mencionados. En ella se incluyen compromisos y obligaciones para los países firmantes en el marco de la conservación y en algunos casos el uso sustentable. Para dar seguimiento y apoyar las actividades de la Convención, se ha considerado la creación de un cuerpo consultivo y uno científico. En el presente año (2003) se iniciaron las reuniones para dar forma a la convención y a los comités consultivo y científico.

EDUCACIÓN

El Programa de Tortugas Marinas se ha caracterizado por su alcance integral, abarcando la biología, la pesquería, el hábitat, la distribución y la interrelación de las poblaciones de tortugas con los habitantes costeros, por lo que en los campamentos tortugueros, además de fomentarse el estudio y desarrollo de las especies, se ha dado prioridad a las actividades educativas en el área de influencia. Frecuentemente el mismo personal técnico y científico es el que imparte las pláticas informativas sobre los trabajos de conservación que se realizan y la vulnerabilidad de la vida silvestre. Al mismo tiempo se presentan videos, se realizan concursos de dibujo infantil, juegos, piñatas, etc. Dentro de las actividades más relevantes es frecuente que a los estudiantes de escuelas primarias, durante los días que ocurren las eclosiones más numerosas, se les invite a participar en la liberación de crías.

Universidades y sociedades civiles intervienen en los trabajos de conservación, organizando brigadas que visitan a las comunidades de la región, tratando de informar sobre los objetivos de los trabajos y promoviendo la participación activa en estos programas. En muchos casos a las comunidades que dependían de la explotación de tortugas marinas se les presentan alternativas de ocupación que les permiten incrementar sus ingresos económicos.

A través de las oficinas de gobierno se promueven campañas al nivel nacional, para abatir el consumo de huevo y productos derivados de tortu-

gas marinas, tratando de hacer conciencia en el público sobre la necesidad de proteger a estas especies. Las campañas se realizan utilizando medios masivos de comunicación como periódicos, radio, televisión, cine, desfiles populares, exposiciones en ferias, salones públicos, clubes sociales, museos y acuarios. Por otra parte, también se desarrollaron proyectos de educación ambiental con estudiantes universitarios, sociedades conservacionistas y las direcciones de pesca estatales. A nivel estudiantil se organizaron hasta hace algunos años los Encuentros Inter-Universitarios, donde se presentaban los avances de la investigación, conservación y educación, los cuales valdría la pena continuar desarrollando.

CONCLUSIONES

Debido a la problemática de las tortugas y su estatus de especies en peligro de extinción, como resultado de la sobreexplotación y mal manejo de los ecosistemas, es muy importante fortalecer los programas vigentes de protección, a través de actividades de investigación, conservación y educación, orientados hacia el desarrollo de nuevas alternativas y esquemas de manejo de estos valiosos recursos.

Actualmente, en muchas de las playas las poblaciones de tortugas marinas continúan en franco deterioro por falta de suficiente apoyo a las actividades de fomento y conservación sin embargo, en otras la respuesta ha sido positiva, como resultado de estos trabajos y la tendencia en el número de anidaciones indica un aumento importante, como sucede con *L. kemp*i y algunas poblaciones de *E. imbricata* y *Ch. mydas*. Por otra parte, *C. caretta* se mantiene estable y *D. coriacea* presenta una situación incierta. Debido a lo anterior, es necesario un mayor apoyo y un monitoreo más confiable de la evolución de las poblaciones en las playas y en el mar, desarrollando todas las acciones indispensables para conocer con precisión el estado de esas poblaciones y poder definir las estrategias más adecuadas para su recuperación. Sin embargo, la información actual, obtenida a través de los coordinadores de algunos campamentos, nos indica que el saqueo continúa y es necesario actuar con medidas más drásticas y eficientes para evitar que lleguen a un colapso.

AGRADECIMIENTOS

Después de más de 30 años de actividades con las tortugas marinas es difícil nombrar a todas las personas que han contribuido de manera sustancial al

desarrollo exitoso de la investigación y conservación de tortugas marinas en México. La creación de programas conjuntos, tanto nacionales como con el extranjero, han producido sus frutos en la recuperación de algunas poblaciones, de tal manera que a todos ellos un profundo agradecimiento, pues sin su colaboración no hubiera sido posible alcanzar estos resultados. Para la elaboración de este documento, solicitado por el Instituto Nacional de Ecología, se utilizó información generada por una gran cantidad de investigadores, técnicos y voluntarios adscritos a las siguientes instituciones: las secretarías de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca y la de Ganadería, Agricultura y Pesca, los institutos nacionales de la Pesca y el de Ecología, el Servicio Nacional de Pesca Marina y el Nacional de Pesca y Vida Silvestre, de EE.UU., el zoológico Gladys Porter de Brownsville, la Cámara de Nacional de la Industria Pesquera, los gobiernos de los estados, Parque Eco-Arqueológico de Xcaret y varias organizaciones no gubernamentales. A todos ellos nuestro agradecimiento así como un reconocimiento especial a los miembros de la Secretaría de Marina por su apoyo en la vigilancia de las playas y los campamentos tortugueros así como a los miembros de las Oficinas de Pesca de la Semarnap y la Profepa.

BIBLIOGRAFÍA

- Briseño-D., R. y F. A. Abreu-G. 1994. Bitmar's survey of sea turtle nesting beaches is part of new approaches to conservation in Mexico. En: K. A. Bjorndal, A. B. Bolten, D. A. Johnson y P. J. Eliazar (comp.). *Proceedings of the Fourteenth Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. March 1994, Hilton Head, South Carolina. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-351: 198-201.
- Carr, A. F. 1967. *So excellent a fishe. A natural history of sea turtles*. American Mus. Nat. Hist. Pub. Natural History Press, N.Y., 248pp.
- D.O.F. 1990. Acuerdo por el que se establece veda total para todas las especies y subespecies de tortugas marinas en aguas de jurisdicción nacional de los litorales del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. *Diario Oficial de la Federación*. México. Mayo 31, pp:21-22.
- Eckert, K. y L. Sarti. 1997. Distant fisheries implicated in the loss of the world's largest leatherback nesting population. *Marine Turtle Newsletter* 78:2-7.
- Henwood T.A. y W. E. Stuntz 1987. Analysis of sea turtle capture and mortalities during commercial shrimp trawling. *Fishery Bulletin* 89:813-817.
- Hirt, H.F., 1971. Synopsis of biological data on the green turtle *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758). FAO Fish. Synop., FIRM/585: 75pp.

- Johnson, S. A., A. L. Bass, B. Libert, M. Marshall y D. Fulk 1999. Kemp's Ridley (*Lepidochelys kempi*) nesting in Florida. *Florida Scientist* 62(3-4):194-204.
- Márquez-M., R. 1976. *Estado actual de la pesquería de tortugas marinas en México*. SIC, Subsecretaría de Pesca. INP. México, Serie Información. 46:27pp.
- 1990. Sea Turtles of the World. An Annotated and Illustrated Catalogue of Sea Turtle Species known to date. FAO Species Catalogue. *Fisheries Synopsis*, FIR/S, Vol. 11, No. 125: 81 pp.
- 1994. *Synopsis of Biological data on the Kemp's ridley turtle, Lepidochelys kempi* (Garman, 1880). NOAA Technical Mem., NMFS-SEFSC-343, 91pp.
- 1996. *Las tortugas marinas y nuestro tiempo*. Fondo de Cultura Económica, México. 197 pp.
- (en prensa). The kemp's ridley sea turtle, *Lepidochelys kempii*, En: 1st *Macaronesian Sea Turtles Workshop and Modern Applicable Technologies*. Pájara, Fuerteventura, I. Canarias, Diciembre 2-3, 2002:155-174.
- Márquez-M., R., G. Nodarse y S. Elizalde. 1991. La cría de la tortuga blanca *Chelonia mydas*, en la Granja de la Isla de Gran Caimán Antillas Mayores. I. Generalidades. *Archelon*, 1(2):5-8.
- Márquez-M., R., G. Nodarse y S. Elizalde 1992. La cría de la tortuga blanca *Chelonia mydas*, en la Granja de la Isla de Gran Caimán Antillas Mayores. II. Aspectos Técnicos. *Archelon*, 1(3):1-5.
- Márquez-M., R., Ma. Carmen Jiménez, M.A. Carrasco y N.A. Villanueva 1998. Comentarios acerca de las tendencia poblacionales de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* después de la veda total de 1990. *Oceánides*, 13(1):41-62.
- Shaver, D.J. y C.W. Caillouet 1998. More Kemp's ridley turtles return to south Texas to nest. *Marine Turtle Newsletter* 82:1-5.
- Shaver, D.J. 2000. Summary North Padre Island Kemp's ridley Project and Texas Sea Turtle Nesting and Stranding. Report for: Kemp's ridley Working Group Meeting. October 25-26, 2000. Brownsville, Tx., 7pp.
- Solórzano-P., A. 1963. Tortuga marina. Datos sobre su biología y cultivo. Prospección acerca de las tortugas marinas de México. INP (reed. 1990). Doc. Trab. 11(18)1-26.
- Webber, M., D. Crouse, R. Irvin y S. Ludicello 1995. *Delay and Denial. A political history of sea turtles and shrimp fishing*. Center for Marine Education. 46 pp.

ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS COMUNIDADES BÉNTICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

Elva Escobar Briones

INTRODUCCIÓN

En aguas someras el bentos es un componente relevante en la economía de los estados costeros del Golfo de México donde diversas especies han contribuido históricamente como recursos pesqueros (camarones, langostas, jaibas, caracoles, almejas, etc.) y recientemente en la producción acuícola por la producción uniespecífica, en la farmacología por la extracción de compuestos bioactivos (de caracoles, corales, esponjas) y la otras industrias con la generación de biopolímeros, pegamentos, colorantes y otros derivados de microorganismos e invertebrados que permiten el desarrollo en los tres países colindantes de la cuenca. El bentos de aguas profundas, por su abundancia, talla y estructura poblacional, no ofrece la posibilidad de explotar sustentablemente recursos a nivel comercial. Su importancia a la escala global tiene que ver con que especies como los corales capturan carbono en sus estructuras carbonatadas centenarias, participando en la regulación del clima y del carbono en el planeta.

DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Los organismos asociados a los fondos marinos se definen como bentos. El bentos en el ecosistema marino es de gran importancia por su papel en los

procesos primarios, los ciclos biogeoquímicos donde se encuentra estrechamente vinculado al reciclamiento de materiales en la interfase agua-sedimento. Los componentes bénticos ocurren a lo largo de todo el gradiente batimétrico, desde la zona litoral hasta los abismos. La asociación del bentos, temporal o permanente, con el sustrato se presenta a través de las actividades de bioturbación, horadación, oxigenación y cementación del sedimento. Las interacciones con otras especies le permiten la subsistencia a lo largo del ciclo de vida. Las actividades del bentos pueden darse sobre el sustrato por aquellos organismos que se denominan epifauna, la cual comúnmente presenta tallas grandes, es visible desde una fotografía y puede ser sésil o errante. Los organismos están limitados en su movilidad; cuando realizan actividades en el interior del sedimento y aprovechan los espacios intersticiales se agrupan bajo el término de endofauna o infauna, y se caracterizan por tallas pequeñas que incluyen a la macro y a la meiofauna. El vínculo con el sedimento es estrecho y entre componentes existe una relación de las actividades conformando tramas alimentarias independientes en las cuales los efectos entre tallas de cada uno de los componentes responden en diversas escalas de tiempo y espacio. Pertenecen así mismo al bentos la vegetación enraizada, microalgas y biofilms de consorcios microalgales y bacteriano. La sola presencia de humedad permite que los consorcios bacterianos y de Archaeas subsistan en los gradientes químicos más extremos de salinidad, pH, Eh, oxígeno tanto en la interfase sedimento-agua como en el interior del sedimento, incluyendo profundidades de más de 1km en el interior de la corteza.

ANTECEDENTES

Los primeros registros de comunidades bénticas en el Golfo de México datan de la primera mitad del siglo XIX y provienen de hábitat someros. Los registros de hábitat más profundos se originan de estudios con embarcaciones mayores, inician en la segunda mitad del siglo XIX. Los estudios realizados en el siglo XX fueron de naturaleza descriptiva y han permitido la caracterización de ecosistemas costeros principalmente en el sector norte de la cuenca. Los estudios en el sector sur se iniciaron en la mitad del siglo XX, principalmente en hábitat someros costeros y versan sobre riqueza de especies, sistemática de algunos grupos y han permitido una caracterización buena de la estructura comunitaria béntica.

El estudio de los ecosistemas ubicados en aguas profundas del sector sur del Golfo inicia en la década de los sesenta por colegas norteamericanos y ha

continuado en la segunda mitad de la década de 1990 por científicos mexicanos con infraestructura mexicana. A nivel nacional casi cada institución de investigación cuenta con un investigador que desarrolla estudios generales de las comunidades bénticas, la gran mayoría centra sus estudios en las bahías y aguas litorales adyacentes y comúnmente están especializados en un grupo taxonómico. A nivel internacional, el número de investigadores está altamente especializado y cada institución cuenta con más de un grupo de investigadores que se abocan a caracterizar los procesos de cada uno de los componentes bénticos en los ecosistemas.

PRINCIPALES HÁBITATS

El bentos del Golfo de México se ha estudiado ampliamente en la zona costera, los hábitats mejor documentados incluyen marismas, playas, la costa rocosa, las raíces de manglares, pantanos y pastos marinos en las lagunas costeras y estuarios, y en menor grado las playas y las costas rocosas. Así mismo, la información es abundante para el bentos de fondos lodosos, arrecifes de ostras y de coral asociados a la plataforma continental, donde se ha explotado también el número más elevado de recursos. Las comunidades bénticas del talud continental, asociadas a los fondos con actividad quimiosintética, como son las infiltraciones de metano, de salmueras, carbonatos y clatratos, se han estudiado recientemente junto con las comunidades bénticas de cañones, escarpes y montes en la planicie abisal. De los resultados existentes de estudios del bentos en el Golfo de México se puede reconocer que existe una diversidad grande de ecosistemas y hábitats. Esta diversidad en escalas de ecosistemas, y paisajes permite extrapolar que en el Golfo de México existe una diversidad potencial elevada equivalente a la reconocida en *hotspots* terrestres de ambientes tropicales y subtropicales. El cuadro 1 y los textos descritos a continuación sintetizan características de los hábitat bénticos marinos en el Golfo de México en aguas de la ZEE con resultados de los estudios realizados en las décadas pasadas por investigadores nacionales y extranjeros en el Golfo de México. Este cuadro describe así mismo el papel que los hábitats bénticos proveen en el ecosistema, los usos que se dan a los hábitats bénticos y los principales problemas a los que se ven expuestos.

La zona costera es una zona de confluencia entre los ecosistemas terrestres con los marinos cuyas fronteras son difusas y presentan una superposición con gradientes marcados de salinidad, temperatura y otros factores ambientales.

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE SALINIDAD (UPS)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (KM)	RIQUEZA DE ESPECIES
Lagunas costeras, estuarios y bahías	Sedimentos lodosos, pastos marinos, raíces de manglares	Grande	Pequeña	0 a 15	0 a 100	0 a 110	Variable dependiente del gradiente de salinidad y oxígeno.
Playas y costa rocosa	Arena, grava, lodos, concherío, bases carbonatadas	Grande	Pequeña	30 snm a 15	0 a 80	0 a 5 (tierra adentro)	Baja a moderada, dependiente del sustrato
Plataforma interna	Sedimentos suaves, arenosos, arrecifes, bancos,	Muy grande	Pequeña	15 a 60	0 a 36	0 a 5	Alta

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
Pastos marinos, manglares, arrecifes de ostiones, pantanos, planicies mareales, ríos, lagos	Productores, exportadores, almacenaje/captura de carbono biogénico. Áreas de anidación, crianza y refugio. Remineralización de nutrimentos.	Ecotonos. Muy elevada	Alta	Muy alta	Represamiento de ríos, desechos urbanos e industriales, dragado, maricultura	Amortiguamiento y protección contra tormentas, cambio de nivel del mar. Recursos.
Humedales, planicies hipersalinas, pantanos de <i>Spartina</i> , bosques de manglar, pastos marinos, arrecifes de poliquetos y bivalvos, costa rocosa, espigones	Productores, exportadores, almacenaje de carbono biogénico.	Muy elevada	Baja a moderada	Variable	Extracción de roca y arena, desarrollos costeros, maricultura	Amortiguamiento y protección contra tormentas, cambio de nivel del mar. Recursos energéticos, pesqueros y biotecnológicos.
Espigones, arrecifes artificiales, plataformas petroleras	Productores, exportadores de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos.	Muy elevada	Muy alta	Muy alta	Aportes urbanos e industriales, desarrollo portuario,	Recursos. Diversidad genética y biotecnológica.

(Continúa)

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (M)	INTERVALO DE SALINIDAD (UPS)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (KM)	RIQUEZA DE ESPECIES
	fondos con concha						
Plataforma externa	Sedimentos suaves	Grande	Grande	60 a 200	15 a 36	5 a 200	Alta a moderada
Talud continental	Sedimentos suaves, carbonatos	Grande	Moderada	200 a 2,800	34 a 35	50 a 300	Alta a moderada

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
bancos, canales, arrecifes de coral, barreras, atolones, cenotes, fondos de <i>Halimeda</i>					maricultura, pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos	
Zonas de hipoxia, fondos de desove, arrecifes artificiales, plataformas petroleras, atolones, islas	Productores y transformadores, captura de carbono biogénico. Remineralización de nutrientes.	Elevada	Muy alta	Muy alta	Pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos, desechos en altamar	Recursos
Zona de oxígeno mínimo, infiltraciones de metano e hidrocarburo, lagos hipersalinos, cañones, volcanos de lodo, cordilleras, corrientes de turbidez,	Productores y transformadores de carbono biogénico. Remineralización de nutrientes	Elevada, dependiente de la infiltración de fluidos. Ecotono	Localmente variable	Localmente variable	Pesquería por arrastre y dragado, extracción de recursos energéticos, desechos en altamar	Recursos. Protección contra tormentas y olas. No explorado

(Continúa)

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HÁBITATS PRINCIPALES QUE OCURREN EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU RELACIÓN A LOS VALORES ANTROPOCÉNTRICOS

HÁBITAT	SUSTRATO	EXTENSIÓN	ÁREA TOTAL	INTERVALO DE PROFUNDIDAD (m)	INTERVALO DE SALINIDAD (ups)	DISTANCIA DEL CONTINENTE (km)	RIQUEZA DE ESPECIES
Escarpes	Rocoso	Grande	Pequeña	5 a 3,800	34 a 36	5 a 300	Moderada a baja, poco estudiada
Planicie abisal	Sedimentos suaves	Grande	Muy grande	2,800 a 3,800	34.2	5 a 300	Alta, poco estudiada

ESTUARIOS

Los estuarios o sistemas estuarinos son, en el contexto de la zona costera, identaciones costeras que tienen conexión restringida al océano y permanecen abiertas intermitentemente. Se consideran entre los ecosistemas más importantes de la zona costera, ya que constituyen zonas de transición o ecotonos entre la zona terrestre y la zona marina donde el drenaje del agua

ESTRUCTURAS SIGNIFICATIVAS	FUNCIÓN EN EL ECOSISTEMA	COMPLEJIDAD	PRODUCTIVIDAD	BIOMASA	IMPACTOS GENERADOS POR EL HOMBRE	USOS PARA EL HOMBRE
zonas de erosion						
Paredes verticales de carbonatos, infiltraciones de sulfuros, sal y metano, depositos de sedimento suave	Transformado- res de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos	Variable, dependiente del gradiente profundidad y luz.	Baja, poco estudiada	Baja, poco estudiada	Se desconoce	Recursos biotecnológicos
Infiltraciones de metano, de sal y chapopote, montes de sal	Almacenaje/ secuestro de carbono biogénico. Remineralización de nutrimentos	Poco estudiada, dependiente de aportes alóctonos y autóctonos	Baja, poco estudiada. Elevada asociada a chapopote	Baja, poco estudiada	Desechos en altamar, se prevé la extracción de recursos energéticos en los próximos años	No explorado. Recursos. No explorado

dulce terrestre se mezcla con el agua marina, creando unas de las áreas más productivas debido al continuo control hidrodinámico, la maximización de la luz y la concentración alta de nutrientes estrechamente acoplados, reteniendo y reciclando eficientemente los nutrimentos. Constan de una zona fluvial, una zona de mezcla o propiamente el estuario, y una zona turbia en la zona colindante con el océano abierto asociada a la zona de mezcla y la pluma mareal. Son complejos y varían considerablemente en su

geomorfología, hidrografía, salinidad, mareas, sedimentación y energética del ecosistema. Como consecuencia de esta complejidad las comunidades biológicas cambian sustancialmente de uno a otro estuario y dentro del estuario mismo. Las variaciones en las condiciones físicas y químicas hacen difícil el distinguir los efectos sobre las comunidades biológicas entre los cambios naturales (huracanes, tormentas, etc.) y los cambios antropogénicos.

Biológicamente sostienen densidades y biomاسas elevadas. La diversidad biológica es notablemente baja en la cual casi todos los phyla animales ocurren en densidades elevadas y están representados por organismos en toda la escala de tallas, representados en los niveles más altos por peces demersales, crustáceos y moluscos. En el Golfo de México han sido tal vez los hábitat más estudiados por las instituciones mexicanas. Los hábitat asociados a los humedales y planicies de inundación que bordean a un estuario incluyen a nivel supramareal las planicies de lodo, las playas y las marismas que en la porción marginal de los estuarios tropicales se caracterizan comúnmente por manglares. En el marco de los componentes más pequeños, se reconoció que los consorcios bacterianos heterótrofos y degradadores de petróleo responden a los cambios estacionales y muestran un metabolismo cambiante asociado a la variación en la composición de las especies que componen el consorcio que habita sedimentos en gradientes distintos de salinidad y de aporte de materia orgánica (Lizárraga Partida *et al.* 1987). Los estudios de Rogers y García Cubas (1981) reconocieron que los ostiones, un típico recurso pesquero de naturaleza béntica que forma bancos y crece sobre manglares en este tipo de sistemas, atraviesan diferentes fases de maduración con porcentajes de hermafroditismos bajos (2%) y proporciones sexuales de 1:2. Resultados de este tipo son de utilidad en el manejo de recursos bióticos ante condiciones variables y ante la introducción de especies exóticas como es *Crassostrea gigas*. La elaboración de inventarios de la fauna en los sistemas estuarinos cuenta un avance considerable. Los registros de Reguero y García-Cubas (1993) mostraban la catalogación de la malacofauna para 12 lagunas del Golfo de México en las cuales se había reconocido 25 especies de moluscos, que al parecer es muy variable ya que solamente para el sistema lagunar Larga-Redonda-Mandinga del litoral veracruzano se han reconocido 32 especies, 20 gastrópodos y 12 bivalvos que se alimentan de materia orgánica depositada en el sedimento (Reguero y García-Cubas 1993). De igual forma, en el sistema de Sontecomapan, Veracruz se describe un total de 60 especies de moluscos para el sistema más simple compuesto por fondos de

arena y arcilla bénticos dominado por dos especies de *Neritina* y una de *Mulinia* (García Cubas y Reguero 1995). En la Laguna de la Mancha, el número de especies de moluscos es de 40, con predominio de los gastrópodos que habitan una diversidad grande de hábitat (Flores-Andolais *et al.* 1988). La estimación es que debieran existir al menos entre 1,000 y 1,500 especies de moluscos para toda la cuenca (Reguero y García-Cubas 1993).

A nivel submareal se encuentran los ceibadales o hábitat de pastos marinos, los bancos de ostiones y los fondos arenosos y lodosos. Estos hábitats son sitios para alimentación, reproducción y refugio de estadios de componentes bénticos. Dos tipos de cadenas alimentarias caracterizan a los estuarios, por una parte, la producción de la vegetación vascular de naturaleza refractaria pasa a una cadena detritívora donde la materia vegetal es descompuesta por bacterias y hongos. En contraste, la cadena alimentaria de la columna de agua se sostiene en fitoplancton y se acopla al bentos con los organismos filtradores que continúa con un número elevado de omnívoros. La eficiencia trófica es baja, con pérdidas de hasta 90% entre producción primaria y consumidores. Las tramas alimentarias basadas en detrito están desarrolladas más conspicuamente en bahías costeras someras y estuarios de tipo lagunar que sostienen marismas extensivas, manglares y pastizales sumergidos.

HUMEDALES, MARISMAS Y PLANICIES DE INUNDACIÓN

Los humedales, marismas y planicies de inundación en el Golfo de México, asociadas a la zona costera en la frontera con la zona terrestre y el mar, están sujetas a la inundación por lluvia, exceso de aporte fluvial y conforman diques y canales que desempeñan importantes funciones en el paisaje costero y contribuyen a la productividad elevada de la zona costera. Las planicies de inundación contienen lodos cuya fertilidad elevada les valen el interés de la agricultura, camaronicultura y acuicultura en general. La zona costera asociada a ríos se interconecta por una red extensa de humedales y planicies de inundación temporal y perenne que permiten la retención del agua, actúan como filtros, depósitos y fuente para sustancias varias y son el hábitat de plantas diversas específicamente adaptadas a este tipo de ambientes y de la fauna asociada a esta vegetación tanto emergente como sumergida.

El principal factor externo es la hidrología, que en el Golfo de México está sujeta a fluctuaciones considerables del nivel del agua dependiendo de la estación del año, permaneciendo como humedales caracterizados por

alta diversidad. Tanto la flora como la fauna requieren de las fluctuaciones del nivel del agua, interviniendo estrechamente con el reciclamiento y la transferencia de los nutrientes entre las fases terrestres y acuáticas. El reciente represado y construcción de canales o drenaje ha tenido impactos dramáticos en las poblaciones debido a la pérdida de conectividad entre la planicie de inundación y el cuerpo de agua permanente. Solamente los organismos con ciclos de vida cortos subsisten.

La cantidad y calidad de sólidos y materiales disueltos y suspendidos determina la producción primaria y secundaria del humedal, los sedimentos y la fauna béntica asociada colaboran a atrapar nutrientes, carbono orgánico, contaminantes y sustancias tóxicas. Los humedales en el sector noroeste tienden a la eutroficación y salinización y son altamente vulnerables a la adición de nutrientes aportados por la urbanización y agricultura. Muchos de los habitantes en estos ambientes tienen adaptaciones fisiológicas que permiten tolerar estos ambientes. El conocimiento de sus adaptaciones a nivel molecular es fundamental para la acuicultura empleando para ello líneas híbridas de alto rendimiento. Los estudios realizados se han centrado en moluscos (Rodríguez *et al.* 1983) y peces de sistemas lagunares en especies que presentan un potencial para desarrollo y producción a futuro (Maldonado-Monroy *et al.* 1985, García Molina y Uribe Alcocer 1989, Uribe-Alcocer y Ramírez-Escamilla 1989, Uribe Alcocer *et al.* 1994) así como el uso de algunas especies como biomonitores del cambio ambiental en el Golfo de México (Uribe-Alcocer y Díaz-Jaimes 2000).

MANGLARES

Los manglares son los únicos bosques situados en la confluencia de tierra y el mar en el Golfo de México, poseen características únicas de ecosistemas en un ecotono y se desarrollan mejor en zonas protegidas y de baja energía. Su presencia promueve el depósito de partículas finas lo que permite la recolonización de los fondos con raíces y propágulos. Los manglares representan un gradiente continuo de tipos geomorfológicos dentro de sistemas en una clasificación más amplia de la zona costera que está dominada por el aporte fluvial, y modificado por la alternancia de las mareas, determinado hidrográficamente por el oleaje, las corrientes costeras y la naturaleza del valle inundado. La biomasa generada es en promedio mayor a la encontrada en cualquier ecosistema acuático en el Golfo de México. La biomasa de raíces por debajo del sustrato iguala la biomasa emergida. La trama

alimentaria béntica es simple e interactúan especies terrestres y marinas. La complejidad arquitectónica de las raíces provee sustrato para el desarrollo larval, la acumulación de sedimento, contaminantes, nutrientes y carbono, y para estadios juveniles y larvales de invertebrados de importancia comercial. La riqueza de hábitat que se refleja en la diversidad de especies que habita y coloniza los manglares está determinada por la amplitud de la marea y la salinidad y calidad de las aguas.

Como ejemplo de la elevada diversidad biológica asociada a *Rhizophora mangle* en la Laguna de Términos se ha reconocido 43 especies de poliquetos bénticos (cuadro 2) cuya abundancia es representada mayoritariamente por especies de los géneros *Capitella*, *Mediomastus*, *Laeonereis*, *Streblospio*, *Melinna*, *Parandalia*, *Marphysa* y *Eteone* (Hernández-Alcántara y Solís Weiss 1991). Así mismo, asociados a los poliquetos del mangle rojo se encuentran 17 especies de moluscos y 27 especies de crustáceos macrobénticos que presentan una variación estacional tanto en la composición como en la abundancia (Hernández-Alcántara y Solís-Weiss 1995).

La diversidad biológica se correlaciona con el área representada por el manglar. La conectividad entre los manglares y los ecosistemas adyacentes (*p. ej.* arrecifes de coral, pastos marinos, etc.) es estrecha e influye sobre la composición de especies encontrada. La vinculación y naturaleza de las aguas abiertas de la plataforma continental es relevante en la diversidad de especies en particular para la migración de larvas a los manglares y su regreso a la plataforma continental.

PASTOS MARINOS

Los ecosistemas compuestos por pastos marinos se han reconocido como ecosistemas clave de la zona costera del Golfo de México y se encuentran restringidos en su crecimiento al ambiente marino y salobre (valores mayores a 5 ups, irradiancia subacuática con valores mayores al 11%), definiendo su límite de ocurrencia (aprox. 30 m) y distribución dentro las lagunas costeras, bahías, estuarios y en plataforma continental. En el Golfo de México los pastos se distribuyen en sedimentos blandos cuyo contenido de materia orgánica sea menor a 6%, con concentraciones de sulfuros menores a 300 μM y un potencial redox mayor a -100 mV. La tasa de exportación a los ecosistemas marinos vecinos es de aproximadamente 20% enlazando como importantes eslabones tróficos con tramas del talud continental y de la planicie abisal. Entre las principales funciones de los pastos marinos, conside-

CUADRO 2. RIQUEZA DE ESPECIES DE ANÉLIDOS POLIQUETOS EN
LOS HÁBITATS QUE CARACTERIZAN LA ZEE EN EL GOLFO DE MÉXICO

HABITAT	LOCALIDAD	NO. DE ESPECIES
Lagunas costeras	Tamiahua	69
	Términos	77
Raices de manglares	Términos	43
	Tuxpan	40
	Papaloapan	25
	Coatzacoalcos	
Deltas	Grijalva	40
	Dos Bocas	18
	Carmen-Machona	12
	Términos	16
	Arcas	15
Arrecifes	Triángulos	24
	Arenas	7
	Alacrán	17
Plataformas petroleras	Bahía de Campeche	41
		135
Plataforma continental externa	Tamaulipas	97
	Veracruz	112
	Campeche	219
Plataforma continental interna	Tamaulipas	90
	Veracruz	132
	Campeche	222
Planicie abisal	Sigsbee	65

rados únicos, se reconoce la provisión de oxígeno disuelto a los fondos de los estuarios, lagunas, bahías, y la plataforma interna. Así mismo, la presencia de pastos marinos permite la estabilización del sedimento, impide la resuspensión del sedimento mejorando la transparencia, atenúa el oleaje de

tormenta protegiendo la línea de costa, facilita el entrampamiento de nutrimentos y funciona como hábitat y refugio para diversos organismos dada su estructura arquitectónica compleja que promueve una diversidad biológica elevada de invertebrados bénticos.

COSTAS ROCOSAS

La presencia y extensión de las costas rocosas en el Golfo de México está limitada a las márgenes de Campeche, los Tuxtlas en Veracruz y a una creciente presencia de espigones y muelles en los estados de Yucatán, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas. Se ubican en la interfase tierra- mar, donde la frontera es abrupta y la zonación entre invertebrados y algas marinas y plantas terrestres es incipiente. El gradiente vertical es unidireccional con estrés que aumenta de la zona emergida a las porciones más expuestas, sobre el cual la acción del oleaje tiene el impacto mayor. La conectividad de las costas rocosas es constante con el ambiente terrestre, y como sistemas abiertos tienen la capacidad de dispersar larvas, propágulos y adultos. Las comunidades bénticas que se encuentran en la costa rocosa dependen de la capacidad de colonizar localidades y tolerar los diversos gradientes que actúan sobre ellos, aunada a la interacción con otros organismos que responden rápidamente al cambio, como lo muestran las adaptaciones de tolerancia fisiológica. Las comunidades bénticas de la costa rocosa muestran gran variabilidad natural en espacio y tiempo. La diversidad de estas comunidades es generalmente más baja que la de otros ecosistemas costeros del Golfo de México y las especies son predominantemente filtradoras, lo que mantiene la calidad de agua y reduce en parte los florecimientos de algas tóxicas.

Por su accesibilidad y posición en la interfase costera, las comunidades bénticas de este ecosistema son las más vulnerables a los impactos terrestres o generados por derrames en el agua por su apertura a gradientes marcados.

PLAYAS

Las playas son los ecosistemas mejor representados a lo largo del litoral del Golfo de México, y están representadas por bajos arenosos en los fondos protegidos de bahías, lagunas costeras y estuarios hasta playas abiertas. Por su ubicación en la línea de costa son ambientes dinámicos con sustratos poco estables en un intervalo de condiciones físicas variables que determi-

nan los tipos de comunidades asociadas a los sedimentos. La acumulación de partículas de origen continental y marino depositadas por el oleaje tienen diámetros que de 0.05 a 2 mm. En el Golfo de México el ecosistema de playa está compuesto de dunas, cara de playa y una zona de ruptura de ola; presenta un intercambio constante de materiales entre los tres subsistemas. Las playas del sector sur del Golfo de México se caracterizan en su gran mayoría por la ausencia de vegetación vascular enraizada en la zona intermareal y la aparente ausencia de fauna béntica de talla mayor. La fauna de las playas es móvil y adaptable a las condiciones cambiantes por las mareas y la exposición aérea. El número de especies bénticas marinas residentes es bajo. Se trata de especies crípticas que emergen de la arena solamente por la noche, o que son arrastradas al subir las mareas; cuando éstas bajan, las especies a las que nos referimos, tienden a invadir la playa en búsqueda de alimento. La diversidad biológica de la comunidad béntica, representada por todos los phyla existentes, está dada en su mayor parte por fauna que habita los espacios intersticiales, y tanto el número de especies como en su abundancia responden directamente a la velocidad de caída de la marea, que en el Golfo de México es reducida. La fauna de asteroideos y equinoideos es pobre en especies litorales (17 especies) en relación al conocimiento que se tiene para el océano Pacífico o si se le compara con la de otros mares tropicales, (Solís Marín et al., 1993) Los géneros de asteroideos característicos son *Astropecten* y *Linckia*. Los géneros de equinoideos son *Diadema*, *Arbacia*, *Eucidaris* y *Encope* (Solís Marín et al. 1993).

El transporte de arena a lo largo de la costa es un factor crítico del presupuesto de depósito en las playas. Va acompañado del transporte de materiales a través del sistema, esencial para el aporte nutricional a la comunidad béntica intermareal dada la reducida abundancia de productores primarios. Los restos de madera, algas y cadáveres de organismos son, en su mayor parte, el alimento de la fauna carroñera epibéntica de mayor talla como crustáceos y gasterópodos, a los cuales se unen depredadores terrestres e insectos. Las partículas suspendidas de menor tamaño sostienen a organismos filtradores como bivalvos que viven enterrados en la arena. La remineralización de la materia no consumida se lleva a cabo a varios centímetros dentro del sedimento submareal. Las playas disipativas con sus taludes suaves, que caracterizan al Golfo de México, presentan condiciones menos hostiles para la fauna, por lo que se encuentran los valores más altos de diversidad y abundancia y las interacciones de las cadenas alimentarias son más complejas.

FONDOS BLANDOS EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL

En el Golfo de México, la línea de costa se continúa en el submareal con la plataforma continental, definida como la extensión por debajo de la marea más baja al reborde continental donde el talud continental desciende abruptamente. La plataforma continental en el Golfo de México tiene una extensión variable, es extensa sobre el Banco de Campeche y estrecha a lo largo de los estados de Veracruz y Tamaulipas. Al igual que otras fronteras ecológicas de la zona costera, es difusa y poco delimitada en cuanto a su profundidad o características propias del sedimento y fauna asociada. La zona de influencia de agua proveniente del continente varía en función de la descarga fluvial, con aportes de los ríos Champotón en el extremo suroccidental hasta el río Bravo en el extremo norte de la ZEE, la circulación, la topografía y el clima. Una revisión amplia de las comunidades bénticas de plataforma continental del Golfo de México se encuentra en Rabalais *et al.* (1999).

La mayor parte de los fondos en la plataforma continental son lodosos hasta en un 50%, además de presentar arenas en más de 40% y algo de grava, fragmentos de conchas y coral. En este sedimento, denominado fondo blando por el predominio de lodos, se encuentran como componentes dominantes de la comunidad béntica invertebrados bénticos y peces demersales que le dan la importancia económica a este ecosistema.

La riqueza de especies está menos caracterizada que en los ambientes más someros; sin embargo, el número de especies en moluscos es aparentemente más elevado que el reconocido para las lagunas costeras del Golfo de México, ya que solamente para las regiones norte y noreste de la Península de Yucatán se han reconocido 110 especies de gastrópodos bénticos en el intervalo batimétrico de 28 a 617 m (García Cubas *et al.* 1999) y el número de especies de poliquetos Lumbrineridos en fondos de 15 a 200 m de Tampico a Yucatán es de 17 (Solís-Weiss *et al.* 1995). Lo anterior contrasta con los sistemas modificados por el hombre, que al parecer actúan como promotores de la diversidad biológica. El número de anélidos poliquetos asociado a plataformas petroleras en el sector externo de la plataforma continental en la Bahía de Campeche sostiene 14 especies de las familias Phyllodocidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae y Pilargidae (Granados-Barba y Solís Weiss 1997a), 14 de la familia Spionidae (Granados-Barba y Solís Weiss 1998) y seis más de las familias Orbiniidae y Cossuridae (Granados-Barba y

Solís Weiss 1997b). Este tipo de estudios de naturaleza descriptiva y exploratorios han permitido reconocer nuevas especies para la ciencia (Granados-Barba y Solís Weiss 1997a, Tovar-Hernández *et al.* 2002), e igualmente nuevos registros en el Golfo de México (Granados-Barba y Solís Weiss 1994). Una síntesis comparativa de la riqueza de especies de poliquetos por hábitat se presenta en el cuadro 2. En el caso de los equinodermos se ha reconocido la presencia de 48 especies de asteroideos y equinoideos para esta zona batimétrica en el Golfo de México; los registros se centran primordialmente en Tamaulipas, Campeche y Yucatán (Caso 1971, Solís Marín *et al.* 1993, Barbosa-Ledesma *et al.* 2000).

Aún quedan por describir un sinnúmero de especies en aquellos grupos taxonómicos poco estudiados como son muchos de los phyla menores y aquellos grupos de talla pequeña o de hábitos crípticos. Algunos estudios recientes han permitido conocer parte de esta fauna, un ejemplo de ello es la nueva especie de isópodo bopírido que infesta la cámara branquial de cangrejos galatéidos del género *Munidopsis* procedentes del reborde continental en el suroeste del Golfo de México (Román-Contreras y Soto 2002).

Los procesos hidrográficos juegan un papel clave en la estructuración del sistema de plataforma continental al participar en la distribución de los sedimentos y aportar materia orgánica al fondo procedente de la columna de agua. La materia orgánica es transportada y redistribuida en el fondo por corrientes de marea y transporte lateral que explican en gran medida los patrones de distribución de la riqueza de especies y abundancia de la fauna en el fondo. El patrón comúnmente registrado, relaciona en un equilibrio la cantidad del aporte proveniente de la columna de agua con las densidades de la fauna en el sedimento; esta correlación a su vez se vincula con la tasa de remineralización de nutrientes en el fondo a través de la bioturbación, la cual en el Golfo de México está relacionada con la pesca de arrastre, que contribuye significativamente al perturbar los fondos. En cierta forma, el aporte de nutrientes en la plataforma se relaciona directamente con la biomasa y la productividad pesquera, sin embargo el equilibrio existente puede romperse cuando el aporte es excesivo y gran parte de la producción primaria en columna de agua no es ingerida por herbívoros y es exportada al fondo consumiendo el oxígeno disuelto en la interfase sedimento-agua, lo que genera hipoxia y hasta anoxia e impide la presencia de peces, crustáceos y otros organismos componentes de la comunidad béntica en el fondo.

Tanto la hipoxia como la anoxia simplifica las comunidades bénticas

al grado de promover el cambio de comunidades de metazoarios por consorcios de bacterias y microorganismos de ambientes anóxicos. Este proceso, bien documentado en el sector norte, se ha estudiado incipientemente en el sector sur del Golfo de México, y requiere de un seguimiento más estricto para determinar sus causas. En el Golfo de México al igual que en los mares tropicales, la producción secundaria y pesquera, comparada con los sistemas marinos templados y fríos es notablemente baja; sin embargo, la proporción producción/biomasa es elevada, atribuible a la elevada tasa metabólica de los organismos. En el Golfo de México se han reconocido patrones de distribución de la composición, abundancia y biomasa bénticas que varían con la distancia a la costa y la cercanía a ríos, estuarios, bahías y lagunas costeras. Estos tres factores de la estructura de la comunidad de fondos blandos en la plataforma continental puede variar también por la presencia de hidrocarburos fósiles como se muestra en camarones pendidos en el Banco de Campeche, reconociendo que los individuos de mayor talla y la mayor densidad y concentración de biomasa se agregan en el área de producción petrolera (Soto y Gracia 1987). Los resultados anteriores pueden relacionarse con la mayor protección que las plataformas petroleras brindan a las poblaciones, generando un refugio con elevado contenido de materia orgánica lábil, degradada por bacterias hidrocarbonoclasticas.

FONDOS CARACTERIZADOS POR LA HIPOXIA

El término hipoxia se emplea para caracterizar masas de agua cuya concentración de oxígeno disuelto alcanza valores por debajo de 2 mg L^{-1} (1.4 ml L^{-1} ó $63 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$). La hipoxia en el Golfo de México se ha documentado ampliamente en la plataforma continental al oeste del delta del Misisipi y se genera anualmente al término de la primavera y durante el verano. El área afectada varía de un año a otro y ha pasado de $8000\text{-}9000 \text{ km}^2$ en el periodo de 1985 a 1992 a casi $15,000$ a $19,000 \text{ km}^2$ de 1993 a 1997 (Ferber 2001, Battaglia y Goolsby 2001). Desde el año 2000 el área excede los $20,000 \text{ km}^2$. Los registros obtenidos a la fecha han permitido identificar algunos de los factores que controlan la hipoxia y la hacen variar anualmente. Se ha propuesto, por una parte, que la concentración de nitratos de origen fluvial promueve la producción local, conllevando a una actividad biológica elevada debajo de la picnoclina que consume el oxígeno disuelto (Rabalais *et al.* 2002). Por otra parte, se considera que la estabilidad de la picnoclina es un factor importante que previene la renovación de oxígeno disuelto

(Wiseman *et al.* 1992). La hipótesis del control biológico sobre la hipoxia se basa en el hecho de que la concentración de nutrimentos aportada por ríos es significativamente mayor a la que se encuentra comúnmente en aguas oceánicas. Solamente el río Misisipí aporta $120 \mu\text{mol L}^{-1}$ de nitratos y hasta $200 \mu\text{mol L}^{-1}$ de silicatos (Turner y Rabalais 1991). Estas concentraciones de nutrimentos promueven el crecimiento de fitoplancton como se ha reconocido ampliamente frente al Misisipí al igual que otros grandes ríos (Lohrenz *et al.* 1990, 1997, Sklar y Turner 1981, Biggs y Sanchez 1997).

Las algas del florecimiento que no fueron consumidas por herbívoros se hunden como agregados con el paso del tiempo, las algas ingeridas son excretadas como heces fecales y ambas se degradan en el sedimento y la masa de agua de fondo consumiendo el oxígeno disuelto y generando la hipoxia durante el verano cuando la picnoclina es estable. El flujo de carbono de origen biogénico exportado al fondo varía de 500 a $600 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a una profundidad de 20 m (Redalje *et al.* 1994, Qureshi 1995). La hipótesis del control físico depende más de los cambios de las corrientes locales a lo largo del año (Li *et al.* 1997). Aunado a lo anterior, el intercambio de gases entre la masa de agua de fondo y la suprayacente a la picnoclina es igual a cero, debido a la lenta advección y la estratificación, facilitando la inducción de la hipoxia. Los años en que el aporte fluvial es excesivo, la presencia de agua dulce en aguas superficiales costeras fortalece la picnoclina. Ambos mecanismos son importantes (Rabalais *et al.* 2002) y llevaron a que en el sector norte del Golfo de México se llevara un control del aporte de nitratos provenientes de la actividad agrícola (EPA 2001, Ferber 2001) con el objeto de mitigar el efecto de la hipoxia, esperando reducir el área de afectación a solamente $5,000 \text{ km}^2$ para el año 2015.

Los resultados obtenidos de la investigación en los programas Latex y Necop permitieron reconocer que, aunque gran parte de la plataforma de Texas y Luisiana es afectada por concentraciones de oxígeno bajas, la región hipóxica se encuentra bien delimitada y que el agua no proviene de la zona de oxígeno mínimo del talud. Los valores más bajos detectados sobre la plataforma continental se localizan por debajo de la picnoclina estacional a salinidades mayores a 33 en zonas que presentan una termoclina secundaria (Wiseman *et al.* 1992). El agua superficial (salinidad menor a 10 ó 25) proviene de los ríos Misisipi y Atchafalaya. El agua por debajo de la picnoclina es marina con salinidades de 34 a 36, y es el contraste entre la densidad de ambas masas de agua, superficial y de fondo el que determina la estabilidad de la columna de agua (Murray *et al.* 1998), y la capacidad de intercambio

de gases. La relación entre el aporte fluvial, la luz y las corrientes que generan el control físico del sistema es de tipo no-lineal (Justic *et al.* 1993, Chen *et al.* 1997, Lohrenz *et al.* 1999, Chen *et al.* 2000). La frecuencia de ocurrencia de la hipoxia en el tiempo es variable y depende del aporte fluvial a la zona costera en la estación previa. La información al respecto es escasa y a la fecha se reconoce que las concentraciones de oxígeno disuelto en la isóbata de 50 m son de 6.0 a 6.5 mg L⁻¹ a 25°C para el invierno al llevarse a cabo una mezcla por el viento (Jochens *et al.* 1998). Solamente en algunas localidades las condiciones se mantienen aún en invierno por debajo de la saturación (Rabalais *et al.* 1999).

La producción primaria al este del delta del Misisipí es moderadamente elevada 300 g C m⁻² a⁻¹ (Lohrenz *et al.* 1990, Sklar y Turner 1981, Biggs y Sanchez 1997), y su procedencia ha generado controversia, existiendo estudios que demuestran la regeneración de nutrientes en columna de agua (Bode y Dortch 1996, Nelson y Dortch 1996), y otros que demuestran su proveniencia a partir de nutrimentos generados en el sedimento (Morse y Rowe 1999), mediante las surgencias del reborde continental (Lopez Veneroni 1998), desconociendo la regeneración en la columna de agua (Wilson-Finelli y Powell 2001). Esta controversia se amplía aún más al tratar de reconocer los nutrientes que limitan la producción en la plataforma continental en el Golfo de México. El aporte de nutrimentos se ha señalado como la causa principal de la hipoxia (Rabalais *et al.* 2002); sin embargo, la proporción N:Si se ha incrementado desde 1975 como lo constatan los análisis de núcleos de sedimento (Turner y Rabalais 1991), reconociendo que el aporte de diatomeas al fondo ha sido mayor en años recientes (Rabalais *et al.* 1999). Otro factor que determina la hipoxia en los fondos marinos es el control físico reflejado en la velocidad de flujo de las corrientes de fondo y la estabilidad de la termoclina.

La hipoxia actúa sobre la comunidad béntica de la plataforma continental reduciendo el número de especies de vertebrados e invertebrados a sólo aquellos que toleran concentraciones bajas de oxígeno. La persistencia de la hipoxia por periodos prolongados remplace la comunidad de metazoarios por la de bacterias anaerobias. Comúnmente en estos fondos el ácido sulfhídrico está ausente y ocasionalmente llega a registrarse en columna de agua, lo que permite sugerir que los nitratos son el agente oxidante en la interfase sedimento agua. La tasa de consumo de oxígeno del plancton en la masa de agua más profunda es, en promedio, de 2.2 mg O₂ m⁻³ h⁻¹ con una demanda continua de casi 1 mg O₂ m⁻³ h⁻¹, (Turner y Allen 1982). La máxima actividad

se ha evaluado en el verano y en las inmediaciones de los ríos $318 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ó $13.25 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$, con tasas de respiración béntica de 161 y $799 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ó $6.6\text{-}33.0 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Dortch *et al.* 1994). El consumo promedio de oxígeno de la comunidad que habita los sedimentos es de $32.13 \pm 14.02 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y la tasa de respiración equivalente en carbono es $327.67 \pm 142.99 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para una profundidad promedio de 22 m y una temperatura en el fondo de 25 °C. La variación entre sitios en una región es muy variable (Morse y Rowe 1999), y es controlada por factores químicos, biológicos y físicos. El factor químico se vincula con el incremento en turbidez, las tasas de floculación de partículas arcillosas, la acumulación de sedimento, el carbono orgánico y la actividad de metabolismo anaeróbico en el sedimento produciendo amoníaco, sulfuros y especies reducidas de hierro y manganeso. La productividad primaria elevada es el principal factor biológico que controla la hipoxia; se vincula con una penetración de luz alta, con concentraciones elevadas de nitratos y silicatos, y con exportación de diatomeas y heces fecales que se descomponen inicialmente bajo condiciones aeróbicas y continúan con otras anaeróbicas, conllevando a hipoxia y denitrificación. El factor físico se ejemplifica por la estratificación por densidad que previene el intercambio de gases y reoxigenación de la masa del fondo. En este ejemplo la producción es controlada por nitrógeno regenerado (nitritos y amoníaco) más que por nitratos. La respiración de la comunidad del sedimento es aeróbica con contenido bajo de carbono orgánico y denitrificación limitada. Los análisis de sensibilidad realizados a la fecha con modelos determinísticos del oxígeno disuelto en agua de fondo muestran que el aporte del agua fluvial y su efecto sobre la estratificación explican la hipoxia, más que el aporte de nitratos (Rowe 2000).

Otros registros de hipoxia en la porción sur del Golfo de México pueden encontrarse en Laguna Madre de Tamaulipas, Laguna de Tamiahua y frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos. Los primeros ejemplos podrían experimentar hipoxia a lo largo de un ciclo nictimeral asociado a los fondos con elevada concentración de materia orgánica y vegetación sumergida. En el caso del río Coatzacoalcos intervienen una combinación de factores que incluyen un frente con producción primaria elevada aunado al aporte fluvial y eutroficación por desarrollos urbano e industrial en la zona. Entre los factores que pueden inducir zonas hipóxicas en el litoral mexicano del Golfo de México se incluyen el aislamiento de bahías y puertos, la incorporación de aguas residuales no tratadas, el aporte agrícola, y los depósitos de nitrógeno generados por la combustión de hidrocarburos provenientes de

plantas, generadores de energía y vehículos.

ARRECIFES DE CORAL

Los arrecifes de coral son ecosistemas someros submareales característicos de la plataforma continental y reborde continental en el Golfo de México que proveen de un sinnúmero de recursos. Se caracterizan por el componente geológico de depositación de carbonato de calcio generado por corales, moluscos, foraminíferos y algas en fondos con aguas cuya temperatura no sea menor a 18 °C, caracterizados por iluminación elevada y de calidad, saturación elevada de aragonita, salinidad marina estable y concentración baja de nutrientes disueltos en el agua marina. Los factores fisicoquímicos influyen en la formación de arrecifes de coral, y la tolerancia a ellos determina los patrones de distribución de los organismos característicos del arrecife. Cuando las condiciones difieren de las anteriormente descritas las grandes estructuras masivas, como los arrecifes de barrera y los atolones, reducen su capacidad de agregación y crecimiento a parches pequeños e incipientes de baja diversidad.

Aunque los factores fisicoquímicos determinan la distribución, crecimiento y éxito de los organismos formadores de los arrecifes de coral, las interacciones biológicas en el arrecife determinan la abundancia de especies y la producción del carbono orgánico e inorgánico. Los arrecifes en el Golfo de México se caracterizan por una riqueza intermedia con 28 especies de corales escleractinios reconocidos de 68 descritos para la región del mar Intramericano (Castañares y Soto 1982). Las interacciones como la herbivoría determinan la dominancia en la comunidad de uno de los componentes, algas o corales. El balance entre organismos calcificantes y los organismos que erosionan al arrecife es crítico para un crecimiento óptimo del arrecife. La composición de especies y abundancia están sujetas a un balance fino entre las actividades de los organismos y los factores ambientales generando diversos escenarios posibles. Las diferencias entre arrecifes se explican a partir de tres variables de crecimiento (densidad, tasa de elongación y tasa de calcificación), ya que éstas cambian con base en la turbidez y carga de sedimento del ambiente. Conforme los corales experimentan ambientes más extremos, éstos responden alongando su esqueleto con menos contenido de carbonato, y disminuyendo la densidad del esqueleto, como se ha observado con *Montrastrea annularis* en el sur del Golfo de México (Carricart-Ganivet y Merino 2001).

La producción orgánica de los arrecifes está determinada por los herbívoros y las algas bénticas. Un incremento en la concentración de nutrientes y de materia orgánica en el agua marina y una reducción en las algas calcificantes, corales y peces depredadores producirán arrecifes con un número elevado de organismos que erosionan. Una mayor producción de arena y baja herbivoría mejorarán la colonización de pastos marinos y microalgas desplazando a los arrecifes. En comparación con los arrecifes de coral, los pastos marinos, a pesar de ser un ecosistema importante por su papel en el ecosistema costero tropical, sostienen un número menor de especies e impiden la construcción de especies formadoras de arrecifes. Los arrecifes del Golfo de México y el mar Caribe contienen 9% de los arrecifes representados en el océano mundial. El trabajo de Chávez e Hidalgo (1989) señala la presencia de arrecifes de tipo plataforma en Tuxpan, Blanquilla y Lobos, el complejo arrecifal de Islas Verde, de En medio y Santiaguillo, y en Arcas, Triángulos y Alacranes. Un análisis comparativo de su estructura ha permitido reconocer que los arrecifes del Golfo de México se encuentran en etapas diferentes de su evolución. Las principales perturbaciones en estos arrecifes se reconocieron hacia 1989 en los efluentes urbanos y los derrames petroleros, tanto puntuales como crónicos, en diferentes grados de intensidad. Estos se encuentran sujetos a una gran presión por el desarrollo costero que conlleva a un cambio de una comunidad arrecifal con la desaparición del erizo *Diadema antillarum* por sobrepesca de peces que controlan la especie, aunado a la incorporación elevada de nutrientes disueltos por el crecimiento y desarrollo urbano en la zona costera, la pérdida del coral *Acropora cervicornis* por enfermedad de bandas blancas, el blanqueamiento y la infección por microorganismos acarreados por polvo y sedimento, vía atmosférico el primero y fluvial el segundo.

Los principales factores fisicoquímicos y biológicos que afectan los patrones de riqueza de especies y abundancia y los procesos que determinan la producción biológica incluyen factores fisicoquímicos (incremento de nutrientes, cambios en la transparencia del agua, oxígeno disuelto, resuspensión de sedimento, metales pesados, otros contaminantes y cambio potencial redox y disrupción del proceso de remineralización) y factores biológicos (pérdida de hábitat, de riqueza de especies y funciones clave, ruptura de la conectividad, incorporación de especies invasoras, disrupción de la capacidad degradadora de materia orgánica). La recuperación en estos casos es lenta particularmente si se toma en consideración que muchos de los componentes arrecifales son de crecimiento pausado como son los corales mismos y

muchas de las esponjas (Haas-Schram *et al.* 2003). La diversidad de especies es grande, solamente de esponjas se realizó un primer inventario en 1977 reconociéndose un total de 13 especies de la clase Demospongiae (Green 1977a) que casi una década después fue actualizado a 20 especies que aparecen en un intervalo de 2 a 15 m de profundidad (Green *et al.* 1986). La interacción existente entre las especies que ocurren en los arrecifes ha llevado a que muchas de ellas (aprox. 75%), en particular en los trópicos, adquieran estrategias metabólicas que les permitan colonizar nuevos espacios en el arrecife o evitar ser depredadas por peces o infectadas por bacterias para lo cual presentan sustancias bioactivas de alta toxicidad y antimicrobianas en proporciones equivalentes (Green 1977b, Green *et al.* 1985).

COMUNIDADES DE MAR PROFUNDO

Las comunidades bénticas del Golfo de México representan fauna de zonas abisales periféricas cuya relevancia radica en ser una cuenca donde la evaporación excede el flujo de agua dulce y el agua del Atlántico tiene un efecto indirecto desde el mar Caribe. Esta conexión es de importancia en virtud a la conectividad de la fauna béntica abisal entre el océano Atlántico, el mar Caribe y el Golfo de México. Esta última conexión se vincula a través del Canal de Yucatán separando dos cuencas abisales: el Caribe nororiental (3,500m) y el Golfo de México oriental (3,000m) con una cresta de 1,500m. En contraparte, el Golfo de México tiene influencia sobre el océano Atlántico a partir de la contribución que genera la corriente del Golfo. La circulación profunda se ha estudiado pobremente, sin embargo, se ha calculado que su tiempo de residencia en la planicie es de unos 350 ± 100 años (Broecker *et al.* 1961). Esta masa de agua varía entre los 2,000 a 3,000 m de profundidad con una temperatura potencial (2)=4.05 °C a una (2)=4.016 °C y de una salinidad de 34.971 a 34.973 (McLellan y Nowlin 1963) donde la concentración de oxígeno disuelto varía en un gradiente de oeste con 4.2 ml. L⁻¹ a 4.4 a 5 ml. L⁻¹ en el sector este.

El trabajo de Davie y Moore (1970) reconoce cinco provincias en la distribución de sedimentos en el Golfo de México. Los sedimentos del mar profundo están determinados en más de 97% del área por el río Mississippi y en proporción menor por el río Bravo. Este esquema fue recientemente revisado en el trabajo de Balsam y Beeson (2003). La exportación de carbono de origen biogénico al fondo marino es incipiente y a la fecha no se ha evaluado pero se estima que al ser el Golfo de México una cuenca oligotrófica,

con una estratificación bien marcada, cuyos valores de clorofila expresado como carbono varían de bajos de mayo a agosto $>0.06 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ a elevados durante el periodo de mezcla de octubre a marzo $>0.18 \text{ gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (Müller-Kärger *et al.* 1991), la exportación esté limitada a agregados de talla mayor (7mm) cuya tasa de hundimiento alcance 80 md^{-1} (Diercks y Asper 1997).

Las comunidades bénticas abisales que dependen de la exportación de carbono biogénico en el Golfo de México habitan fondos blandos caracterizados por sedimentos de origen biogénico y compuesto por limos y arcillas. Estos se han estudiado más exhaustivamente en el sector norte que en el sector sur, la información existente ha reconocido que la megafauna o los componentes de talla más grande son escasos y presentan un patrón sobredisperso en contraste con los componentes de talla menor. Al respecto, los resultados publicados a la fecha permiten establecer que la biomasa béntica de la macroinfauna, al igual que la densidad en fondos abisales, refleja la producción primaria superficial. Los valores en el sector sur (densidades de 794 a 1,669 ind.m⁻², Escobar *et al.* 1999) exceden notablemente los valores del sector norte (19 a 31 ind.m⁻², Rowe *et al.* 1974) y presentan patrones de distribución determinados por la zona de oxígeno mínimo en el talud continental, encontrándose valores tanto de biomasa como de densidad mayores justo por debajo de ésta. Los principales componentes de estas comunidades infaunales bénticas son, en las tallas mayores, los poliquetos y los crustáceos peracáridos y en las tallas menores los nemátodos y los copépodos harpacticoides. Así mismo, la variabilidad a profundidades mayores de 3,000 m es grande lo que permite entrever que los fondos blandos abisales agrupan en ciertas localidades más organismos. Estas comunidades representan el extremo opuesto de las comunidades sostenidas por fuentes autóctonas y presentan una superposición en algunos casos, particularmente en la fauna con mayor movilidad, como son los crustáceos y algunos peces. Otro grupo importante asociado al bentos que se ha estudiado en el Golfo de México es el de los crustáceos carroñeros que incluye a los anfípodos de los géneros *Orchomene* y *Eurythenes* y a los isópodos del género *Bathynomus* (Barradas *et al.* 2003). En el caso de éste último, la especie *Bathynomus giganteus* dada su abundancia en el talud continental se ha podido estudiar la dieta y estrategias reproductivas y las variaciones de éstas a lo largo del año.

Junto con el Mediterráneo, el Golfo de México es uno de los pocos mares periféricos que no solamente se sostiene de carbono biogénico exportado. Las comunidades béntica autóctonas, sostenidas por metano o ácido sulfídrico se descubrieron a inicio de la década de 1980 y se localizan entre los 500 y los 2,200m sobre el talud continental, asociadas a los fondos de

producción de petróleo e hidratos de metano del talud continental en el norte del Golfo de México (Kennicutt *et al.* 1985, 1988). Otras comunidades bénticas quimioautotróficas asociadas a la infiltración de aguas hipersalinas ricas en sulfuros fueron descritas por Paull y colaboradores en 1984 en el Escarpe de Florida a 3,000 m. Los componentes bénticos de estas comunidades son gusanos vestimentíferos de los géneros *Lamellibrachia* y *Seepiophilia* que a diferencia de los gusanos de ventilas hidrotermales, se sostienen del ácido sulfhídrico, que fluye del sedimento a través de la rizosfera y hacia el interior del celoma. El género de vestimentífero en el escarpe es *Escarpia* y depende de la oxidación de sulfuro a pesar de existir infiltración de metano y una vía microbiana y otra geotérmica de sulfhídrico. Otros componentes bénticos son diversas especies de bivalvos de los géneros *Acesta*, *Bathymodiolus*, *Callyptogena*, *Solemya*, *Vesicomya* e *Idas* y el gasterópodo *Bathynnerita*. La abundancia de alimento asemeja un oasis por lo cual otra fauna béntica abisal ocurre en densidades grandes asociada a la fauna quimioautotrófica habiéndose reconocido esponjas, hidroides, lapas, equinodermos, crustáceos, poliquetos y peces.

Los estudios anteriormente descritos se han llevado a cabo en el sector norte del Golfo de México. En el sector sur estos estudios no se habían realizado hasta el año 2003. La información generada por la exploración petrolera ha sido hasta la fecha confidencial y ha retrasado significativamente la investigación básica al existir una negativa de la industria petrolera para interactuar con las instituciones de investigación. Sin embargo, los resultados obtenidos en 2003 han permitido reconocer nuevas comunidades bénticas asociadas a los fondos abisales en una nueva formación geológica reconocida como volcanes de asfalto.

Los fondos abisales de la Sonda de Campeche presentan este tipo nuevo de vulcanismo generado por la erupción de asfalto (figuras 1 y 2), lo suficientemente dúctil para fluir libremente por cientos de metros a lo largo de la pendiente de los domos de sal. Las estructuras solidificadas de asfalto asemejan lava de los tipos *pa'hoehoe* y *aá*. Estos flujos de asfalto están colonizados por fauna de tipo quimioautotrófica cuya dependencia biogeoquímica exhibe diferencias significativas de la fauna de infiltraciones frías descritas a la fecha en el océano mundial. Estos hallazgos del año 2003 permitieron reconocer un proceso geológico nuevo, una nueva ubicación de depósitos de hidratos de metano y ampliaron significativamente la zoogeografía de fauna quimioautotrófica de mar profundo. Estas formaciones de asfalto fueron documentadas en 1971 por Willis Pequegnat en una foto única de un domo

salino a 3,325 m de profundidad, 12 años antes de que se descubrieran los primeros gusanos vestimentíferos en Rose Garden, en las Galápagos, lo que nos lleva a especular que este tipo de vulcanismo de asfalto pudiera estar distribuido ampliamente en el Golfo de México y el mar Caribe.

La descripción preliminar de estas comunidades incluye, en contraste a las otras localidades basadas en la quimioautotrofia, un número elevado de especies y abundancia de equinodermos, peces, crustáceos y bivalvos que parecieran alimentarse de los tapetes bacterianos que crecen en las suturas de flujos de asfalto de diferentes periodos de actividad.

ASOCIACIONES DE PECES DEMERSALES

Los estudios en peces de profundidad en el Golfo de México son escasos dada su menor importancia comercial. A la fecha se han reconocido 119 especies de peces demersales (Pequegnat *et al.* 1990) que se distribuyen acorde a las diferentes zonas de profundidad, correspondientes a plataforma continental externa y reborde, talud continental superior, talud medio, talud continental inferior y elevación continental.

La especie más abundante en el sector externo de la plataforma continental es *Antigonia capros* (McEachran y Fechhelm 1998). En contraste la ictiofauna a mayor profundidad está dominada por Macrouridae: *Bathygadus macrops* y *Caelorinchus caribbaeus* en el talud superior, *Nezumia cyrano* y *N. aequalis* en el talud medio. El talud inferior y la elevación continental están caracterizados por las especies de Ophidiidae *Dicrolene kanazawai* y *Acanthonus armatus*, respectivamente (Powell 2001).

La riqueza de especies es mayor en el talud superior con 53 especies y decrece con la profundidad en la elevación continental se han registrado solamente 17 especies. La abundancia sigue patrones similares. En virtud de la abundancia de petróleo sobre el talud continental, la exploración presente y futura de recursos energéticos impactará negativamente a las comunidades y la ecología de los hábitat representados a dichas profundidades.

CORALES DE MAR PROFUNDO

En el Golfo de México se han reconocido más de 100 especies de corales que habitan el mar profundo, 51 de las cuales se han recolectado sobre el talud continental y la elevación continental. El primer estudio lo publicaron Moore y Bullis (1960) quienes reconocieron la presencia de extensos banco

de *Lophelia pertusa* a profundidad. En el año 1983, Pequegnat publicó el recuento de la megafauna del sector norte a profundidades de 300 a 3,000 m y citó especies de octocorales y hexacorales. Los estudios más recientes describen la geología y distribución de la especie en el Golfo noreste (Schroeder 2001, 2002). Las especies de coral que ocurren en el mar profundo son comunes tanto para los cañones como en los escarpes. Las especies *Funiculina quadrangularis*, *Stephanocyathus diadema*, *Chrysogorgia*, *Acanella* y otra especie de *Keratisidinia* son características de los cañones en el sector norte del Golfo de México.

En la porción central se han recolectado ejemplares de del octocoral *Ombellula* en un intervalo de 1,880 a 3,700 m y representa tal vez una de las especies más abundantes de las colectas realizadas a la fecha a estas profundidades. Muchas de las especies de corales solamente se conocen de fotografías ya que no han sido recolectadas. Así mismo, un número elevado de peces, 43 especies, de mayor tamaño se encuentran asociados a los corales. Entre las especies de peces comúnmente asociadas a corales en el talud se encuentran *Sebastes*, *Urophycis*, diferentes especies de *Macrouridae* y *Pollachius*, más ocasionalmente se ha reconocido la presencia de peces planos de los géneros *Hippoglossoides* y *Limanda*, especies de *Cottidae*, rayas, gadoideos.

Por la importancia pesquera muchos de estos sistemas de corales de profundidad han sido destruidos por las redes de pescadores. La diversidad de invertebrados asociados a estos bancos de coral de profundidad incluye esponjas, poliquetos, crustáceos, equiuros, moluscos, briozoarios, branquiópodos, equinodermos y cnidarios, muchos de los cuales son afectados con la destrucción de la complejidad estructural. Aproximadamente 35% de las especies que viven en el Golfo de México son comunes a las latitudes altas y solamente difiere en los Octocorallia y los Hexacorallia (Cunningham 2002). La mayoría de las especies de corales escleractineos de profundidad del Golfo de México tienen una distribución característica tropical o templada anfiatlántica o del Atlántico occidental, en contraste con las especies de latitudes altas que tienen un patrón de distribución cosmopolita o frío templado anfiatlántico. La similitud entre corales del Atlántico occidental tropical es de 75% con la asociación de corales del Golfo de México.

A los corales de aguas someras se les ha reconocido como equivalentes de las selvas por su extraordinaria diversidad biológica, tal vez la más alta en todo el planeta. Sin embargo, sólo hasta hace algunos años la ciencia nos ha permitido reconocer la existencia de arrecifes en aguas profundas, sin ilumi-

nación, igualmente complejos y ricos en especies que los de aguas someras y de importancia pesquera. Estos arrecifes son dominados por el género de coral *Lophelia* como se mencionó anteriormente y mantienen hasta 1,300 especies de invertebrados. Más de 850 especies de macro y megafauna se han descrito solamente en montes oceánicos que presentan este tipo de arrecifes en el Pacífico oriental tropical. La longevidad de los corales de profundidad al igual que la de diversas escleroesponjas como *Ceratoporella nicholsoni* (Haase-Schram *et al.* 2003) proveen el archivo climático que permite dar un seguimiento al cambio en el clima. Estas comunidades son equivalentes en importancia y por su diversidad a las comunidades someras de arrecifes de coral con la diferencia que a la fecha la perturbación por actividades humanas es menor.

El desarrollo de dichas asociaciones sólo ha sido factible por el crecimiento lento de las especies de corales y esponjas y la baja perturbación en décadas y siglos previos. El desarrollo de tecnología para explotar recursos a profundidad, como es la extracción de hidrocarburos, gas e hidratos de metano, la extracción de pesquerías a profundidad, de minerales y el efecto que desconocemos aún del cambio climático global, son factores que a la fecha han comenzado a incidir en estas comunidades poco estudiadas. Las actividades humanas, en particular los arrastres pesqueros han generado un daño sin precedente a las comunidades de corales y esponjas en montes submarinos, talud y reborde continentales.

CAÑONES

Los cañones y canales profundos que cortan el talud continental son hábitat en donde comúnmente ocurren corales de profundidad. Diversos estudios en el Atlántico occidental han mostrado que los corales son más abundantes en los cañones que sobre el talud continental compuesto por fondos blandos, donde también la fauna sésil, al igual que los corales, se presentan en concentraciones elevadas. En gran medida, la razón por la cual los cañones son hábitat únicos es la ocurrencia de sustratos heterogéneos, cantos, agregados rocosos, bloques carbonatados a diferencia del talud continental. Estos sustratos son adecuados y juegan un papel importante en el asentamiento de los corales de mar profundo. Así mismo, las corrientes son más intensas y distribuyen la materia orgánica proveniente de la plataforma continental. Los corales de mar profundo filtran partículas como parte de su fuente alimenticia en hábitats donde la corriente mantiene el flujo de

partículas.

Los corales del género *Lophelia* entre otros son comunes a fondos con corrientes más altas, en ocasiones justamente donde se generan ondas internas. Estas corrientes contribuyen también a la dispersión de los corales y de la fauna asociada en los sistemas dominados por *Lophelia* (Mortensen *et al.* 1995). El Golfo de México contiene al menos 20 cañones, de los cuales 5 (Misisipi, Keathley, Bryant, Alaminos, De Soto) se han explorado en el sector norte (Rowe y Kennicutt 2000) y solamente el de Campeche se ha comenzado a explorar en el sector sur. La ictiofauna en los cañones es igualmente abundante que la de corales en los cañones (Powell 2002), y se ha atribuido a una mayor disponibilidad de recursos alimenticios y productividad asociada a su hidrodinámica.

ESCARPES

Las paredes escarpadas de los escarpes difieren significativamente de las áreas de pendiente suave del talud continental o de algunos cañones. Los escarpes son áreas hidrodinámicamente activas del suelo oceánico en el cual se perciben corrientes moderadas en el fondo, a las cuales se asocian octocorales holaxonianos y escleractineos (Marshall 1979). La presencia de gorgonáceos y alcyonarios son excelentes indicadores de fondos con energía elevada. El estudio de estos hábitats es incipiente en el Golfo de México dada la complejidad para llevar a cabo los muestreos y requiere de tecnología de punta, como robots operados remotamente y sumergibles.

ESTRUCTURA COMUNITARIA

La estructura comunitaria de las comunidades bénticas del Golfo de México incluye una diversidad grande de especies de cada uno de los diferentes reinos. Se ha descrito un número elevado de especies nuevas de arqueas y bacterias en las últimas décadas, asociadas a los ambientes quimiosintéticos. Las especies de arqueas y bacterias aparecen habitando en tapetes microbianos, en la columna de agua y asociadas simbióticamente a invertebrados bénticos. Los diversos procesos de fermentación, reducción y oxidación, reconocidos en décadas pasadas solamente a partir de los compuestos químicos en diversos estratos del sedimento, han permitido establecer nuevos linajes de levaduras y bacterias que llevan a cabo las reacciones. Especies nuevas de invertebrados y vertebrados crípticas, asociadas a hábitat extremos y difíciles de

recolectar con métodos tradicionales (redes y dragas) han sido recuperadas y registradas fotográficamente o con ayuda de sumergibles.

Las listas de especies para vertebrados e invertebrados son extensas y se han ubicado en 27 de los 28 phyla reconocidos para ambientes marinos, incluyendo los 13 endémicos marinos. De estos phyla seis son frecuentes y abundantes en las comunidades bénticas del Golfo de México: gusanos poliquetos, crustáceos peracáridos y decápodos, equinodermos, moluscos, nemátodos e hidroides. Entre las comunidades bénticas más complejas del Golfo de México se han reconocido las asociadas a otros componentes bénticos sésiles como son las de pastos marinos, de microalgas carbonatadas, de gusanos pogonóforos y de arrecifes de coral. La riqueza de especies en la planicie abisal es similar a la que se ha reconocido en la plataforma continental, la composición de las especies es diferente al igual que la talla de los organismos que tiende a disminuir con la profundidad en la mayoría de los casos. Entre los factores determinantes de la riqueza biológica en la cuenca incluyen el tipo de sedimento, la concentración y calidad de materia orgánica en el sedimento, la concentración de oxígeno disuelto en el agua de fondo y el transporte lateral y la resuspensión por corrientes de fondo.

FUNCIONAMIENTO COMUNITARIO

Las comunidades bénticas están íntimamente acopladas a sistemas vecinos permitiendo el flujo continuo multidireccional de energía y de materiales. El reclutamiento de especies de invertebrados bénticos cuyo ciclo de vida transcurre temporalmente en los ecosistemas vecinos, tanto de columna de agua como de otros fondos marinos es uno de los vínculos más estrechos de flujo de energía. El funcionamiento comunitario se expresa en la longitud de las tramas alimentarias, el cambio de la biomasa en tiempo, la tasa metabólica y de remineralización medidas en la interfase agua-sedimento.

Las tramas alimentarias de los ecosistemas costeros del Golfo de México son largas y complejas, vinculan la cadena herbívora con la de detritívoros, ésta última la más común en el bentos de aguas profundas con ausencia de luz. En cada uno de los hábitats se reconocen especies comensales, parásitos (Román-Contreras y Soto 2002) y con otras interacciones que hacen las tramas complejas. Así mismo, las cadenas presentan un número elevado de omnívoros que obtienen sus fuentes energéticas de fragmentos de plantas, restos de peces, poliquetos, crustáceos, micromoluscos y detrito como es el caso de *Callinectes similis* en la plataforma continental de Veracruz (Cházaro-

Olvera *et al.* 2000) y una diversidad elevada de carroñeros que responden a los estímulos químicos de cadáveres que se depositan en el sedimento. Los componentes de estas tramas, consistentes de invertebrados, artrópodos en el segundo y tercer nivel, son eficientes y permiten la extensión a varios niveles tróficos. La tasa de recambio de la biomasa de los componentes bénticos es elevada en los primeros niveles tróficos y responde a la estacionalidad de la cuenca.

El bentos de manglares, pastos marinos y arrecifes de coral presentan una abundancia de recursos que sostienen densidades altas. El consumo de oxígeno en sedimento presenta variaciones; las bacterias son el principal consumidor de oxígeno en la zona costera somera y frente a los sistemas lagunares y ríos frente a la plataforma. Los valores de consumo de oxígeno son bajos en la zona abisal y reflejan más que la baja abundancia y riqueza un metabolismo adecuado a la baja temperatura y alta presión.

ESTACIONALIDAD Y ORIGEN DE LAS FUENTES ALIMENTARIAS

El bentos costero y profundo responde a dos estaciones bien delimitadas en el Golfo de México, periodo de tormentas de invierno y de lluvias de verano. El aporte más grande de materiales y energía se inicia en invierno asociado a los frentes invernales o nortes que aporta material particulado generado de la mezcla en columna de agua y del aporte proveniente de los ríos. La zona costera se ve beneficiada en el verano por los materiales aportados con la llegada de las lluvias; en contraste, el bentos de mar profundo recibe el menor aporte en esta época del año por la estratificación termohalina de la columna de agua que impide la exportación por debajo de la termoclina. El aporte excesivo de materiales a la zona costera, aunado a la producción propia en la plataforma continental genera zonas de hipoxia, ejemplificadas con el delta del río Misisipí, que limitan el reclutamiento de organismos bénticos creando zonas pobres en fauna que afectan actividades pesqueras.

La hidrodinámica de estructuras de mesoescala es uno de los factores más importantes que definen la exportación de materiales al bentos en aguas oceánicas. Otro mecanismo es el transporte lateral de los sedimentos aportados por ríos en el reborde continental y que se desplazan a profundidad por las corrientes de turbidez. La plataforma frente al río Coatzacoalcos exporta material originado del frente del giro anticiclónico que, aunado a los nutrientes aportados por el río, provocan zonas hipóxicas en el verano.

Otros aportes alóctonos que sostienen a las comunidades bénticas provienen de los fondos someros desde los cuales se exporta pasto marino, lirio, raíces y hojas de manglar, sedimento durante las tormentas o acarreadas por corrientes de turbidez. Este material se encuentra comúnmente sobre el talud continental y la planicie abisal y es degradado lentamente por consorcios de bacterias. Los carroñeros, como los anfípodos de la especie *Eurythenes gryllus*, se sostienen de cadáveres de peces pelágicos y demersales provenientes de algunas pesquerías o bien, en su ausencia, de componentes de la infauna en el sedimento. Existen diversos estudios realizados con apoyo de isotopía estable empleando composición isotópica de carbono ($*^{13}\text{C}$) y de nitrógeno ($*^{15}\text{N}$) en el Golfo de México que incluyen la determinación de las fuentes del carbono orgánico y la posición trófica de los componentes faunísticos bénticos en las tramas de los sistemas estuarinos, sistemas lagunares, la plataforma continental y recientemente el mar profundo.

BIOGEOGRAFÍA

La conectividad en las especies bénticas dentro de la cuenca depende de la presencia de estadios larvarios pelágicos que permiten el transporte a distancias grandes por medio de corrientes superficiales. Los estudios de la conectividad se han centrado en especies de importancia comercial (langostas, moluscos, peces demersales) o de aquellas que conforman hábitats en riesgo como los arrecifes de coral, los pastos marinos, los manglares, etc.). La retención de las larvas depende en gran medida de los patrones estacionales y locales de las corrientes que garantizan condiciones para el desarrollo de las larvas hasta su reclutamiento en el ecosistema en cuestión. Biogeográficamente un número elevado de los componentes que estructuran las comunidades bénticas en el Golfo de México están asociadas al mar Caribe y el Atlántico occidental tropical. Pocos componentes, los más antiguos, tienen un vínculo más estrecho de tipo carolineano y virginiano. La talla de muchas de estas especies es menor en el Golfo de México donde las condiciones de disponibilidad de alimento son, en contraste, menores.

Los componentes de la zona costera han mostrado endemismo elevado a ciertas bahías definidas por condiciones hidrológicas únicas. En particular, las especies sin desarrollo larvario pelágico, aquellas con desarrollo directo son las que han mostrado endemismo a cuencas sobre dicho talud, como son los tanaidáceos y anfípodos. En forma similar el mapeo detallado del talud continental ha permitido reconocer la existencia de subcuencas sobre

el talud continental, separadas entre sí por paredes de hasta 100 m de elevación y delimitadas por corrientes con velocidades mayores a 1m.s^{-1} lo cual mantiene aisladas a las especies sin dispersión pelágica, comúnmente componentes de la meiofauna y promueve endemismos que aún se estudian.

El campo de viento sobre el Atlántico norte, con los vientos de oeste y este en las latitudes bajas, trasporta agua superficial cálida a los trópicos que llega a las islas de las Antillas menores. Estas corrientes ingresan al mar Caribe donde eventualmente convergerán como la Corriente Caribeña que se desplazará para transformarse en la Corriente de Lazo al ingresar al Golfo de México a través del Canal de Yucatán para, eventualmente, regresar al océano Atlántico a través del Estrecho de Florida. Es a través de este mecanismo que las larvas de un número elevado de componentes bénticos del Golfo de México se enlazan con el mar Caribe y el Atlántico occidental tropical.

El mar Caribe, la cuenca más rica en arrecifes coralinos someros del Atlántico tropical, se conecta con el Golfo de México transportando larvas de organismos bénticos cuyo mecanismo de dispersión son larvas pelágicas (*p. ej.* langostas, corales, camarones, moluscos) a través de este sistema, lo cual se ha venido constatando con boyas lanzadas desde diversos puntos del Atlántico occidental, mar Caribe y Golfo de México. Este mismo mecanismo de dispersión es el que siguen diversos contaminantes que permanecen por periodos prolongados en la masa de agua. El experimento de boyas Yoto (Wilson y Leman 2000) ha sido fundamental en la región y permitió reconocer diversos patrones de conectividad, donde algunos tienden a retener las boyas en giros ciclónicos por meses, mientras otros fluyen directamente en unas cuantas semanas. Los patrones dependen así mismo de donde se lanzan originalmente las boyas, lo cual es de gran importancia para la conectividad de las poblaciones de fauna béntica, su intercambio genético y cómo los programas de manejo y restauración deben aplicarse en los sistemas costeros.

Así mismo, 17 boyas de tipo Palace se registraron de 1998 a 2002 a una profundidad en la masa de agua a 900 m en el Golfo de México. Los resultados de las trayectorias de casi 1,300 boyas y la temperatura registrada muestran un patrón de flujo ciclónico a lo largo del talud continental en el sector occidental del Golfo de México que se intensifica en la Bahía de Campeche, y sugieren que existe una comunicación limitada en el flujo a profundidad del talud entre los sectores este y oeste del Golfo de México y la persistencia de un giro ciclónico en el suroeste del Golfo de México en las cuales hay un continuo aporte de agua costera. La relevancia de estos resultados en el

marco de la fauna béntica de profundidad guarda relación con los posibles aislamientos genéticos de poblaciones dentro del mismo golfo.

FACTORES QUE DETERMINAN LA DIVERSIDAD

A excepción de las comunidades sujetas a condiciones extremas, el bentos en la mayoría de los hábitats es diverso, compuesto por un número elevado de especies poco abundantes. Los hábitat extremos expuestos a baja salinidad, alta salinidad, elevada temperatura, baja concentración de oxígeno o sujetas a corrientes elevadas, o fondos expuestos a perturbación crónica, se caracterizan por comunidades con un número reducido de especies con abundancia elevada.

Los componentes bénticos del Golfo de México están expuestos a diferentes actividades que modifican el hábitat, ya sean de origen natural o antropogénico. Los efectos extremos generados por actividades del tipo natural se observan por los ciclones en el verano, fragmentando ecosistemas costeros y perturbando la heterogeneidad espacial. La recuperación de la pérdida de diversidad ante este tipo de fenómenos es de alrededor de una década. Otras variaciones por fenómenos naturales como frentes de invierno, el Niño, la Niña y la Oscilación del Atlántico están siendo apenas exploradas.

En contraste, las actividades de tipo antropogénicas en la cuenca son diversas, incluyen el excesivo flujo de nutrimentos por ríos que promueven la hipoxia y anoxia en la zona costera. El represado de agua tierra adentro afecta el hábitat en la zona costera, con la reducción de manglares y pastos marinos, por la retención de sedimentos y un predominio de agua marina. Actividades agrícolas tierra adentro influyen con un aporte a la zona costera de fertilizantes, herbicidas e insecticidas, los cuales se incorporan en la trama alimentaria o se acumulan en el sedimento, influyen sobre la estructura y funcionamiento al afectar a los componentes del bentos. El dragado de sedimentos en la zona costera para navegación, marinas y construcción de estructuras portuarias y de transporte en la zona costera exponen estos contaminantes nuevamente al ambiente. El dragado es una actividad común en las actividades de pesca de los recursos bénticos, la perturbación mayor se llevó a cabo con el primer dragado, destruyendo la estructura tridimensional del hábitat, a manera del talado de un bosque; dragados sucesivos son afectaciones crónicas que simplifican la estructura comunitaria. La cuenca se caracteriza por tener recursos no renovables como son clatratos, gas y petróleo que prometen reservas grandes que requieren para

su extracción la construcción y tendido de estructuras sobre el fondo. Un número elevado de estudios en aguas someras, en estuarios y lagunas costeras se han abocado a evaluar las concentraciones en fauna de invertebrados y vertebrados demersales y el efecto de petróleo sobre los organismos bénticos en el sur del Golfo de México (ver para ello una revisión de estos en Botello *et al.* 1997). Las concentraciones en tejidos de 686 organismos bénticos varían desde 8 a 2,340 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (dw) de PAH e indican la incorporación de petróleo procedente de derrames, descargas resultado de accidentes y de la explotación e infiltraciones naturales.

CONSIDERACIONES FINALES

En el caso del bentos, casi todos los hábitats y ecosistemas pueden considerarse vulnerables. Solamente aquellos sujetos a inestabilidad ambiental y perturbaciones crónicas se han reconocido con una pobreza mayor de su diversidad, los otros hábitats a pesar de la exposición a actividades de perturbación, no se señalan como afectadas en su diversidad. Las acciones y esfuerzos requeridos a futuro en la conservación de las comunidades bénticas incluyen una inversión en estudios de ciencia básica que permitan comprender mejor la conectividad de las comunidades bénticas. Para ello es necesario explorar los ciclos de vida y la fisiología de las especies con potencial para su uso en biotecnología marina, así mismo es necesario dar un seguimiento en el largo plazo a las comunidades en hábitats y ecosistemas aún no señalados como vulnerables con el objeto de describir sus variaciones naturales y discernir entre los cambios generados por efecto de actividades antropogénicas, las variaciones por el cambio global y los efectos por teleconexión.

A la fecha la predicción de los cambios es uno de los aspectos menos documentado, para ello se requieren las bases de datos de factores ambientales y de comunidades tipo para realizar las predicciones y apoyar la toma de decisiones en escalas de tiempo amplias. En México es necesario incrementar el número de especialistas en el estudio del bentos, a fin de centrarse en dominar uno de los hábitats, uno de los grupos en cuestión y establecer su problemática, aspecto que ha sido de gran apoyo en el sector norte de la cuenca y que ha permitido establecer propuestas adecuadas de manejo. Una sugerencia para elegir áreas de importancia en los estudios de comunidades bénticas es iniciar esfuerzos intensivos de estudio en las regiones reconocidas como prioritarias por su desconocimiento o su riqueza de especies en el Golfo de México.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la M. en C. Margarita Caso por la paciencia para la entrega de este manuscrito. Parte de la información contenida en este documento se encuentra en desarrollo por lo cual se dan agradecimientos por el apoyo que permite continuar esta investigación a través de campañas a bordo del B/O Justo Sierra de la UNAM y el R/V Sonne con financiamiento de los proyectos PAPIIT IN224503, SEP-CONACYT 2002 Clave 40158 CONABIO BE013, DGAPA UNAM PAPIIT IN211200, Contract 1435-01-99-CT-30991TAMU, CONACYT-G35442-T, CONACYT G-27777B, programa de biotecnología BMBF Bonn 03G0174 a G. Bohrman, U. Bremen para investigación conjunta y el

FIGURA 1. MONTÍCULO DE AGREGADOS DE ASFALTO SOBRE EL FONDO ABISAL BLANDO SOBRE LOS CUALES CRECEN UN CRINOIDEO, UNA COLONIA DE HIDROIDES Y RAMAS DE CORAL



Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

FIGURA 2. MARGEN DEL VOLCÁN DE ASFALTO EN LA ZONA ABISAL DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO. LA IMAGEN MUESTRA LOS PLEGAMIENTOS DE ACTIVIDAD Y FLUJO MÁS RECIENTE Y CUBREN ESPECIMENES AÚN VIVOS DE ASOCIACIONES DE GUSANOS DE TUBO VESTIMENTÍFEROS DE ALGUNA DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *ESCARPIA* SP.; AL FONDO SE APRECIAN AGREGADOS DE BACTERIAS Y VALVAS ABIERTAS DE UN *BATHYMODIOLUS* SP.



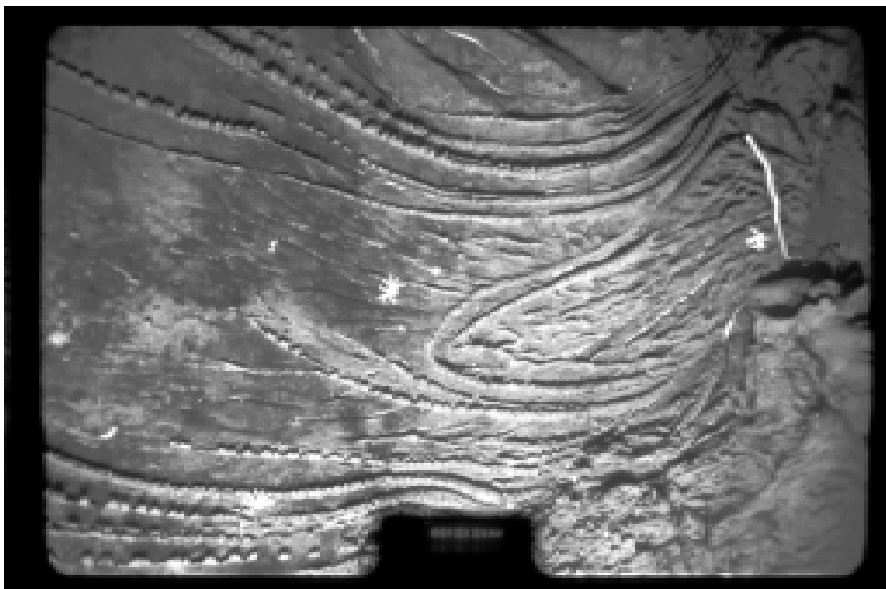
Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

financiamiento del programa Ocean Exploration: Logistic support for Joint German-US-Mexican cruise to explore the Gulf of Mexico Outer Continental Slope de la NOAA.

BIBLIOGRAFÍA

- Balsam, W. L. y J.P.Beeson 2003. Sea-floor sediment distribution in the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 50:1,421-1,444.
- Barbosa-Ledesma, I.F., F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras 2000. New records for cidaroid echinoids (Echinodermata: Echinoidea) of the Gulf of Mexico, Mexico.

FIGURA 3. SUPERFICIE DEL VOLCÁN DE ASFALTO EN LA ZONA ABISAL DEL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO. LA IMAGEN MUESTRA TRES CANGREJOS GALATHEIDOS DEL GÉNERO *MUNIDOPSIS* Y UN GUSANO DE TUBO VESTIMENTÍFERO DE ALGUNA DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO *ESCARPIA* SP.; LAS MARCAS EN BLANCO QUE SE ENCUENTRAN EN LAS SUTURAS DE LOS FLUJOS SON BACTERIAS Y CERCANO AL GUSANO DE TUBO Y GALATHEIDO SE RECONOCEN DOS HOLOTHURIAS



Fuente: fotografía de la campaña conjunta México-Alemania-EE.UU. a bordo del B/O Sonne.

Rev. Biol. Trop. 48(2/3):721.

Barradas-Ortiz, C., Briones-Fourzán, P. y E. Lozano-Álvarez 2003. Seasonal reproduction and feeding ecology of giant isopods *Bathynomus giganteus* from the continental slope of the Yucatán peninsula, *Deep Sea Res. Part I*: 50(4): 495-513

Battaglia, W.A. y D.A. Goolsby 2001. Nitrogen flux in the Mississippi River basin: long-term trends and relation to nitrogen inputs. ASLO 2001. *Conference Abstracts book*, p.21.

Biggs, D.C., y L.L. Sanchez, 1997. Nutrient enhanced primary productivity of the Texas-Louisiana continental shelf. *J. Mar. Sys.* 11: 237-247.

- Bode, A. y Q. Dortch 1996. Uptake and regeneration of inorganic nitrogen in coastal waters influenced by the Mississippi River: spatial and seasonal variations. *J. Plankton Res.*, 18, 2,251-2,268.
- Botello, A.V., S. Villanueva F., G. Díaz G. 1997. Petroleum pollution in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 153:91-118.
- Broecker, W.S., Gerard, R.D., Swing, M. y Essen, B.C. 1961. Geochemistry and physics of ocean circulation. Publ. Am. Assoc. *Adv. Sci. Oceanog.* 67:301-322.
- Carricart-Ganivet, J.P. y M. Merino 2001. Growth responses of the reef-building coral *Montrastrea annularis* along a gradient of continental influence in the southern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 68(1):133-146.
- Caso, M.E. 1971. Contribución al conocimiento de los equinoideos de México. Estudio morfológico de *Brissopsis alta* Mortensen, erizo de profundidad. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* (1):41-56 + 11 láminas.
- Castañares, L.G. y L.A. Soto 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. I. Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinea). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 9(1):295-343.
- Chávez, E.A. y E. Hidalgo 1989. Los arrecifes coralinos del Caribe noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, México* 15(1):167-175.
- Cházaro-Olvera, S., A. Rocha-Ramírez y R. Román-Contreras 2000 Observations on feeding, maturity and fecundity of *Callinectes similis* Williams, 1966, on the central continental shelf off Veracruz, Gulf of Mexico. *Crustaceana* 73(3):323-332.
- Chen, C., D. Wiesenberg y L. Xie 1997. Influences of river discharge on biological production in the inner shelf: A coupled biological and physical model of the Louisiana-Texas shelf. *Jour. Mar. Res.* 55, 293-320.
- Chen, X., S. Lohrenz y D. Wiesenberg 2000. Distribution and controlling mechanisms of primary production on the Louisiana-Texas continental shelf. *Journal of Marine Systems* 25, 179-207.
- Cunningham, T.L. 2002. Corals collected in the deep Gulf of Mexico benthos expedition: Distribution, Faunal associations and Biogeography. Dissertation. Biology Department. 49 pp.
- Davies, D.K. y Moore, W.R., 1970. Dispersal of Mississippi sediment in the Gulf of Mexico. *J. Sediment. Petrol* 40:339-353.
- Diercks, A.R. y Asper, V.L. 1997. *In situ* settling speeds of marine snow aggregates below the mixed layer: Black Sea and Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 44:385-398.
- Dortch, Q., N.N. Rabelais, R.E. Turner y G.T. Rowe. 1994. Respiration rates and hypoxia on the Louisiana shelf. *Estuaries*, 17, 862-872.

- EPA 2001. Mississippi River/Gulf of Mexico Watershed Nutrient Task Force. Action Plan for Reducing, Mitigating, and Controlling Hypoxia in the Northern Gulf of Mexico. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 31 pp.
- Escobar-Briones, E., Signoret, M. y Hernández, D., 1999. Variación de la densidad de la infauna macrobéntica en un gradiente batimétrico en el sector oeste del Golfo de México. *Ciencias Marinas* 25:143-212.
- Ferber, D. 2001. Keeping the stygian waters at bay. *Science*, 291: 968-973.
- Flores-Andolais, F., A. García-Cubas, A. Toledano-Granados 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de la Mancha, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 15(2):235-258.
- García-Cubas, A. y M. Reguero 1995. Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica* 5(1-2):1-24.
- García Cubas, A., F. Escobar y M. Reguero 1999. Gastrópodos marinos de la Península de Yucatán, México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 49:127-146.
- García-Molina, F. y M. Uribe-Alcocer 1989. Análisis cromosómico del bagre marino *Arius felis* (Ariidae: Siluriformes) de la región de la Laguna de Términos, Camp. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 16(1):69-74.
- Granados-Barba, A. y V. Solís-Weiss 1994. New records of polychaetous annelids (Order: Eunicida) from the southeastern Gulf of Mexico. *Bull. Mar. Sci.* 54(2):420-427.
- 1997a. The polychaetous annelids from oil platforms areas in the southeastern Gulf of Mexico: Phyllodocidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae y Pilargidae, with description of *Ophioglycera lyra*, a new species, and comments on *Goniada distorta* Moore and *Scoloplos texana* Maciolek and Holland. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 110(3):457-470.
- 1997b. The polychaetous annelids of the oil platform areas from the southeastern Gulf of Mexico: Orbiniidae and Cossuridae. *Bull. Mar. Sci.* 61(3):549-557.
- 1998. Les Spionidae (Annélides, Polychètes) de la zone des puits pétroliers de la région méridionale du Golfe du Mexique. *Vie Milieu* 48(2):111-119.
- Green, G. 1977a. Sinopsis taxonómica de trece especies de esponjas del arrecife la Blanquilla, Veracruz, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 4(1):79-98.
- 1977b. Ecology of Toxicity in Marine Sponges. *Marine Biology* 40:207-215.
- Green, G. P. Gómez, G.J. Bakus. 1985. Antimicrobial and ichthyotoxic properties of marine sponges from Mexican Waters. 3d. Int. Sponge Conf. 109-114.
- Green, G., L.E. Fuentes Velásquez y P. Gómez López 1986. Nuevos registros de Porifera del arrecife la Blanquilla, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 13(3):127-146.
- Jochens, A.E., D.A. Wiesenburg, L.E. Sahl, C.N. Lyons y D.A. DeFreitas, 1998. LATEX Shelf Data Report – Hydrography. April 1992 through November 1994. Vols I-VI.

- TAMU Oceanography Technical Report 96-6-T, Texas A&M University.
- Haase-Schram, A., F. Böhm, A. Eisenhauer, W.C. Dullo, M.M. Joachimski, B. Hansen y J. Reitner 2003. Sr/Ca ratios and oxygen isotopes from sclerosponges: temperature history of the Caribbean mixed layer and the thermocline during the Little Ice Age. *Paleoceanography* 18(3):1073-1088.
- Hernández-Alcántara, P. y V. Solís Weiss 1991. Ecological aspects of the polychaete populations associated with the red mangrove *Rhizophora mangle* at Laguna de Terminos, Southern part of the Gulf of Mexico. *Ophelia Suppl.* 5:451-462.
- 1995. Algunas comunidades macrobénticas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en laguna de Términos, Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 43(1-3):111-129.
- Justic, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner y W.J. Wiseman 1993. Seasonal coupling between riverborne nutrients, net productivity and hypoxia. *Mar. Pollut. Bull.*, 26, 184-189.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R., Fay, R.R., Wade, T.L. y McDonald, T.J., 1985. Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana slope. *Nature*, 317:351-353.
- Kennicutt, M.C., Brooks, J.M., Bidigare, R.R. y Denoux, G.Y. 1988. Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities. I. Regional distribution of hydrocarbon seepage and associated fauna. *Deep-Sea Res.* 35:1639-1651.
- Li, Y., W.D. Nowlin, Jr. y R.O. Reid 1997. Mean hydrographic fields and their interannual variability over the Texas-Louisiana continental shelf in spring, summer and fall. *J. Geophys. Res.*, 102, 1027-1049.
- Lizárraga-Partida, M.L., R. Carballo Cruz, F.B. Izquierdo-Vicuña, R.R. Colwell y I. Wong Chang 1987. Bacteriología de la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, México 14(1):97-108.
- Lohrenz, S.E., M. J. Dagg y T.E. Whitledge 1990. Enhanced primary production at the plume/oceanic interface of the Mississippi River. *Continental Shelf Res.* 10, 639-664.
- Lohrenz, S.E., G.L. Fahnenstiel, D.G. Redalje, G.A. Lang, X. Chen y M.J. Dagg 1997. Variations in primary production of northern Gulf of Mexico continental shelf waters linked to nutrient inputs from the Mississippi River. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 155, 435-454.
- Lohrenz, S.E., G.L. Fahnenstiel, D.G. Redalje, G.A. Lang, M.J. Dagg, T.E. Whitledge y Q. Dortch 1999. Nutrients, irradiance and mixing as factors regulating primary production in coastal waters impacted by the Mississippi River plume. *Continental Shelf Res.*, 19, 1113-1142.
- Lopez Veneroni, D.G., 1998. The dynamics of dissolved and particulate nitrogen in the northwest Gulf of Mexico. Ph.D. thesis, Texas A&M University, College Station, 256 pp.
- Maldonado-Monroy, M.C., M. Uribe-Alcocer, J. Arreguín-Espinosa y A. Castro-Pérez 1985. Karyotypal studies on *Dormitator maculatus* Bloch and *Gobiomorus dormitor*

- Lacépède (Gobiidae: Perciformes) *Cytologia* 50:663-669.
- Marshall, N.B. 1979. *Developments in deep-sea biology*. Blanford Press. 566 pp.
- McEachran, J.D. y J.D. Fechhelm. 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico*. Vol. 1 Austin, University of Texas Press. 1,112 pp.
- McLellan, H.J. y Nowlin, W.D. 1963. Some features of the deep water of the Gulf of Mexico. *J. Mar. Res.* 21:233-246.
- Morse, J.W. y G.T. Rowe 1999. Benthic biogeochemistry beneath the Mississippi River plume. *Estuaries*, 22, 206-214.
- Moore, D.R. y H.R. Bullis 1960. A deep-water coral reef in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science of the Gulf and Caribbean* 10:125-128.
- Mortensen, P.B., Hovland, M., Brattegard, T. y R. Farestveit 1995. Deep water bioherms of the Scleractinian coral *Lophelia pertusa* (L.) at 640N on the Norwegian shelf: Structure and associated megafauna. *Sarsia* 80:145-158.
- Müller-Kärger, F.E., Walsh, J.J., Evans, R.H. y Meyers, M.B. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *J. Geophys. Res.* 96 C7:12645-12665.
- Murray, S.P., E. Jarosz y E.T. Weeks 1998. Physical oceanographic observations of the coastal plume. Pp. 5-105. En: Murray, S.P. (ed.) 1998. *An Observational Study of the Mississippi-Atchafalaya Coastal Plume: Final Report*. OCS Study MMS 98-0040. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Mgmt Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. 513 pp.
- 1998. Physical oceanographic observations of the coastal plume. Pp. 5-105. En: Murray, S.P. (ed.) 1998. *An Observational Study of the Mississippi-Atchafalaya Coastal Plume: Final Report*. OCS Study MMS 98-0040. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Mgmt Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA. 513 pp.
- Nelson, D.M. y Q. Dortch 1996. Silicic acid depletion and silicon limitation in the plume of the Mississippi River: evidence from kinetic studies in spring and summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 136, 163-178.
- Pequegnat W. 1971. Gulf of Mexico deep sea fauna. pp. 1-12. En: Webster, W. (Ed.) *Serial Atlas of the Marine Environment*. Amer. Geophys. Soc. NY.
- 1983. *The ecological communities of the continental slope and adjacent regimes of the Northern Gulf of Mexico*. US Department of the Interior. Mineral Management Service. Ter Eco Corporation, College Station, Texas.
- Pequegnat, W.E., B.J. Gallaway y L.H. Pequegnat 1990. *Aspects of the ecology of the deep water fauna of the Gulf of Mexico*.
- Powell, S. M. 2001. Analysis of the fish fauna of the deep northern Gulf of Mexico. M. Sc. Thesis Memorial University. 54 pp.
- Qureshi, N.A. 1995. The role of fecal pellets in the flux of carbon to the sea floor on a river-influenced continental shelf subject to hypoxia. Ph.D. thesis, Louisiana State

- University, Baton Rouge, 255 pp.
- Rabalais, N.N., R.S. Carney y E.G. Escobar-Briones 1999. Overview of continental shelf benthic communities of the Gulf of Mexico. En: H. Kumpf, K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science. Capítulo 10: 171-195.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner y D. Scavia 2002. Beyond science into policy: Gulf of Mexico hypoxia and the Mississippi River. *Bioscience* 52, 129-142.
- Rabalais, N.N., R.E. Turner, D. Justic, Q. Dortch y W.J. Wiseman 1999. Characterization of Hypoxia: Topic 1 Report for the Integrated Assessment on Hypoxia in the Gulf of Mexico. NOAA Coastal Ocean Program Decision Analysis Series No. 15. NOAA Coastal Ocean Program, Silver Spring, MD. 167 pp.
- Redalje D.G., S.E. Lohrenz y G.L. Fahnenstiel 1994. The relationship between primary production and the vertical export of particulate organic matter in a river-impacted coastal ecosystem. *Estuaries*, 17, 829-838.
- Reguero, M. y A. García Cubas 1993. Moluscos del complejo lagunar Larga-Redonda-Mandinga, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *Hidrobiológica* (1/2):41-70.
- 1993. Estado actual de la investigación sobre diversidad de moluscos en México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* XLIV:191-207.
- Rodríguez, F., A. Laguarda y A. García-Cubas 1983. The karyotype of *Isognomon alatus*. *Can. J. Gen. Cytol.* 25(2):85-87.
- Rogers, P. y A. García Cubas 1981. Evolución gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) del sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom, Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar. y Limnol.* UNAM, 8(1):21-42.
- Román-Contreras, R. y L.A. Soto 2002. A new deep-water genus and species of a branchial bopyrid infesting the galatheid crab *Munidopsis erinaceus* from the southwestern Gulf of Mexico. *J. Crust. Biol.* 22(2):279-286.
- Rowe, G. 2000. Seasonal hypoxia in the bottom water off the Mississippi River delta. *Jour. Env. Qual.* 30, 281-290.
- Rowe, G.T., Polloni, P.T. y Horner, S.G. 1974. Benthic biomass estimates from the northwestern Atlantic ocean and the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Res.* 21:642-650.
- Rowe, G.T. y M.C. Kennicutt II 2000. Deepwater Program: Northern Gulf of Mexico continental slope habitat and benthic ecology. Year 1 Interim Report. OCS Study MMMS.
- Schroeder, W.W. 2001. Video documentation of the geology and distribution of *Lophelia* prolifera at a deep water reef site in the Northeastern Gulf of Mexico. En: Willison, J.H.M. et al. (eds.) *Proceedings of the First International Symposium on Deep Sea Corals*. Ecology Action Centre: 224-225.
- 2002. Observations of *Lophelia pertusa* and the surficial geology at a deep-water site in the northeastern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia* 471-29-33.

- Sklar, F.H. y R.E. Turner. 1981. Characteristics of phytoplankton production off Barataria Bay in an area influenced by the Mississippi River. *Contr. In Mar. Science*, 24, 93-106.
- Solís-Marín, F. A., M.D. Herrero-Perezrul, A. Laguarda-Figueras y J. Torres-Vega 1993. Asteroideos y Equinoideos de México (Echinodermata) pp. 91-105. En: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (eds.) *Biodiversidad marina y costera de México*. CONABIO CIQRO, México. 865 pp.
- Solís-Weiss, V., A. Granados Barba, L. V. Rodríguez Villanueva, L. A. Miranda Vázquez, V. Ochoa Rivera y P. Hernández Alcántara, P. 1995. The Lumbrineridae of the continental shelf in the Mexican portion of the Gulf of Mexico. *Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst.* 92: 61-75.
- Soto, L.A. y A. Gracia G. 1987. Evaluación de los efectos de hidrocarburos fósiles sobre las poblaciones de camarones perdidos en el Banco de Campeche. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 14(2):133-146.
- Tovar-Hernández, M.A., A. Granados-Barba y V. Solís-Weiss 2002. *Typosyllis papillosus*, a new species (Annelida: Polychaeta: Syllidae) from the southwest Gulf of Mexico. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 115(4):760-768.
- Turner, R.E. y R.L. Allen 1982. Plankton respiration rates in the bottom waters of the Mississippi River delta bight. *Contr. Mar. Sci.*, 25, 173-179.
- Turner, R.E. y N.N. Rabalais 1991. Changes in Mississippi River water quality this century. Implications for coastal food webs. *BioScience*, 41, 140-148.
- Uribe-Alcocer, M. y A. Ramírez-Escamilla. 1989. Comparación citogenética entre las especies del género *Dormitator* (Pises: Gobiidae). *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 16(1): 75-80.
- Uribe-Alcocer, M., R. Montes-Pérez y P. Díaz-Jaimes 1994. Chromosome complement of *Eleotris pisonis* (Gobiidae; Perciformes) from Mexico: a new case of heteromorphic sex chromosomes in fish. *Cytobios* 77:183-187.
- Uribe-Alcocer, M. y P. Díaz-Jaimes 2000. Fish chromosomes as biomarkers of genotoxic damage and proposal for the use of tropical catfish species for short-term screening of genotoxic agents. Pp. 361-390. En: Butterworth *et al.* (eds.) *Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change*. Kluwer.
- Wilson-Finelli, A. y R.T. Powell, 2001. Nutrient cycling in the Mississippi River plume. *ASLO 2001 Conference Abstracts book*, p.151.
- Wiseman, W.J., V.J. Bierman, N.N. Rabalais y R.E. Turner 1992. Physical structure of the Louisiana shelf hypoxic region. *Proceedings, Nutrient Enhanced Coastal Ocean Productivity Workshop*, Publ TAMU-SG-92-109, Texas Sea Grant College Program, Texas A&M University, College Station, Texas, pp. 21-26.

BIOLOGÍA, EXPLOTACIÓN Y GESTIÓN DE LOS MEROS (*SERRANIDAE*, *EPINEPHELINAE*, *EPINEPHELINI*) Y PARGOS (*LUTJANIDAE*, *LUTJANINAE*, *LUTJANUS*) DEL GOLFO DE MÉXICO

*Thierry Brulé, Teresa Colás-Marrufo, Esperanza Pérez-Díaz y
Christian Déníel*

INTRODUCCIÓN

Los meros y pargos son peces de arrecife de gran importancia comercial y recreativa a lo largo de la costa sureste de los Estados Unidos de América, de México, en las Bermudas, en el Golfo de México y en el mar Caribe (Sadovy 1994). La familia de los Serranidae incluye 449 especies repartidas en 62 géneros y tres subfamilias (Serraninae, Anthiinae y Epinephelinae) (Nelson 1994). En la subfamilia Epinephelinae se distinguen cinco tribus, de las cuales la tribu Epinephelini agrupa a todas las especies conocidas bajo el término general de meros (*Groupers*). Esta tribu se compone de 164 especies clasificadas en 14 géneros (Nelson 1994). En el Atlántico oeste, a lo largo de las costas del continente americano, se distribuyen 25 especies de mero que pertenecen a los siete géneros siguientes: *Alphistes*, *Cephalopholis*, *Dermatolepis*, *Epinephelus*, *Gonioplectrus*, *Mycteroperca* y *Paranthias* (Heemstra y Randall 1993). La familia de los Lutjanidae, cuyos representantes son comúnmente conocidos como Pargos (*Snappers*), comprende a cuatro subfamilias (Lutjaninae, Paradicichthynae, Etelinae y Apsilinae), las cuales incluyen a 17 géneros y 103 especies (Allen 1985). La costa Atlántica de América ocupa el segundo lugar mundial por su abundancia en géneros (7) y especies (19) de Lutjanidae (Druzhini 1970).

El Golfo de México constituye uno de los 49 grandes ecosistemas marinos (GEM) (Large Marine Ecosystems, LME) mundiales. Estos GEM correspon-

den a áreas que son propensas a sufrir tensiones crecientes debido al incremento de la explotación de los recursos naturales renovables, a los daños ocasionados a las zonas costeras, a la pérdida de hábitat y a la contaminación (Sherman 1994). El Golfo de México se caracteriza por su amplia plataforma continental, la cual representa 30% de la superficie total de esta región y se extiende hasta alcanzar 220 km de ancho en frente de la costa de Luisiana y 290 km en frente de las costas suroeste de Florida y norte de la Península de Yucatán (Rabalais *et al.* 1999). Estas grandes extensiones de plataforma continental ubicadas tanto en el norte como en el sur del Golfo representan las principales zonas de explotación comercial de meros y pargos (Stevenson 1981).

Meros y pargos tienen en común ciertas características biológicas que los hacen particularmente vulnerables frente a la explotación humana (Manooch 1987, Ralston 1987). Carencias significativas en el conocimiento de la biología de las especies, de las características de los *stocks* aprovechados y de los niveles de explotación aplicados impiden la elección de la estrategia de manejo más adecuada para estos recursos (Sadovy 1994). El presente trabajo tiene como objetivo sintetizar la información disponible sobre la biología de las especies de mero y pargo del Golfo de México así como analizar los aspectos más relevantes de su explotación y gestión en esta región.

LAS ESPECIES

En el Golfo de México se distribuyen un total de 23 especies de mero que pertenecen a los siete géneros de *Epinephelini* observados en el Atlántico oeste (Smith 1961, 1971, 1997, Bullock y Smith 1991, Heemstra y Randall 1993, Hoese y Moore 1998). El género de mayor importancia en cuanto al número de especies presentes es *Epinephelus* (10) seguido por los géneros *Mycteroperca* (7), *Cephalopholis* (2) y *Alphestes*, *Dermatolepis*, *Gonioplectrus* y *Paranthias* (una especie cada uno) (cuadro 1).

Once especies de pargo que pertenecen al género *Lutjanus*, incluido en la subfamilia Lutjaninae, se distribuyen en el Golfo de México (Druzhini 1970, Allen 1985, 1987, Smith 1997, Hoese y Moore 1998) (cuadro 1).

DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT

Salvo algunas excepciones, los meros y pargos son peces marinos confinados a las zonas tropicales y subtropicales de los océanos (Allen 1985, Heemstra y Randall 1993). A nivel mundial, su distribución geográfica coincide general-

CUADRO 1. MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO: DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT DE LAS ESPECIES

ESPECIE ¹	AUTOR	NOMBRES COMUNES ²	DISTRIBUCIÓN		HÁBITAT ⁵
			GEOGRÁFICA ³	BATIMÉTRICA (m) ⁴	
Serranidae (N=23)					
<i>Alphestes afer</i>	Bloch 1793	Guaseta	Mutton hamlet	E (SF)	Ac; PM
<i>Cephalopholis cruentata</i> ^{EE}	Lacépède 1802	Cherna enjambe	Graysby	T	Ac; PM
<i>C. fulva</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Cherna cabrilla	Coney	T	Ac; C
<i>Dermatolepis inermis</i> ^{EA}	Valenciennes 1833	Mero marmol	Marbled grouper	T	—
<i>Epinephelus adscensionis</i> ^{EE}	Osbeck 1765	Mero cabrilla	Rock hind	T	Ac; Ar
<i>E. drummondhayi</i> ^{EE, EA}	Goode & Bean 1879	Mero pintaroja	Speckled hind	N, E y S (PY)	Fr
<i>E. flavolimbatus</i> ^{EE, EA}	Poey 1865	Mero aleta amarilla	Yellowedge grouper	T	Fr; Fa; Fl
<i>E. guttatus</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Mero colorado	Red hind	T	Ac; Fr
<i>E. itajara</i> ^{EE, EA}	Lichtenstein 1822	Mero guasa	Jewfish	T	Ac; M y E (j)
<i>E. morio</i> ^{EE}	Valenciennes 1828	Mero americano	Red grouper	T	Ar; Fd; Fa; Fl; PM (j)
<i>E. mystacinus</i> ^{EE}	Poey 1852	Mero listado	Misty grouper	T	Fd; Fa
<i>E. nigrilus</i> ^{EE, EA}	Holbrook 1855	Mero negro	Warsaw grouper	N, E y S (PY)	Fr
<i>E. niveatus</i> ^{EE, EA}	Valenciennes 1828	Cherna pintada	Snowy grouper	T	Fr
<i>E. striatus</i> ^{EE, EA}	Bloch 1792	Cherna criolla	Nassau grouper	E (F) y S (PY)	Ac; Fd; PM (j)
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	Cuvier 1828	Bandera español	Spanish flag	T	Fr
<i>Mycteroperca acutirostris</i>	Valenciennes 1828	Cuna negra	Comb grouper	N y O	Fr; PM, M y Ac (j)
<i>M. bonaci</i> ^{EE, EA}	Poey 1860	Cuna bonaci	Black grouper	N, E y S	Ac; Fr
<i>M. interstitialis</i> ^{EE, EA}	Poey 1860	Cuna amarilla	Yellowmouth	E, O y S (PY)	Ac; Fr

(Continúa)

CUADRO 1. MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO: DISTRIBUCIÓN Y HÁBITAT DE LAS ESPECIES

ESPECIE ¹	AUTOR	NOMBRES COMUNES ²	DISTRIBUCIÓN		HÁBITAT ⁵
			GEOGRÁFICA ³	BATIMÉTRICA (m) ⁴	
<i>M. microlepis</i> ^{EE, EA}	Goode & Bean 1880	Cuna aguají	T	40-100	Fr; PM y E (j)
<i>M. phenax</i> ^{EE, EA}	Jordan & Swain 1885	Cuna garopa	T	70-100	Fr; Ac
<i>M. tigris</i> ^{EE}	Valenciennes 1833	Cuna gata	E (SF), O y S	10-40	Ac; Fr
<i>M. venenosa</i> ^{EE}	Linnaeus 1758	Cuna de piedra	E (SF) y S (PY)	2-137	Ac; Ar; Fl; PM (j)
<i>Paranthias furcifer</i>	Valenciennes 1828	Cuna lucero	T	6-64	Ac; Fd

(1): EE-especie explotada comercialmente vía la pesca. EA-especie amenazada. (2): según FAO. (3): E-este del Golfo; F-Florida; N-norte del Golfo; O-oeste del Golfo; PY-Península de Yucatán; S-sur del Golfo; SF-sur de Florida; T-todo el Golfo. (4): AS-aguas someras. (5): Ac-arrecife de coral; Ap-arreci profundo; Ar-arrecife rocoso; C-cantil; E-estuario; Fa-fondo arenoso; Fd-fondo duro; Fl-fondo lodoso; Fr-fondo rocoso; j-juvenil, M-manglar; PM-past marino; TPc,i-talud plataforma continental y insular
Fuentes: Smith, 1961, 1971; 1997; Druzhini, 1970; Fischer, 1978; Allen, 1985, 1987; Bannerot *et al.*, 1987; Bullock y Smith, 1991; Heemstra y Randall, 1993; Colás-Marrufo *et al.*, 1998; Hoese y Moore, 1998; IUCN, 2002; Musík *et al.*,2000).

mente con la de los arrecifes de tipo coralino (Smith 1961, Druzhini 1970). Los límites septentrional y meridional de distribución de los meros y pargos observados en el Golfo de México son, las costas de Massachusetts, de Carolina del Norte y del Sur o de Florida en Estados Unidos y las costas de Venezuela o de Brasil, respectivamente (Smith 1961, 1971, 1997, Fischer 1978, Allen 1985, Bullock y Smith 1991, Heemstra y Randall 1993, Hoese y Moore 1998). Solamente cuatro especies de mero del Golfo se distribuyen fuera del Atlántico oeste. *E. adscensionis* es reportado también en el Atlántico este (islas Asunción y Sta. Helena); *E. itajara* en el Atlántico este (Senegal, Congo y islas Canarias) y Pacífico este (del Golfo de California hasta las costas de Perú); *E. mystacinus* en el Pacífico este (islas Galápagos) y *P. furcifer* en el Atlántico este (isla Asunción y Golfo de Guinea) (Heemstra y Randall 1993).

Con excepción de *Alphistes afer* y de *Lutjanus ambiguus*, observados únicamente en la punta sur de Florida y de *Mycteroperca acutirostris*, presente exclusivamente en la parte noroeste del Golfo, todas las demás especies identificadas (21 meros y 10 pargos) se distribuyen a lo largo de toda la costa del Golfo de México, desde los Cayos de Florida en Estados Unidos, hasta Cabo Catoche ubicado en el extremo oriental de la Península de Yucatán en México (cuadro 1).

Los meros y pargos son peces demersales, generalmente asociados con fondos duros de tipo coralino o rocoso (cuadro 1). Sin embargo, algunos meros, como *E. flavolimbatus*, pueden encontrarse también sobre fondos arenosos o fangosos (Jones *et al.* 1989) y algunos pargos como *L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus* y *L. griseus* pueden vivir en pantanos costeros de mangle (Druzhini 1970). La mayoría de las especies viven a menos de 100 m de profundidad, mientras algunas se distribuyen hasta 200 m ó 400-500 m (*E. nigrilus*; *E. niveatus*; *L. synagris*). Los juveniles de muchas especies de mero se distribuyen en aguas litorales someras (Rivas 1979, Thompson y Munro 1978, 1983). Juveniles de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* fueron observados sobre fondos rocosos o en pastos marinos (Longley y Hildebrand 1941, Moe 1969, Smith 1971, Renán *et al.* 2003) y los de *E. itajara* en áreas pantanosas con manglares (Bullock y Smith, 1991, Bullock *et al.* 1992). En la parte norte del Golfo de México, los juveniles de *M. microlepis* se distribuyen en estuarios, sobre pastos marinos de *Zostera marina* o *Halodule wrightii*, o bien sobre bancos de ostiones (Schirripa y Goodyear 1994). A menudo, los pargos juveniles se encuentran también en aguas someras costeras, sobre fondos arenosos o lodosos (*L. campechanus*), en áreas de manglares (*L. cyanopterus*) y en estuarios e inclusive río abajo de ciertos

arroyos (*L. jocu* y *L. griseus*).

BIOLOGÍA

REPRODUCCIÓN

A la fecha, no se tiene información sobre la biología de la reproducción de todas las especies de mero y pargo. En particular ningún dato sobre este tema está disponible para las poblaciones del Golfo de *A. afer*, *D. inermis*, *C. fulva*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris* y *M. tigris* (39% de los meros presentes) así como de *L. ambiguus*, *L. analis*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. jocu*, *L. mahogoni*, *L. synagris* y *L. vivanus* (82% de los pargos presentes) (cuadro 2).

SEXUALIDAD

Varias especies de mero presentan un hermafroditismo protógino mientras que el gonocorismo parece ser el patrón de sexualidad común en todas las especies de pargo (Grimes 1987, Shapiro 1987, Sadovy 1996). Tomando en cuenta los criterios definidos por Sadovy y Shapiro (1987) para caracterizar el hermafroditismo en los peces, once de las especies de mero del Golfo presentan sin ambigüedad un hermafroditismo protógino y una (*E. striatus*) es considerada gonócrica con potencialidad para desarrollar un hermafroditismo protógino (Sadovy y Colin 1995). Los datos disponibles sobre la sexualidad de los pargos son más escasos. Basándose en estudios histológicos de sus gónadas, *L. campechanus*, *L. griseus* y *L. synagris* fueron confirmados como especies gonocóricas (cuadro 2).

DIMORFISMO SEXUAL

En general las especies de las familias Serranidae y Lutjanidae no presentan un dimorfismo sexual externo notorio. Es el caso de los pargos del Atlántico oeste no se observó ninguna característica morfológica o patrón de coloración relacionado con el sexo (Thresher 1984, Grimes 1987). Sin embargo, para algunas especies de mero se han reportado diferencias de pigmentación en el cuerpo (*M. microlepis*) o en las aletas (*M. bonaci*) según el sexo de los individuos (Gilmore y Jones 1992, Collins *et al.* 1997, Crabtree y Bullock 1998, Brulé *et al.* 2003). Además, se observaron diferentes patrones de coloración para machos y hembras de *E. guttatus*, *E.*

striatus y *M. tigris* durante sus periodos de reproducción, en particular durante las fases de cortejo y desove (Colin *et al.* 1987, Bullock y Smith 1991, Colin 1992, Shapiro *et al.* 1993, Sadovy *et al.* 1994).

TALLA DE PRIMERA MADUREZ SEXUAL

Como muchos otros peces de arrecifes, los meros y pargos presentan una madurez sexual tardía (Coleman *et al.* 2000). Por lo general, las especies alcanzan su primera madurez sexual en tallas que oscilan entre 33 y 74% (meros) y entre 23 y 84% (pargos) de la longitud máxima reportada para cada especie (Grimes 1987, Sadovy 1996).

Las poblaciones de mero y pargo del Golfo de México alcanzan su primera madurez sexual a tallas que oscilan, respectivamente, entre 33-80% y 23-85% de las longitudes máximas observadas para cada una de las especies estudiadas (cuadro 2). En el caso de los peces que presentan un hermafroditismo protógino, esta talla mínima de primera madurez sexual concierne únicamente a las hembras. Así, para las poblaciones de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* del Banco de Campeche, las hembras alcanzan por primera vez su madurez sexual a una longitud correspondiente al 46%, 47% y 64% de sus tallas máximas respectivas (Brulé *et al.* 1999, 2003, en prensa a). En cuanto a los machos, estos alcanzan su madurez sexual a la talla a la cual sucede el proceso de inversión sexual en las hembras. Shapiro (1987) observó que la inversión sexual en los meros ocurre generalmente en individuos cuyas tallas se distribuyen entre el 33 y 100% de la talla máxima observada por cada especie. Por ejemplo, la inversión sexual en las poblaciones de *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis* del Banco de Campeche puede ocurrir en organismos cuyas tallas oscilan en un rango de longitudes que corresponde, respectivamente, al 52%, 29% y 14% de las tallas máximas reportadas para cada una de estas especies. Según Shapiro (1987) el análisis de estos datos deja suponer que la talla (o edad) de los meros no constituye un factor determinante para el cambio de sexo de los organismos, el cual sería más bien controlado por factores sociales intrínsecos a las poblaciones.

PERIODO DE REPRODUCCIÓN

Según Sadovy (1996) los meros presentan periodos de reproducción de duración restringida mientras que los pargos se caracterizan por desovar durante periodos más extensos.

En el Golfo de México, la mayoría de los meros estudiados presentan

CUADRO 2. SEXUALIDAD (S); PRIMERA MADUREZ SEXUAL, PERIODO DE REPRODUCCIÓN, FECUNDIDAD ABSOLUTA Y AGREGACIÓN DE DESOVE DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	S ¹	Madurez sexual ²			PERIODO DE REPRODUCCIÓN	
		L _{min}	L _{máx}	L _{min} /L _{máx}	MES ³	REGIÓN ⁴
		(mm)	(mm)	(%)		
Serranidae						
<i>Alphestes afer</i>	—	—	—	—	Dic	J
<i>Cephalopholis cruentata</i>	Hp	165	305 Le	54	Jul-Ago	Ge
<i>C. fulva</i>	Hp	145	275 Lf	53	[Dic-Feb]	PR
<i>Epinephelus adscensionis</i>	—	275	375 Le	73	Ene-Jun	Ge
<i>E. drummondhayi</i>	Hp	560	770 Lt	73	[Abr]	Gs
<i>E. flavolimbatus</i>	Hp	(569)	1065 Lt	—	Ene-Oct [May-Sep]	Ge
<i>E. guttatus</i>	Hp	305	381 Le	80	Abr, Jun-Ago	Ge
<i>E. itajara</i>	Hp?	1250	2065 Lt	61	Jun-Oct [Jul-Sep]	Ge
<i>E. morio</i>	Hp	260	790 Le	33	Dic-Jun [Abr-May]	Ge
		389	854 Lf	46	Sep-Abr [Ene-Mar]	Gs
		381	980 Lt	39	Feb-Jun [Mar-May]	Ge
<i>E. mystacinus</i>	—	—	—	—	Nov, Ago	J
<i>E. niveatus</i>	Hp?	379	1000 Lt	38	Abr-Jul	Ge
<i>E. striatus</i>	G/Hp	425	730 Le	58	Dic-Feb	B
<i>M. bonaci</i>	Hp	508	1310 Lt	39	Ene-Dic [Dic-Mar]	Ge
		580	1235 Lf	47	Ene-Dic [Ene-Feb]	Gs
<i>M. interstitialis</i>	Hp	420	747 Lt	56	Ene-Dic [Abr-May]	Ge
<i>M. microlepis</i>	Hp	450	1128 Lt	40	Nov, Ene-Jul [Mar]	Ge
		490	1100 Lt	45	Feb-Abr [Mar]	Ge
		400	1150 Le	35	Feb-Abr [Mar]	Ge
		705	1100 Lf	64	Oct-Abr [Ene-Mar]	Gs
		350	— Le	—	Mar-May	Ge
<i>M. phenax</i>	Hp	313	875 Lt	36	Feb-Jul [Mar-May]	An
<i>M. tigris</i>	Hp?	320	480 Lt	67	Ene-Abr	PR
<i>M. venenosa</i>	Hp	—	—	—	Mar, May-Ago	Ge
		582	850 Lt	69	Ene-Jun	C
<i>Paranthias furcifer</i>	Hp?	—	—	—	May-Sep	Ge

En caso de ausencia de datos para el Golfo, se proporcionan algunos resultados disponibles para las regiones del Atlántico norte o del Caribe. 1: Hp-hermafroditismo protogino; G-gonocorismo. 2: L_{min} - talla mínima de primera madurez sexual; L_{máx} -talla máxima alcanzada por los organismos; Le-longitud estándar; Lf-longitud furcal; Lt-longitud total. 3: meses durante los cuales las hembras presentan ovocitos vitelógenos en sus ovarios; []-meses durante los cuales se observaron las más altas

FECUNDIDAD ⁵		AGREGACIÓN DE DESOVE		REFERENCIA
NO. DE OVOCITOS (MILLÓN)	REGIÓN ⁴	SITIO ⁴	TIPO ⁶	
0.158-0.224	J	—	—	54
0.263	J	—	—	9, 40, 44, 51
0.067-0.282	J	—	—	44, 51, 54
0.761	Ge	PR	T, LL	9, 22, 31
—	—	—	—	4
—	—	—	—	11
0.097-0.526	J	MC	T, LL, DP	22, 31, 48, 49, 51, 54
38.9-56.6 ^{FL}	Ge	Ge	T, LL	9, 10, 22
0.448-5.736	Ge	—	—	3, 20, 37, 55
0.024-2.322 ^{FL}	Ge	—	—	—
—	—	—	—	54
—	—	—	—	9, 31, 38
0.350-6.500	B	MC	T, LL, DG	1, 14, 22, 45, 47
0.504	?	Ge	T?, LL?	5, 21, 22, 24, 25, 51, 52
0.351-2.459 ^{FL}	Ge	—	—	8, 9
0.656-1.46	Ge	Ge	T, DP?	6, 18, 22, 32, 33, 36
0.011-0.865 ^{FL}	Gne	—	—	—
0.250-3.2 ^{FL}	An	Ge	T	9, 22, 30
—	—	H, PR	T, LL, DP	12, 22, 26, 46, 51
1.995-2.875 ^{FL}	Ge	MC	T, LL	9, 22, 25
0.177-0.640 ^{FL}	Ge	—	—	9

frecuencias de hembras con ovocitos vitelógenos o hialinos y/o foliculos postovulatorios en sus ovarios (pico de desove). 4: An-Atlántico norte; B-Belice; C-Cuba; Ge-Este del Golfo; Gne-Noreste del Golfo; Gno-Noroeste del Golfo; Gs-Sur del Golfo; H-Honduras; IV-Islas Vírgenes; J-Jamaica; MC-Mar Caribe; PR-Puerto Rico; Tr-Trinidad. 5: FL-fecundidad por lote (*batch fecundity*). 6: DG-desove en grupo; DP-desove en pareja; LL-luna llena; LN-luna nueva; T-transitoria. (Continúa)

(1): P-pelágico; entre paréntesis se indica la salinidad a la cual los huevos flotan. (2): Oh-mediciones realizadas sobre ovocitos hialinos no fecundados. (3) No-Número. (4): hdf-horas después de la fecundación. (5): Temp-temperatura. (6): Long-longitud; Le-longitud estándar; Ln-longitud notocordal; Ln/e- longitud notocordal o estándar; Lt: longitud total; entre paréntesis se indican el número de larvas analizadas. (7): dde-días después de la eclosión. (8): L-resultados obtenidos en laboratorio.

periodos de reproducción que no se prolongan durante más de 8 meses al año, salvo en los casos de las poblaciones de *E. flavolimbatus*, *M. bonaci* y *M. interstitialis* para las cuales se observan hembras sexualmente activas (ovarios con presencia de ovocitos vitelogénos) hasta durante 10 ó 12 meses en el año (cuadro 2). Sin embargo, para todas las especies estudiadas en esta región, los picos de desove (meses durante los cuales se observaron las más altas frecuencias de hembras con ovocitos vitelogénos o hialinos y/o folículos postovulatorios en sus ovarios) ocurren durante un lapso de tiempo que no rebasa un máximo de cinco meses por año. Para *L. campechanus* y *L. griseus*, únicas especies de pargo cuya reproducción fue estudiada en el Golfo, se observaron hembras activas durante cuatro y hasta 12 meses en el año, así como picos de desove que ocurrieron durante un periodo que fluctuó entre dos y seis meses en el transcurso del año (cuadro 2).

En el Golfo, los meros se reproducen durante el invierno-inicio de la primavera (*E. adscencionis*, *E. morio*, *M. bonaci* y *M. microlepis*), durante la primavera-inicio del verano (*E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *E. guttatus*, *E. niveatus*, *M. interstitialis*, *M. phenax*, *M. venenosa* y *P. furcifer*) o durante el verano (*Cephalopholis cruentata* y *E. itajara*). En cuanto a los pargos del Golfo, la reproducción ocurre durante la primavera y el verano en el caso de *L. griseus* o durante la primavera y el otoño para *L. campechanus* (cuadro 2). Según su distribución espacial en el Golfo, las poblaciones de una misma especie pueden presentar periodos de reproducción desfasados en el tiempo. Así por un lado, *E. morio* y *M. microlepis* se reproducen más temprano en el año en la región sur del Golfo (enero-marzo) que en la región este (marzo-mayo) (Moe 1969, Hood y Schlieder 1992, Collins *et al.* 1997, Koenig *et al.* 1996; Brulé *et al.* 1999, en prensa a; Collins *et al.* 2002). Por otro lado, el pargo *L. campechanus* presenta dos picos de desove en el sur del Golfo (uno en primavera y otro en verano-inicio de otoño) y uno único en la región este (verano-inicio de otoño) (Futch y Bruger 1976, Brulé *et al.* en prensa b).

FECUNDIDAD

La fecundidad constituye un parámetro esencial en la estimación del potencial reproductor de una especie y en la evaluación de los *stocks* explotados. Los meros y pargos se caracterizan por su capacidad para producir un número elevado de ovocitos: hasta varios millones por hembra y por año (Grimes 1987, Shapiro 1987, Sadovy 1996).

Los valores de fecundidad obtenidos para las especies del Golfo resultan muy variables. Fluctúan entre 11,000 (*M. microlepis*; 740 mm Lt) y 65.6×10^6 (*E. itajara*; 1,397 mm Le) ovocitos para los meros, y entre 13 (*L. campechanus*; 417 mm Lt) y 8.5×10^6 (*L. jocu*) ovocitos para los pargos (Bullock y Smith, 1991, Collins *et al.* 1997, 2001; Garcia-Cagide *et al.* 2001) (cuadro 2). Estas fluctuaciones pueden ser causadas por las variaciones naturales de fecundidad observadas generalmente en los peces tanto a nivel interespecífico como intraespecífico (fluctuaciones relacionadas con la talla de los organismos y/o al año de estudio). Pero la falta en el uso de un método estandarizado para la estimación de dicho parámetro dificulta la realización de un estudio comparativo entre los diferentes estudios citados. Sin embargo, basándose en la estimación de la fecundidad por lote y utilizando el método de conteo de ovocitos hialinos y de folículos postovulatorios, algunos autores calcularon la frecuencia de desove promedio de las hembras de *E. morio* (26 por año), de *M. microlepis* (8-27); de *M. phenax* (42) y de *L. campechanus* (21-35) y así alcanzaron a estimar la fecundidad anual potencial de cada una de estas especies: entre 613,000 y 17×10^6 para *E. morio*; entre 65,000 y 61.4×10^6 para *M. microlepis* (700-1,065 mm Lt); entre 1.3×10^6 y 10.5×10^6 para *M. phenax* (445-712 mm Lt) y entre 12,000 y 59.7×10^6 para *L. campechanus* (349-820 mm Lt) (Collins *et al.* 1996, 1997, 2002, Harris *et al.* 2002).

AGREGACIÓN DE DESOVE

Durante el periodo de reproducción, los meros y pargos liberan sus gametos en el lugar de residencia habitual de los adultos o bien en áreas de desove específicas después de haber efectuado una migración. Generalmente las especies de mayor tamaño son las que realizan las migraciones de reproducción más largas y que forman agregaciones de desove compuestas a veces de centenares o millares de individuos, durante varios días, en sitios geográfi-

cos y periodos del año bien determinados (Sadovy 1996).

De las 14 especies de mero estudiadas a la fecha, nueve forman agregaciones de desove en el Atlántico oeste (cuadro 2). En el Golfo de México, algunos sitios de agregación fueron ubicados en la parte este de dicha región para cuatro especies: *E. itajara* en la costa suroeste de Florida; *M. bonaci* en los Cayos de Florida (*Florida Keys National Marine Sanctuary*); *M. microlepis* y *M. phenax* en la costa noroeste de Florida (*Florida middle Ground*). Estas agregaciones son de tipo transitorio; pueden ocurrir durante los días de luna llena (*E. itajara*; *M. bonaci*); se forman durante el invierno para *M. bonaci*, el invierno y la primavera para *M. microlepis* y *M. phenax* o el verano para *E. itajara* y pueden conllevar a la formación de parejas al momento del desove (*M. microlepis*) (Colin 1994, Coleman *et al.* 1996, Domeier y Colin, 1997, Eklund *et al.* 2000). En la parte sur del Golfo, Colás-Marrufo *et al.* (2002) y Tuz-Sulub *et al.* (2003) presentaron los primeros índices sobre la formación de probables agregaciones de desove de *E. guttatus*, *M. bonaci*, *M. tigris* y *M. venenosa* en dos áreas del Banco de Campeche. De los 11 pargos estudiados, siete forman agregaciones de desove en el Golfo de México (cuadro 2). Se observaron sitios de agregación en los Keys de Florida (*Dry Tortugas* y/o *Key West*) para *L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus*, *L. griseus*, *L. jocu* y *L. synagris* así como en la parte norte de Florida para *L. campechanus*. Estas agregaciones son de tipo transitorio (*L. analis*, *L. cyanopterus* y *L. griseus*); pueden ocurrir durante los días de luna llena (*L. analis* y *L. cyanopterus*) o nueva (*L. griseus*); se forman durante la primavera y el verano (*L. analis*, *L. apodus*, *L. cyanopterus* y *L. synagris*) o durante el verano (*L. griseus* y *L. jocu*) y pueden conducir a la realización de desove en grupos (*L. analis* y *L. griseus*) (Domeier *et al.* 1996, Domeier y Colin, 1997, Lindeman *et al.* 2000).

DESARROLLO EMBRIONARIO Y LARVARIO

Los estudios taxonómicos disponibles sobre huevos y larvas de meros y pargos son todavía escasos y generalmente incompletos para la mayoría de las especies analizadas. Todavía no se ha estudiado el desarrollo embrionario y larvario de *E. adscensionis*, *E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *M. acutirostris*, *M. interstitialis*, *M. tigris* y *M. venenosa* (30% de los meros presentes en el Golfo) ni tampoco de *L. ambiguus*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. jocu*, *L. mahogoni* y *L. vivanus* (64% de los pargos presentes). En muchos casos, particularmente en los pargos, los datos sobre este tema se obtuvieron a través de la realización de cultivos experimentales en labora-

torio (cuadro 3).

Huevos

Meros y pargos producen huevos pelágicos que miden entre 0.6 y 1.0 mm de diámetro y presentan una sola gotita de aceite cuyo diámetro fluctúa entre 0.12 y 0.26 mm. Según las especies y la temperatura de incubación aplicada (21-30 °C), el periodo de desarrollo embrionario observado fue más largo en el caso de los meros (23 a 44.5 horas después de la fecundación, hdf) que en el de los pargos (17 a 27 hdf) (cuadro 3).

Larvas

Las larvas de meros y pargos se distinguen unas de otras con base en el análisis de varios caracteres morfológicos como el grado de desarrollo de las espinas de la aleta dorsal, el tamaño y grueso de las endentaduras y espinitas presentes en dichas espinas, la forma de las espinas sobre la cabeza o bien el patrón de pigmentación. En cada familia, la identificación de las larvas es relativamente fácil hasta el nivel de la subfamilia y más complicada para alcanzar el nivel de la especie (Leis 1987). Sin embargo, diversos autores lograron identificar y distinguir a partir de colectas realizadas en el medio natural, a larvas de 10 especies de mero (*A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. itajara*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. niveatus*, *G. hispanus* y *P. furcifer*) y de un pargo (*L. campechanus*) (Collins *et al.* 1979, Johnson y Keener 1984, Kendall 1979, 1984, Kendall y Fahay 1979, Presley 1970). Otros pudieron describir los estadios larvarios de *E. morio*, *E. striatus*, *M. microlepis*; *L. analis*, *L. campechanus*, *L. griseus* y *L. synagris*, obtenidos en laboratorio por medio de propagación artificial, incubación y cultivos larvarios experimentales (Clarke *et al.* 1997, Colin *et al.* 1996, Guitart-Manday y Juárez-Fernández 1966, Powell y Tucker 1992, Rabalais *et al.* 1980, Richards y Saksena 1980, Roberts y Schlieder 1983). La metamorfosis o transformación de las larvas fue obtenida entre 25 y 62 días después de la eclosión (dde) en dos especies de mero (*E. morio* y *E. striatus*) y entre 16 y 38 dde en dos especies de pargo (*L. analis* y *L. synagris*) (cuadro 3).

Se observó que las larvas de meros y pargos son poco abundantes en las muestras de plancton pero que se distribuyen de manera preferencial en zonas de plataformas continentales que en zonas oceánicas (Leis 1987).

EDAD Y CRECIMIENTO

Los meros y pargos son peces longevos que presentan un crecimiento lento y

CUADRO 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HUEVOS Y LARVAS
DE MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	TIPO ⁽¹⁾	DIÁMETRO ² (MM)	HUEVO GOTA DE ACEITE		INCUBACIÓN	
			No. ³	DIÁMETRO (MM)	TIEMPO ⁴ (HDF)	TEMP. ⁵ (°C)
Serranidae	—	—	—	—	—	—
<i>Alphestes afer</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Cephalopholis cruentata</i>	—	—	—	—	—	—
<i>C. fulva</i>	—	—	—	—	—	—
<i>Dermatolepis inermis</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. guttatus</i>	—	0.94	—	—	—	—
	—	0.62 ^{Oh}	1	0.13	—	—
<i>E. itajara</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. morio</i>	—	<1.0	1	—	—	—
	P (32)	0.95	1	—	30	24
	—	0.9 ^{Oh}	1	0.21	—	—
<i>E. mystacinus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. nigritus</i>	—	—	—	—	—	—
<i>E. niveatus</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>E. striatus</i>	P	1.02	1	0.22	40	25
	P (32)	0.92-0.97	1	0.20-0.26	27-29	25
	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>M. bonaci</i>	—	0.8	—	—	—	—
	—	0.87 ^{Oh}	1	0.23	—	—
<i>M. microlepis</i>	P	0.92	1	0.22	44.5	21
	—	—	—	—	—	—
	—	0.9 ^{Oh}	1	0.21	—	—
	—	—	—	—	—	—
<i>M. phenax</i>	—	0.95	—	—	—	—
<i>Paranthias furcifer</i>	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—
	—	0.95	—	—	—	—

LARVA	METAMORFOSIS		REFERENCIA ⁸
	TIEMPO ⁷ (DDE)	LONG. ⁶ (MM)	
10.5-19.5 Le (17)	—	27.0-62.0 Le (8)	11
5.2-20.5 Le (46)	—	—	11
5.5-25.2 Le (7)	—	—	11
6.8-10.5 Le (5)	—	—	11
—	—	—	24
—	—	—	9
6.2-17.4 Le (5)	—	—	11
—	—	20-25 Le	16
2.5-9.6 Le (25)	25-27	12.2-26.2 Le (4)	6 ^L
—	—	—	3
20 Le (1)	—	—	11
9.1 Le (1)	—	—	11
5.5-10.3 Le (16)	—	—	18
—	—	23.5-31.3 Le (7)	11
10.2 Le (1)	—	—	12
2.0-2.8 Lt	—	—	10 ^L
1.8-13.2 Ln/e (33)	—	—	17 ^L
3.6-29.8 Ln	45-62	—	25 ^L
13.4-14 Le (2)	—	—	11
13.4 Le (1)	—	—	13
—	—	—	27 ^L
—	—	—	20
2.1 Lt	—	—	22 ^L
4.0-35.4 Le (28)	—	—	12
—	—	—	4
—	—	—	14
7.6-7.6 Le (3)	—	—	11
8.6 Le (1)	—	—	12
—	—	—	24 ^L

(Continúa)

CUADRO 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HUEVOS Y LARVAS
DE MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	TIPO ⁽¹⁾	DIÁMETRO ² (MM)	HUEVO		INCUBACIÓN	
			GOTA DE ACEITE No. ³	DIÁMETRO (MM)	TIEMPO ⁴ (HDF)	TEMP. ⁵ (°C)
Lutjanidae	—	—	—	—	—	—
<i>L. analis</i>	P	0.73-0.88	1	—	17	27.7
<i>L. campechanus</i>	—	0.8	—	—	—	—
	P	0.77-0.85	1	0.15-0.19	24-27	23-25
	—	—	1	—	20	27
	—	—	—	—	—	—
<i>L. griseus</i>	—	—	1	—	—	—
	P	0.70-0.80	1	0.12-0.18	20	27
					18	28
					17	30
	—	—	—	—	—	—
<i>L. synagris</i>	P	0.65-0.80	1	0.13-0.20	23	26
	—	0.7-0.75	1	—	—	—

(1): P-pelágico; entre paréntesis se indica la salinidad a la cual los huevos flotan. (2): Oh-mediciones realizadas sobre ovocitos hialinos no fecundados. (3) No-Número. (4): hdf-horas después de la fecundación. (5): Temp-temperatura. (6): Long-longitud; Le-longitud estándar; Ln-longitud notocordal; Ln/e- longitud notocordal o estándar; Lt: longitud total; entre paréntesis se indican el número de larvas analizadas. (7): dde-días después de la eclosión. (8): L-resultados obtenidos en laboratorio.

bajas tasas de mortalidad natural. En general, la edad máxima de las especies excede los 10 años y el coeficiente de crecimiento (K) observado para sus poblaciones fluctúa en un intervalo de valores comprendidos entre 0.10 y 0.25 / año (Manooch 1987). En el caso de las poblaciones del Golfo de México no se tiene información alguna sobre el crecimiento de *A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. drummondhayi*, *E. flavolimbatus*, *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris*, *M. tigris* y *M. venenosa* (57% de los meros presentes) ni tampoco de *L. ambiguus*, *L. apodus*, *L. buccanella*, *L. cyanopterus*, *L. griseus*, *L.*

LARVA	METAMORFOSIS		REFERENCIA ⁸
	TIEMPO ⁷ (DDE)	LONG. ⁶ (MM)	
LONG. ⁶ (MM)			
2.2-9.8 Le (37)	16-28	10.2-14.6 Le (8)	5 ^L
2.6-9.7 Ln	30-38	16.2-22.2 Le	26 ^L
—	—	—	1 ^L
2.2-2.6 Le	—	—	19 ^L
—	—	—	15 ^L
4-7.6 Le (18)	—	—	7
—	—	10 Le	23
—	—	—	8 ^L
2.7-9.6 Ln/e (13)	—	—	21 ^L
1.9-2.6	—	—	2 ^L
2.0-9.8 Le (41)	20-22	10.0-12.4 Le (3)	5 ^L

1-Arnold et al., 1978; 2-Borrero et al. in Leis, 1987; 3-Brulé et al., 1999; 4-Brulé, datos no publicados; 5-Clarke et al., 1997; 6-Colin et al, 1996; 7-Collins et al., 1980; 8-Damas et al. in Leis, 1987; 9-Fálfan-Vázquez, 2003; 10-Guitart-Manday y Juárez-Fernández, 1966; 11-Johnson y Keener, 1984; 12-Kendall, 1979; 13-Kendall y Fahay, 1979; 14-Koenig in Tucker, 1998; 15-Minton et al., 1983; 16-Moe, 1969; 17-Powell y Tucker, 1992; 18-Presley, 1970; 19-Rabalais et al., 1980; 20-Renán et al., 2001; 21-Richards y Saksena, 1980; 22-Roberts y Schlieder, 1983; 23-Starck, 1971; 24-Tucker, 1998; 25-Watanabe et al., 1996; 26-Watanabe et al., 1998; 27-White in Tucker, 1998.

jocu, *L. mahogoni* y *L. vivanus* (73% de los pargos presentes) (cuadro 4).

Edad

La determinación de la edad fue llevada a cabo con éxito para la mayoría de las especies presentes en el Golfo (18 meros y 8 pargos); a través de la identificación de marcas de crecimiento anuales en otolitos (en 23 especies), escamas (en 3 especies de pargo), huesos urohiales (en 3 especies) y huesos mesopterigoides (en 1 especie), o bien por medio del análisis de las

progresiones modales de las clases de longitudes (en 4 especies) (cuadro 4). Las edades máximas observadas para estos peces fueron de 41 años en el caso del mero *E. nigrilus* (Manooch y Mason, 1987) y de 47 años en el caso del pargo *L. campechanus* (Allman *et al.* 2002).

Crecimiento

En relación con las poblaciones del Golfo de México el coeficiente de crecimiento (K) fluctó entre 0.08 (*M. interstitialis*) y 0.20 (*E. guttatus*) para los meros y entre 0.07 (*L. campechanus*) y 0.28 (*L. synagris*) para los pargos (cuadro 4). Según Manooch (1987) estos valores indican que las especies alcanzan lentamente su talla máxima y que sus poblaciones presentan bajas tasas de mortalidad natural. Para varias de ellas se calcularon valores de longitud asintótica (L_∞) superiores a un metro de largo: *E. itajara* con 2,006 mm Lt (Bullock *et al.*, 1992), *E. niveatus* con 1,320 mm Lt (Moore y Labisky, 1984), *M. bonaci* con 1,306 mm Lt (Crabtree y Bullock, 1998), *M. microlepis* con 1,180 mm Lt (Hood y Schlieder, 1992) y *L. campechanus* con 1023 mm Lf (Fischer, 2002). Por su parte el peso asintótico (P_∞), calculado utilizando las L_∞ y las ecuaciones longitud-peso ($P = aL^b$) de las especies, alcanzó valores máximos de 166 kg Pt en el caso del mero *E. itajara* (Bullock *et al.* 1992) y de 12 kg Pt en el caso del pargo *L. campechanus* (Fischer 2002).

ALIMENTACIÓN

Los meros y pargos son peces carnívoros oportunos que se caracterizan por presentar una dieta cuya composición es dominada por los peces y crustáceos. Según sus intervalos de distribución batimétrica, estas especies pueden alimentarse desde las zonas de aguas someras hasta fondos ubicados entre 400 y 500 m de profundidad (Randall 1967, Parrish 1987). La mayoría de las especies capturan gran parte de sus presas sobre o muy cerca del sustrato. Los meros se caracterizan por ser más sedentarios que los pargos y por cazar sus presas mediante emboscadas (Parrish 1987). Para las poblaciones del Golfo aún se desconocen los hábitos alimentarios de *A. afer*, *C. cruentata*, *C. fulva*, *D. inermis*, *E. striatus*, *G. hispanus*, *M. acutirostris*, *M. tigris* y *M. venenosa* (39% de los meros presentes) así como de *L. ambiguus*, *L. buccanella* y *L. cyanopterus* (27% de los pargos presentes) (cuadro 5).

Composición de la dieta

El análisis de los contenidos estomacales o intestinales o bien de los residuos de regurgitación permitió observar que tanto los meros como los pargos consumen una gran diversidad de presas entre las que sobresalen los peces, crustáceos (cangrejos, camarones, estomatópodos y langostas) y cefalópodos (cuadro 5). Sin embargo, los pargos presentan globalmente una variedad más alta en la composición de su dieta que los meros. En efecto, los pargos tienen la tendencia a consumir más organismos planctónicos (urocordados pelágicos) e invertebrados bentónicos diferentes a los crustáceos, (ascidiáceos, urocordados, poliquetos, moluscos) que los meros. Algunas especies, como *A. afer*, *E. adscensionis*, *E. guttatus* y *E. morio* consumen más crustáceos (Randall 1967, Parrish 1987, Nelson in Bullock y Smith 1991, Giménez *et al.* 2001) mientras que otras como *M. tigris*, *M. venenosa*, *L. cyanopterus* y *L. jocu* se alimentan más de peces (Randall 1967, Parrish 1987). Entre los meros del Golfo, *P. furcifer* se diferencia de las demás especies por ser el único serránido que se alimenta de organismos planctónicos, en particular de copépodos (Nelson in Bullock y Smith 1991).

Variaciones en la dieta

Para algunas especies se observó una variación de la composición de la dieta en función del desarrollo ontogénico de los organismos. Así, los juveniles de *C. cruentata*, *E. morio*, *E. striatus* y *L. campechanus* consumen más crustáceos mientras que los adultos de aquellas especies comen más peces (Camber 1955, Moseley 1966, Bradley y Bryan 1975, Nagelkerken in Bullock y Smith 1991, Claro *et al.* 1990, Brulé y Rodríguez-Canché 1993, Giménez *et al.* 2001). En relación con el ritmo nictemeral de actividad alimentaria, algunas especies buscan sus alimentos tanto de día como de noche (*E. morio*, *E. striatus*, *L. analis*, *L. apodus* y *L. synagris*) mientras otras son más activas de noche (*L. griseus*, *L. mahogoni* y *L. vivanus*) (Longley e Hildebrand 1941, Randall 1967, Stark 1971, Parrish 1987, Brulé *et al.* 1994).

EXPLOTACIÓN

En el Atlántico oeste, los meros y pargos son explotados comercialmente por pesquerías industriales y artesanales y con fines recreativos a lo largo de

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO
DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L _∞ (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
Serranidae							
<i>Alphesthes afer</i>	J	—	—	—	—	—	260 Lt
	—	—	—	—	—	—	330 Lt
<i>Cephalopholis cruentata</i>	An	O	13	451 Lt	0.12	-1.24	405 Lt
<i>C. fulva</i>	An	O	11	372 Lt	0.32	-0.20	397 Lt
<i>Dermatolepis</i>	J	—	—	—	—	—	690 Lt
<i>inermis</i>	—	—	—	—	—	—	900 Lt
<i>Epinephelus</i>	An/Ge	O	12	499 Lt	0.17	-2.50	—
<i>adscensionis</i>	Ge	—	—	—	—	—	375 Le
	—	—	—	—	—	—	600 Lt
<i>E. drummondhayi</i>	An	O	25	967 Lt	0.13	-1.01	1096 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	—
	Gs	—	—	—	—	—	960 Lt
<i>E. flavolimbatus</i>	Ge	O	27	800 Le	—	—	—
	Ge	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	1150 Lt
<i>E. guttatus</i>	An/Ge	O	11	471 Lt	0.20	-2.40	491 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	396 Le
<i>E. itajara</i>	Ge	O	37	2006 Lt	0.13	-0.49	2160 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	2500 Lt
<i>E. morio</i>	Ge	O	25	672 Le	0.18	-0.45	772 Le
	Ge	—	—	—	—	—	—
	Gs	O	14	928 Lt	0.11	-0.09	700 Lt
	Gs	U	21	860 Lf	0.10	-1.50	—
	Gs	O	20	802 Lt	0.16	-1.21	—
	Gs	O	12	820 Lt	0.19	-0.67	—
		M	12	891 Lt	0.12	0.56	—
	Gs	FL	—	985	0.17	-0.27	—
	Gs	—	—	—	—	—	880 Lf
	—	—	—	—	—	—	900 Lt
<i>E. mystacinus</i>	Ge	—	—	—	—	—	1150 Le
<i>E. nigrilus</i>	An	O	41	2394 Lt	0.05	-3.62	2261 Lt

$P = aL^b$ a	CRECIMIENTO EN PESO		$P_{\text{máx}}^{(5)}$ (kg)	REFERENCIA
	b	$P_{\text{♀}}$ (kg)		
—	—	—	—	49
—	—	—	—	26
8.81×10^{-6}	3.12	1.7 Pt	—	44
2.59×10^{-5}	2.94	0.9 Pt	—	44
—	—	—	—	49
—	—	—	>10	26
6×10^{-9}	3.19	2.4 Pt	—	43
1.3×10^{-8}	3.04	—	—	12
—	—	—	—	26
1.1 x	3.07	16.9	—	32
10^{-8}	3.03	—	21 Pe	12
1.29×10^{-8}	—	—	17.3 Pt	5
—	—	—	—	10
—	2.86	—	14	12
2.94×10^{-8}	—	—	—	26
—	2.61	1.7 Pt	—	43
1.8×10^{-7}	—	—	1.8 Pt	12
—	3.06	165.6 Pt	—	13
1.31×10^{-8}	3.02	—	—	12
1.5×10^{-8}	—	—	320	26
—	—	—	—	35
—	2.90	—	—	12
5.42×10^{-8}	2.59	7.1	—	38
1.47×10^{-4}	3.00	10.3	—	51
1.62×10^{-5}	3.00	7.1 Pt	—	19
1.38×10^{-5}	3.07	8.9 Pe	—	47
1.02×10^{-5}	—	11.5 Pe	—	
—	—	—	14.4	3
—	3.05	—	12 Pt	4, 9
1.24×10^{-2}	—	—	—	26
—	—	—	49 Pe	12
—	2.98	246.6	190	29
2.10×10^{-5}	—	—	160	12

(Continúa)

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO
DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L _∞ (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
<i>E. niveatus</i>	Ge	O	27	1320 Lt	0.09	-1.01	1180 Lt
	—	—	—	—	—	—	970 Le
<i>E. striatus</i>	C	O	—	760 Lt	0.12	-1.11	—
	—	—	—	—	—	—	1000 Lt
<i>Gonioplectrus hispanus</i>	—	—	—	—	—	—	230 Le
<i>Mycteroperca acutirostris</i>	—	—	—	—	—	—	800 Lt
<i>M. bonaci</i>	Ge	O	33	1306 Lt	0.17	-0.77	1518 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	1260 Le
	Gs	—	—	—	—	7.50	1320 Lf
<i>M. interstitialis</i>	Ge	O	28	828 Lt	0.08	—	—
	Ge	—	—	—	—	—	646 Le
<i>M. microlepis</i>	Ge	O	13	—	—	-0.74	—
	Ge	O	21	1180 Lt	0.17	—	1222 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	1050 Le
	Gs	—	—	—	—	-1.49	1160 Lf
<i>M. phenax</i>	Ge	O	17	720 Lt	0.17	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	-1.88	900 Lt
<i>M. tigris</i>	C	O	18	740 Lt	0.11	—	755 Lt
	—	—	—	—	—	—	1000 Lt
<i>M. venenosa</i>	J	O	15	860 Lt	0.10	—	860 Lt
	Ge	—	—	—	—	—	810 Lf
	—	—	—	—	—	-0.25	900 Lt
<i>Paranthias furcifer</i>	G	O	—	372 Lf	0.22	—	—
	—	—	—	—	—	—	304 Le
Lutjanidae							
<i>Lutjanus ambiguus</i>	—	—	—	—	—	—	< 400 LT
<i>L. analis</i>	An/Ge	O	14	862 Lt	0.15	-0.58	860 Lt
	—	—	—	—	—	—	800 Lt
<i>L. apodus</i>	J	FL	—	570 Lf	0.18	—	—
	—	—	—	—	—	—	620 Lt
<i>L. buccanella</i>	An	U	—	602 Lf	0.10	-3.16	—

P = aL ^b a	CRECIMIENTO EN PESO		P _{max} ⁽⁵⁾ (kg)	REFERENCIA
	b	P _∞ (kg)		
—	2.93	34.8 Pt	25.4 Pt	36
2.45 x 10 ⁻⁸	—	—	24	12
—	2.98	7.9	—	15
1.98 x 10 ⁻²	—	—	25	26
—	—	—	—	26
—	—	—	4	26
—	3.22	37.7 Pt	—	18
3.49 x 10 ⁻⁶	3.21	—	50.9	12
3.42 x 10 ⁻⁹	3.17	—	35.2 Pt	6, 9
6.4 x 10 ⁻³	2.89	7	—	11
2.59 x 10 ⁻⁵	2.97	—	6	12
1.56 x 10 ⁻⁸	—	—	—	33
—	3.06	20.4 Pt	—	27
8.13 x 10 ⁻⁶	—	—	24.5	12
—	3.19	—	20.5 Pt	7, 9
5.3 x 10 ⁻³	—	—	—	24
—	3.07	—	—	12
8.99 x 10 ⁻⁹	—	—	14	26
—	3.12	6.4	—	23
9.40 x 10 ⁻³	—	—	10	26
—	—	—	—	49
—	—	—	—	12
—	—	—	15	26
—	—	—	—	40
—	—	—	—	12
—	—	—	—	1
—	3.05	9	—	31
1.0 x 10 ⁻⁸	—	—	—	1
—	—	3.8	—	39
—	—	—	—	1
—	—	4.3	—	20

(Continúa)

CUADRO 4. EDAD Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO EN LONGITUD Y PESO
DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO

ESPECIE	CRECIMIENTO EN LONGITUD						
	R ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	E _{máx} ⁽³⁾ (años)	L _∞ (mm)	K (por año)	t ₀ (año)	L _{máx} ⁽⁴⁾ (mm)
<i>L. campechanus</i>	—	—	—	—	—	—	620 Lt
	Ge	O	5	—	—	—	678 Lf
	Gn	E/O	13	941 Lt	0.17	-0.10	—
	Gn	O	10	925 Lt	0.14	-0.10	—
	Gn	O	47	—	—	—	—
	Gno	E	4	—	—	—	—
	Gno A	O	34	884 Lf	0.21	-0.63	916 Lf
	L	O	37	873 Lf	0.24	-0.73	913 Lf
	T	O	45	1023 Lf	0.07	-2.92	844 Lf
	Gs	E	9	908 Lf	0.14	-0.76	—
		FL	—	860 Lt	0.13	-0.36	—
	Gs?	—	—	—	—	—	833 Lt
	?	—	—	—	—	—	859 Lt
<i>L. cyanopterus</i>	—	—	—	—	—	—	1600 Lt
	C	—	—	—	—	—	—
<i>L. griseus</i>	An	O	21	890 Lt	0.10	-0.32	—
	C	O	9	548 Lf	0.23	-1.07	520 Lf
	Ge	E	9	—	—	—	—
<i>L. jocu</i>	An	O	—	854 Lf	0.10	-2.00	—
	?	O	—	964 Lf	0.08	-2.14	—
<i>L. mahogoni</i>	—	—	—	—	—	—	480 Lt
<i>L. synagris</i>	Gn	O	—	454 Lf	0.13	-4.26	—
	Gs	E	6	428 Lf	0.10	-6.44	—
		FL	—	410 Lf	0.25	-1.82	—
	Gs	FL	—	428 Lf	0.28	-0.07	—
	Gs	FL	—	352 Lf	0.26	—	—
	C	U	—	729 Lf	0.09	-2.64	—
<i>L. vivanus</i>	—	—	—	—	—	—	800 Lt

En caso de ausencia de datos para el Golfo, se proporcionan algunos resultados disponibles para las regiones del Atlántico norte o del Caribe. (1): R-región; An- Atlántico norte; C-Cuba; G- Golfo de México; Ge-Este del Golfo; Gn- Norte del Golfo; Gne-Noreste del Golfo; Gno- Noroeste del Golfo (A-Alabama; L-Luisiana; T-Texas); Gs-Sur del Golfo; J-Jamaica. (2): M- Método de estudio; E-escama; FL-frecuencia de longitudes; M-mesopterigoide; O-otolito;

P = aL ^b a	CRECIMIENTO EN PESO		P _∞ (kg)	P _{máx} ⁽⁵⁾ (kg)	REFERENCIA
	b				
—	—	—	—	—	1
—	—	—	—	—	22
—	—	—	—	—	42
—	—	—	—	—	41
—	—	—	—	—	2
—	—	—	—	—	37
—	2.94	11.9 Pt	—	—	21
2.57 x 10 ⁻⁸	3.03	12.2 Pt	—	—	
1.54 x 10 ⁻⁸	—	—	—	—	
—	2.83	11.1 Pe	—	—	25
4.71 x 10 ⁻⁵	—	—	—	—	
—	2.91	—	8.4 Pe	—	8, 9
1.8 x 10 ⁻²	2.94	—	8.0 Pe	—	
1.6 x 10 ⁻²	—	—	—	—	1
—	3.12	—	—	—	16
0.98 x 10 ⁻²	—	—	—	—	30
—	2.92	2.5 Pt	2 Pt	—	14
2.07 x 10 ⁻²	—	—	3.6	—	48
—	—	—	—	—	17
—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	1
—	—	—	—	—	28
—	2.65	1.1 Pt	—	—	50
1.25 x 10 ⁻⁴	—	—	—	—	
—	—	1.2	—	—	34
—	—	—	—	—	46
—	—	—	—	—	45
—	—	—	—	—	1

U-urolial. (3): Emáx-edad máxima observada. (4): Lmáx-longitud máxima observada. (5): Pmáx-peso máximo observado. L- longitud; Le-longitud estándar; Lf-longitud furcal; Lt-longitud total; P-peso; Pe-peso del pez eviscerado; Pt-peso total (pez entero).

1-Allen 1985, 2-Allman *et al.* 2002, 3-Arreguín-Sánchez *et al.* 1987, 4-Brulé *et al.* 1999, 5-Brulé *et al.*

2000, 6-Brulé *et al.* 2003, 7-Brulé *et al.* en prensa a, 8- Brulé *et al.* en prensa b, 9-Brulé, datos no publicados, 10-Bullock y Godcharles en: Manooch 1987, 11-Bullock y Murphy 1994, 12-Bullock y Smith 1991, 13-Bullock *et al.* 1992, 14-Claro 1983, 15-Claro en: Claro y García-Arteaga 2001, 16-Claro y García-Arteaga 2001, 17-Claro *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 18-Crabtree y Bullock 1998, 19-Doi *et al.* 1981, 20-Espinoza *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 21-Fischer 2002, 22-Futch y Bruger 1976, 23-García-Arteaga *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 24-Godcharles y Bullock en: Manooch 1987, 25-González y de la Rosa 1988, 26-Heemstra y Randall 1993, 27-Hood y Schlieder 1992, 28-Johnson *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 29-Manooch y Mason 1987, 30-Manooch y Matheson en: Manooch 1987, 31-Mason y Manooch 1985, 32-Matheson y Huntsman 1984, 33-McErlean 1963, 34-Mexicano y Arreguín-Sánchez en: Claro y García-Arteaga 2001, 35-Moe 1969, 36-Moore y Labisky 1984, 37-Moseley 1966, 38-Muhlia-Melo 1976, 39- Munro en: Claro y García-Arteaga 2001, 40-Nelson *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 41-Nelson *et al.* en: Manooch 1987, 42-Nelson y Manooch en: Manooch 1987, 43-Potts y Manooch 1995, 44-Potts y Manooch 1999, 45-Pozo *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 46-Rivera-Arriaga *et al.* en: Claro y García-Arteaga 2001, 47-Rodríguez-Sánchez 1986, 48-Starck 1971, 49-Thompson y Munro 1978, 50-Torres y Chávez 1987, 51-Valdés y Padrón 1980.

la costa sureste de Estados Unidos, en las Bermudas, en el mar Caribe y en todo el Golfo de México (Sadovy 1994). Del total de las especies consideradas en el presente estudio, 18 meros y nueve pargos son comúnmente explotados en el Golfo de México (cuadro 1) (Bannerot *et al.* 1987). Las especies más abundantes en las capturas comerciales realizadas en esta región son esencialmente: *E. morio*, *M. microlepis*, *M. phenax* y *M. bonaci* para los meros y *L. campechanus* para los pargos. Otros meros como *E. nigrilus*, *E. flavolimbatus*, *E. niveatus* y *E. drummondhayi* provienen de la pesca realizada en aguas profundas (70-300 m) (Bannerot *et al.* 1987, Bullock y Smith 1991, Colás-Marrufo *et al.* 1998, D.O.F. 2000).

Los meros y pargos son especies que pueden ser particularmente sensibles al impacto producido por la actividad pesquera (Coleman *et al.* 2000). En efecto, estos peces presentan un crecimiento lento, una madurez sexual tardía, una gran longevidad, bajas tasas de mortalidad natural y alcanzan tallas asintóticas elevadas. Según la teoría sobre las estrategias demográficas de los peces marinos, estas características permiten considerar a los meros y pargos como especies cercanas a las del tipo K. Los estudios de simulación y la experiencia actual adquirida en el análisis de las pesquerías pusieron en evidencia que, para las especies con estrategia de tipo K, el rendimiento máximo por recluta es alcanzado a un nivel bajo de mortalidad por pesca y a una edad de reclutamiento elevada. Además, las bajas tasas de mortalidad natural observadas para estas especies indican que las poblaciones de mero y pargo presentan una tasa de renovación baja y una capacidad productiva reducida. Debido a estas características

biológicas el complejo mero-pargo constituye entonces un recurso que presenta un fuerte riesgo potencial de alcanzar el nivel de sobreexplotación (Ralston 1987).

Muy a menudo, el esfuerzo de pesca ejercido sobre un *stock* determinado es dirigido de manera selectiva hacia los individuos más grandes en talla y edad, los cuales son generalmente organismos adultos aptos para la reproducción. A largo plazo esto puede provocar, tanto para las especies hermafroditas como gonocóricas, una modificación en la estructura demográfica en talla y edad del *stock* y conducir a una eliminación progresiva de las hembras más grandes y por consiguiente más prolíficas (Coleman *et al.* 2000). En el caso particular de las especies de mero con hermafroditismo protógino, la captura selectiva de los individuos más grandes puede también conducir a una reducción paulatina del número de machos presente en el *stock* explotado y, en caso extremo, a un déficit en la cantidad de gametos masculinos necesarios para la fertilización de los ovocitos producidos por las hembras durante el periodo de reproducción de las especies (Bannerot *et al.* 1987). Así, para el *stock* de *M. microlepis* de la región noreste del Golfo de México, Koeing *et al.* (1996) observaron entre 1980 y 1991-93, una disminución de las tallas promedio de las hembras y de los machos así como de la proporción de machos presentes (de 17% hasta 2%). En la parte este del Golfo, Coleman *et al.* (1996) notaron por su parte que, entre 1991 y 1993, las hembras de esta misma especie alcanzaron su primera madurez sexual e iniciaron su proceso de inversión sexual a tallas inferiores a las observadas por Hood y Schlieder (1992) entre 1977 y 1980, en la misma región. Según McGovern *et al.* (1998) estos cambios en las características demográficas y biológicas de *M. microlepis* serían la consecuencia del fuerte aumento de la presión de pesca ejercida sobre el *stock* de dicha especie. Observaciones similares fueron realizadas para el *stock* de *M. phenax* del Golfo el cual presentó una disminución del porcentaje de machos de 36% al final de los años 70 a 18% al inicio de la década de 1990 (Coleman *et al.* 1996). Según Coleman *et al.* (1996) esta pérdida de machos puede inducir serias consecuencias sobre el comportamiento reproductor de las hembras maduras como una falta de participación de éstas en la formación de las agregaciones y/o una inhibición de la ovulación y oviposición seguido por una reabsorción de los ovocitos vitelógenos en los ovarios (atresias).

Los cambios observados en las tallas promedio de los organismos y la proporción de sexos pueden ser también una consecuencia de una presión de pesca ejercida específicamente sobre las agregaciones de desove (Koeing

CUADRO 5. COMPOSICIÓN DE LA DIETA DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO. EN CASO DE AUSENCIA DE DATOS PARA EL GOLFO, SE PROPORCIONAN ALGUNOS RESULTADOS DISPONIBLES PARA LAS REGIONES DEL ATLÁNTICO NORTE O DEL CARIBE

Especie	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾			
	n ⁽¹⁾	PECES	CAMARONES	CANGREJOS
Serranidae				
<i>Alphestes afer</i>	30	V7	V7	V77
<i>Cephalopholis cruentata</i>	— A	+ Pom	—	—
	— J	x	+	—
	26	V66	V17	V4
<i>C. fulva</i>	29	V46 Pom	V21	V17
<i>Epinephelus adscensionis</i>	—	17% ⁽³⁾	67% ⁽³⁾	—
	—		x	x
<i>E. drummondhayi</i>	31 A r	x	x	x
<i>E. flavolimbatus</i>	—	—	—	—
	— r	x	—	x
<i>E. guttatus</i>	—	V21	V10	V40
<i>E. itajara</i>	2 J	x	x	—
	32	x	—	x
	—	x	—	x
	2	—	—	+
<i>E. morio</i>	—	+	+	+
	—	x	x	—
	—	x	x	x
	— J	—	x	—
	23 J/A r	x	x	x
	—	x	+	+
	163 J	F>4	F<3	F>30
	37 A	x	x	x
	855 J/A	F28	F18	F48
<i>E. mystacinus</i>	—	x	—	—
	1	—	—	x
<i>E. nigritus</i>	—	x	x	x
	1	—	—	—
<i>E. niveatus</i>	32 ci	F72	F13	F16
<i>E. striatus</i>	—	F45-66	F3-14	F30-62
<i>M. bonaci</i>	2	—	x	—

OTROS CRUSTÁCEOS	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾				REFERENCIA
	OTROS INVERTEBRADOS BÉNTICOS	CEFALÓPODOS	PLANCTON	R ⁽³⁾	
V7	—	V3	—	IV/PR	24
—	—	—	—	Cu	18
—	—	—	—		
V9 Est	V4 Gas	—	—	IV	24
V16 Est	—	—	—	IV/PR	24
—	—	—	—	Go	21
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	x Asc	x Pul Cal	—	Ge	8
—	x Biv	—	—	Go	21
x	x Equ Asc	x	—	Ge	8
V>7	V»2	V7 Pul	—	G	22
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	x Gas	—	—		
+ Lan	—	—	—	G	22
—	—	—	—	Gs	25
+	—	x	—	G	22
x Lan Est	—	x Pul	—	Ge	14
x Lan	—	x Pul Cal	—	Ge	16
x Anf	—	—	—	Ge	8
—	x Gas	x Pul	—		
+ Est	x Mol	—	—	Gs	27
F<4 Est	F<3 Gas	F<3 Pul	—	Gs	5
x Est	x Biv	x Pul	—	Gs	6
x Lan Est	x Equ	x Pul Cal	—	Gs	12
—	—	x Cal	—	G	22
—	—	—	—	Ge	8
x Lan	—	—	—	—	13
x Lan	—	—	—	Ge	8
x Est	F3 Gas F9 Pol	F28	—	Ge	2
x Est	—	x Pul Cal	—	Cne/o	10
x Anf	—	—	—	Ge	23

(Continúa)

CUADRO 5. COMPOSICIÓN DE LA DIETA DE LOS MEROS Y PARGOS DEL GOLFO DE MÉXICO. EN CASO DE AUSENCIA DE DATOS PARA EL GOLFO, SE PROPORCIONAN ALGUNOS RESULTADOS DISPONIBLES PARA LAS REGIONES DEL ATLÁNTICO NORTE O DEL CARIBE

Especie	PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾			
	n ⁽¹⁾	PECES	CAMARONES	CANGREJOS
<i>M. interstitialis</i>	—	x	—	—
	25	x Pom	—	—
<i>M. microlepis</i>	134	N26	N72	—
	53	x	x	—
	—	V95-100	—	V0-3
<i>M. phenax</i>	91	+	x	x
	2	x	—	—
<i>M. tigris</i>	34	V100	—	—
<i>M. venenosa</i>	51	V95	V1	—
<i>Paranthias furcifer</i>	252	—	—	—
Lutjanidae				
<i>L. analis</i>	—	+	—	—
<i>L. apodus</i>	—	x	x	x
<i>L. buccanella</i>	24	F33	F8	F4
<i>L. campechanus</i>	2431	F66	F9	F20
	1	x	—	—
	56	N46	N4	N13
	258 J	F20	F46	F14
	190 A	F52	F15	F10
	73 J	V14	V26	V3
	114 A	V55	V14	V3
	14 J	—	F93	—
	24 A	F42	F33	F12
<i>L. cyanopterus</i>	11	V100	—	—
<i>L. griseus</i>	—	+	+	+
	636	F35	F27	F25
<i>L. jocu</i>	—	61% ⁽³⁾	—	—
	34	+	x	+
<i>L. mahogoni</i>	32	+	x	x
<i>L. synagris</i>	—	+	x	—
<i>L. vivanus</i>	—	+	x	x

Véase la simbología de este cuadro en la página 276.

PRINCIPALES CATEGORÍAS DE PRESAS IDENTIFICADAS EN LA DIETA ⁽²⁾					
OTROS CRUSTÁCEOS	OTROS INVERTEBRADOS BÉNTICOS	CEFALÓPODOS	PLANCTON	R ⁽³⁾	REFERENCIA
—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	Ge	7
N3 Anf	—	—	—	Ge	23
—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	Ge	19
—	—	x Pul	—	An	15
—	—	—	—	Ge	8
—	—	—	—	IV/PR	24
—	—	V4 Cal	—	IV/PR	24
—	—	—	+ Cop	Go	24
+	x Gas	—	—	G	22
—	x Gus	—	—	G	22
F46 Iso	—	F8	—	IV	4
F36 Est	x Asc	F16 Cal	x	An/G	20
—	—	—	—	G	1
N30	N4	—	—	Ge	11
F>13	—	—	—	Gno	3
F8	x Uro	—	—	—	—
V32 Est	—	x	+	Gno	17
x	x Uro Mol Pol	x	Urop	—	—
—	—	—	Urop	Gs	9
—	F4 Gas	F4 Pul	—	—	—
—	—	—	—	IV/PR	24
x	—	—	—	G	22
F22	x	F0.8	x	Ge	26
—	x	—	—	G	22
+ Lan	x Mol	x Pul	—	—	26
—	—	x Pul	—	G	22
+	x Ane Mol	—	x	G	22
x	x Uro	x	—	G	22

(1): n-número de estómagos llenos analizados; A-adultos; ci-contenidos intestinales; J-juveniles; r-contenidos regurgitados. (2) Símbolos: F-frecuencia de una categoría presa (%); N-porcentaje en número de una categoría de presa; V-porcentaje en volumen de una categoría de presa; +-abundante; x-presente. (3): porcentaje de estómagos analizados. Presas particulares: Anf-anfípodos; Ane-anélidos; Asc-ascidiáceos; Biv-bivalvos; Cal-calamares; Cop-copépodos; Equ-equinodermos; Est-estomatópodos; Gas-gasterópodos; Gus-gusanos; Iso-isópodos; Lan-langostas; Mol-moluscos; Pol-poliquetos; Pom- Peces Pomacentridae; Pul-pulpos; Uro-urocordados; Urop-urocordados pelágicos. (3): R-región; An- Atlántico norte; C-Cuba; Cu-Curaçao; G-Golfo de México; Ge-este del Golfo; Gne-noreste del Golfo; Gno-noroeste del Golfo; Go-oeste del Golfo Gs-sur del Golfo; IV-Islas Vírgenes; PR-Puerto Rico.

1-Baughman en: Parrish 1987, 2-Bielsa y Labisky 1987, 3-Bradley y Bryan 1975, 4-Brownell y Rainer en: Parrish 1987, 5-Brulé y Rodríguez-Canché 1993, 6-Brulé y Dénier 1996, 7-Bullock y Murphy 1994, 8-Bullock y Smith 1991, 9-Camber 1955, 10-Claro *et al.*, 1990; 11-Futch y Bruger, 1976; 12-Gimenez *et al.*, 2001, 13-Heemstra y Randall 1993, 14-Longley y Hildebrand 1941, 15-Matheson *et al.* 1986, 16-Moe 1969, 17-Moseley 1966, 18-Nagelkerken en: Bullock y Smith 1991, 19-Naughton y Saloman en: Dodrill *et al.* 1993, 20-Naughton y Saloman en: Parrish 1987, 21-Nelson en: Bullock y Smith 1991, 22-Parrish 1987, 23-Peters en: Bullock y Smith 1991, 24-Randall 1967, 25-Smith 1967, 26-Starck 1971, 27-Váldez y Padrón 1980.

et al. 1996). Así, *M. microlepis* y *M. phenax* son especies que realizan migraciones hasta sitios específicos de desove donde forman pequeñas agregaciones (de varias decenas a centenas de individuos) dispersas en un área geográfica extendida. Gilmore y Jones (1992) notaron que el esfuerzo pesquero era más intenso durante la temporada de formación de estas agregaciones y Koenig *et al.* (1996) sugirieron que la pesca selectiva de los machos de *M. microlepis* en estas agregaciones era, en gran medida, responsable de la disminución de su número en los *stocks* del Golfo. Al contrario, para *E. morio*, una especie también intensamente explotada pero que no forma agregación de desove, no se observó durante 25 a 30 años, ningún cambio en la proporción de sexos en el stock de la parte este del Golfo (Coleman *et al.* 1996). Debido a que las agregaciones de desove se forman a menudo, año tras año, en los mismos sitios geográficos y durante los mismos periodos del año, éstas pueden ser muy vulnerables a un esfuerzo pesquero irresponsable (Sadovy 1997). La captura de un número demasiado importante de organismos durante varios años seguidos, puede inducir a la desaparición definitiva de las agregaciones, como fue el caso de varias agregaciones de desove de *E. striatus* que antes ocurrían en determinados lugares de la región Caribe (Sadovy 1994, Sadovy y Eklund 1999).

Las especies actualmente consideradas como sobreexplotadas o en riesgo de serlo en la región sureste de Estados Unidos son: *E. morio*, *E. drummondhayi*,

E. itajara, *E. nigrilus*, *E. niveatus*, *E. striatus*, *M. microlepis*, *M. phenax* y *L. campechanus* (Shipp 1999, Coleman *et al.* 2000). En la parte sur del Golfo, los stocks de *E. morio* y *L. campechanus* del Banco de Campeche son respectivamente considerados como sobreexplotado y aprovechado al máximo sustentable (Burgos y Defeo 2000, D.O.F. 2000). En el caso de *L. campechanus*, los juveniles de las clases de edad 0 y 1 sufren de una alta mortalidad por ser parte de la fauna de acompañamiento en las capturas de camarones realizadas por los barcos arrastreros (*bycatch*). Estos juveniles se distribuyen junto con los camarones sobre fondos blandos hasta alcanzar tallas de 150 a 200 mm, longitudes a las cuales empiezan a migrar hasta zonas de arrecifes donde son menos vulnerables a las redes de arrastre (Shipp 1999).

Como consecuencia no solamente de la explotación pesquera sino también de la degradación de los hábitats críticos o esenciales, como lo ocurrido para la zonas de agregación de desove de *M. microlepis* y *M. phenax* a lo largo de la costa este de Florida (Koenig *et al.* 2000), once de los meros y dos de los pargos del Golfo fueron incluidos por la IUCN (Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources 2002) y/o por la American Fisheries Society (Musik *et al.* 2000) en la lista de las especies amenazadas (cuadro 1). Este número elevado de especies de mero y pargo a proteger no es sorprendente. En efecto, entre los peces comercialmente más importantes, las especies que pueden presentar el mayor riesgo de ser amenazadas o de extinguirse son las iteróparas, que alcanzan tallas máximas importantes, que presentan una madurez sexual tardía y un reclutamiento esporádico (Sadovy 2001). Por lo general, estas características son observadas tanto en los meros como en los pargos. Además, según Sadovy (2001), existen pocas bases empíricas y teóricas que permiten sostener la hipótesis clásica según la cual las especies que presentan una fecundidad alta, como los meros y pargos, correrían menos riesgo de ser amenazadas que la especies poco fecundas.

GESTIÓN

La gestión racional de un recurso natural renovable puede ser realizada por medio de la aplicación de un manejo de tipo convencional (manejo pesquero) o de tipo no-convencional (manejo conservativo). Estos dos tipos de manejo tienen aplicaciones tanto en el mantenimiento como en la rehabilitación del nivel de productividad óptimo de una pesquería (Bohnsack 1996). El manejo pesquero (*fishery management*) tiene como objetivo preservar el valor económico de una pesquería. Esto implica la implementación de un conjunto de

regulaciones que conducen a la obtención de un beneficio económico a través de la explotación sustentable de la especie blanco de la pesquería. El manejo conservativo (*conservation management*), intenta regular las actividades humanas para minimizar sus impactos negativos directos e indirectos sobre los sitios y/o especies de valor, con la finalidad de preservar determinadas especies o la biodiversidad en general (Sale 2002).

MANEJO CONVENCIONAL

El manejo pesquero busca permitir que un número suficiente de peces no sean capturados, intentando reducir o contener el esfuerzo de pesca efectivo (*input controls*), o bien restringir la captura total a límites predeterminados (*output controls*). Los métodos convencionales utilizados incluyen las tallas mínimas de captura, los límites de captura, las restricciones en el uso de los artes de pesca, los periodos y zonas de veda y el control del acceso a la pesquería (King 1995, Bohnsack 1996).

En respuesta a las múltiples amenazas que sufren los *stocks* de mero y pargo del Golfo, los gobiernos de Estados Unidos y de México han implementado políticas de regulación para su explotación. Sin embargo, en comparación con las medidas de control federales en vigor para la regulación de la pesca de estas especies en Estados Unidos (cuadro 6), el ordenamiento pesquero impuesto a estas mismas pesquerías en México parece menos restrictivo. En efecto, las medidas oficiales de regulación de la pesca comercial de meros y pargos en aguas mexicanas (D.O.F. 2000, 2003, Semarnap 2000) consisten en:

- una limitación en la emisión de los permisos para pesca comercial de escama (incluye meros y pargos)
- una veda temporal de un mes para la captura de meros (todas especies mezcladas), del 15 de febrero al 15 de marzo (establecida desde 2003).
- una cuota de captura de meros y pargos de 3,900 toneladas para la flota cubana
- un uso del anzuelo huachinanguero del No. 7 u 8 para la captura de pargos (para permitir que 50% de los organismos capturados sean de un tamaño superior a 370 mm Lt).

Además, para el caso de los meros, se recomienda respetar (todas especies mezcladas) una talla mínima de primera captura de 300 mm Lt. Sin

embargo, esta talla fue determinada únicamente con base en criterios comerciales (tamaño mínimo de ración) sin tomar en cuenta la biología de las especies (tallas de primera madurez sexual). A la fecha esta medida no está incluida en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes establecidas para la protección de las pesquerías. No se dispone de una reglamentación específica para la pesca deportiva de meros y pargos en México.

Cabe señalar que uno de los métodos convencionales más problemático en cuanto a su aplicación para el control de las pesquerías de meros y pargos corresponde a la imposición de una talla mínima de captura. Su utilización se ve facilitada y su eficiencia es máxima cuando se utilizan artes de pesca altamente selectivos que impiden capturar organismos cuyo tamaño es inferior a lo establecido en la legislación. Al contrario, cuando se usa un arte de pesca no selectivo en relación con el tamaño de los organismos capturados, esta medida implica el regreso al mar de los peces que no cumplen con la talla mínima impuesta (*bycatch*). En tales condiciones, el arte de pesca utilizado no debe lastimar a los peces capturados y la probabilidad de supervivencia de los organismos regresados al mar debe de ser muy elevada para que la aplicación de esta medida no sea contraproducente. Muchos ejemplares de meros y pargos capturados en aguas profundas llegan a la superficie con su vejiga gaseosa dilatada o reventada y sus órganos internos comprimidos o expulsados por la boca o el ano, provocando la muerte de los peces a corto plazo. Según Wilson y Burn (1996) las tasas de supervivencia observados en ejemplares de *E. morio* y *M. phenax* regresados al mar fueron de 86% y 100% para los organismos capturados a 44 m de profundidad y de 0% y 50-25% para los capturados entre 54 y 75 m. La tasa de supervivencia de ejemplares de *M. microlepis* capturados entre 54 y 75 m fue de 0%. Patterson *et al.* (2002) observaron que la tasa de supervivencia de ejemplares de *L. campechanus* regresados al mar fue estadísticamente menor cuando fueron capturados a 32 m (87%) que a 21 m (91%) de profundidad. En el noroeste del Golfo la cantidad de organismos de *E. morio* y *M. microlepis*, cuyas tallas son inferiores a la talla mínima de captura (< 508 mm Lt) puede fluctuar entre 36 y 62% del total de las capturas comerciales realizadas (Johnson *et al.* datos no publicados). En Estados Unidos de América, el *Florida Sea Grant College Program* (University of Florida, P.O. Box 110400, Gainesville, FL 32611-0400) recomienda a los pescadores el uso de jeringas especiales para sacar el exceso de gas contenido en la cavidad visceral de los organismos antes de regresarlos al mar, con el

CUADRO 6. MEDIDAS CONVENCIONALES DE REGULACIÓN PESQUERA PARA MEROS Y PARGOS
VIGENTES EN LAS AGUAS FEDERALES DEL GOLFO DE MÉXICO DE ESTADOS UNIDOS.

Especies	PESCA COMERCIAL		
	Talla mínima de captura	Cuota por viaje (Toneladas)	Cuota total (Toneladas)
Serranidae			
Meros de agua profunda			726 ⁽²⁾
<i>E. mystacinus</i>	n	n	—
<i>E. niveatus</i>	n	n	—
<i>E. flavolimbatus</i>	n	n	—
<i>E. nigrilus</i>	n	n	—
<i>E. drummondhayi</i>	n	n	—
Meros de agua somera			4.446 ⁽³⁾
<i>M. bonaci</i>	610 mm Lt	n	—
<i>M. microlepis</i>	610 mm Lt	n	—
<i>E. morio</i>	508 mm Lt	n	—
<i>M. venenosa</i>	508 mm Lt	n	—
<i>M. phenax</i>	406 mm Lt	n	—
<i>M. interstitialis</i>	n	n	—
<i>E. adscensionis</i>	n	n	—
<i>E. guttatus</i>	n	n	—
Meros protegidos			
<i>E. itajara</i>	—	—	—
<i>E. striatus</i>	—	—	—
Lutjanidae			
<i>L. campechanus</i>	381 mm Lt	0.907 y 0.091 ⁽¹⁾	2.109 y 1.388 ⁽⁴⁾
<i>L. synagris</i>	203 mm Lt	n	n
<i>L. griseus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. analis</i>	406 mm Lt	n	n
<i>L. mahogoni</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. apodus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. jocu</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. cyanopterus</i>	305 mm Lt	n	n
<i>L. buccanella</i>	n	n	n
<i>L. vivanus</i>	n	n	n

N-ninguna restricción (Gulf of Mexico Fishery Management Council, 2003a,b).

PESCA DEPORTIVA			
Veda	Talla mínima de captura	Talega diaria ⁽⁶⁾	Veda
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	1/b	n
n	n	1/b	n
			n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	559 mm Lt	5/p	n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	559 mm Lt	5/p	n
15/02-15/03 ⁽⁵⁾	508 mm Lt	5/p	n
n	508 mm Lt	5/p	n
n	406 mm Lt	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
n	n	5/p	n
Permanente	—	—	permanente
Permanente	—	—	permanente
Ver ⁽⁴⁾	406 mm Lt	4/p	n
n	203 mm Lt	20 pa	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	406 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	305 mm Lt	10/p	n
n	n	10/p	n
n	n	10/p	n

(1) Según tipo de permiso de pesca (clase 1 o clase 2).

(2) Incluye a *M. phenax* cuando la cuota para meros de agua somera es alcanzado.

- (3) Incluye a todos los meros que no sean clasificados como de agua profunda.
- (4) Pesca autorizada los 10 primeros días de cada mes, a partir del 1 de febrero hasta alcanzar el primer cuota y a partir del 1 de octubre hasta alcanzar el segundo cuota.
- (5) Incluye además la interdicción de comercializar *M. bonaci*, *M. microlepis* y *E. morio* durante este periodo.
- (6) /b-por barco; /p-por persona (todas especies confundidas con excepción de *E. itajara*, *E. striatus* para los meros y *L. campechanus*, *L. synagris* para los pargos); pa-peces de arrecife (todas especies de arrecife mezcladas)

fin de intentar incrementar su tasa de supervivencia.

MANEJO NO CONVENCIONAL

El manejo conservativo incluye métodos como la adopción de prácticas de pesca menos dañinas o destructivas, las operaciones de repoblación con crías procedentes de la acuacultura, la restauración de hábitat o su modificación (implantación de arrecifes artificiales) y el establecimiento de áreas marinas protegidas (AMP) (Bohnsack 1996).

En la actualidad, las AMP son consideradas como uno de los métodos no convencionales más atractivos y prometedores para el manejo de las pesquerías. Entre ellas, las reservas marinas pesqueras (*marine fishery reserves* o *no-take marine reserves*) son zonas bien delimitadas geográficamente, en las cuales se imponen ciertas restricciones en cuanto al aprovechamiento de sus recursos naturales o bien constituyen áreas cerradas de manera permanente a todo uso consuntivo (Chiappone *et al.* 2000). Estas reservas pueden contribuir a proteger a los hábitats críticos necesarios para el desarrollo de los recursos pesqueros agotados a través de la sobreexplotación o de la destrucción de su entorno natural; a conservar la biodiversidad marina y, en ciertas circunstancias, a incrementar la productividad de los *stocks* presentes alrededor de las reservas (Conover *et al.* 2000). Aunque la eficiencia de la creación de tales reservas sobre la productividad de las pesquerías no ha sido totalmente demostrada, diversos autores como Bohnsack (1996) y Russ (2002) estiman que la implementación de este tipo de manejo debe ser fomentada. En particular, las reservas representan una de las opciones de manejo pesquero más viable para los países en vías de desarrollo. Al contrario de lo que ocurre generalmente con la imposición de controles sobre las capturas y/o el esfuerzo pesquero, estas áreas pueden tener una mejor aceptación por parte de las sociedades humanas que se dedican a la pesca artesanal o de subsistencia. En efecto, muchas veces estas reservas ofrecen una variedad de beneficios anexos

como son, por ejemplo, los ingresos financieros procedentes del turismo (Russ 2002).

Las reservas aparecen como una herramienta eficaz para la protección de los meros. Los resultados obtenidos a la fecha ponen en evidencia que éstas tienen efectos positivos sobre este recurso tales como: incrementos en densidad, biomasa, talla promedio y abundancia de las especies. Estos beneficios han sido observados tanto para especies consideradas como de tamaño pequeño (*C. cruentatus* y *C. fulvus*) como las de tamaño mediano (*E. adscensionis*, y *E. guttatus*) o grande (*E. striatus*, *M. bonaci*, *M. tigris* y *M. venenosa*) (Sluka *et al.* 1997, Sadovy 1999, Chiappone *et al.* 2000, Koenig *et al.* 2000). Sin embargo, las reservas podrían presentar un interés muy limitado en el caso de las especies no sedentarias o que realizan migraciones de reproducción y cuyos desplazamientos podrían conducir los organismos a salir de las áreas protegidas (Sadovy 1999, Bohnsack 2000, Tupper 2002).

La acuicultura de las especies puede representar una buena opción complementaria para la gestión de los recursos naturales. Esta actividad puede tener como objetivo la producción de organismos hasta la talla comercial o bien la producción de juveniles para repoblación de los *stocks* silvestres. El desarrollo de la acuicultura de meros y pargos del Atlántico oeste no ha alcanzado todavía a pasar del nivel experimental. La reproducción inducida, el desarrollo embrionario y larvario en laboratorio han sido realizado con éxito para varias especies de mero y pargo del Golfo como *E. morio* (Colin *et al.* 1996), *E. striatus* (Guitart y Juárez 1966, Tucker 1991, 1998, Watanabe *et al.* 1996), *M. microlepis* (Roberts y Schlieder 1983), *L. analis* (Watanabe *et al.* 1998), *L. campechanus* (Arnold *et al.* 1978, Rabalais *et al.* 1980, Minton *et al.* 1983), *L. griseus* (González *et al.* 1979), *L. synagris* (Millares *et al.* 1979). Sin embargo, los bajos índices de supervivencia de las larvas constituyen en la actualidad el mayor problema que limita el desarrollo de esta actividad (Tucker, 1998, Chigbu *et al.* 2002). Algunos experimentos de repoblación fueron llevados a cabo con juveniles de *E. morio* (Colin *et al.* 1996) y *E. striatus* (Roberts *et al.* 1995).

CONCLUSIONES

Los meros y pargos constituyen un componente importante, tanto a nivel ecológico como económico, de las comunidades de peces de arrecife del Golfo de México (Bannerot *et al.* 1987). Según Sadovy (1994) las evaluaciones realizadas sobre las poblaciones de meros del Atlántico centro-occiden-

tal revelan la presencia de síntomas de sobreexplotación para la mayoría de las especies estudiadas (abrupta disminución de las tallas y pesos promedios en las capturas; disminución de las capturas y desembarcos por unidad de esfuerzo; reducción alarmante o desaparición de las agregaciones de reproducción). En consecuencia, muchos de los *stocks* de meros, explotados tanto en zonas continentales como insulares, están a punto o han alcanzado el estado de sobreexplotación de crecimiento y/o de reclutamiento.

Generalmente, la protección de los *stocks* de meros es inadecuada o inexistente, y debido al alto valor comercial que presentan las especies que los componen, es muy común que sus pesquerías alcancen rápidamente el nivel de sobreexplotación (Levin y Grimes 2002). Pocas de las regulaciones en vigor para el ordenamiento pesquero de los peces de arrecife están basadas en una evaluación cuantitativa de los *stocks*, y ninguna ha considerado de manera explícita los efectos de las relaciones interespecíficas o de las estrategias de reproducción de las especies (como el hermafroditismo protógino para varios meros) (Bannerot *et al.* 1987).

Debido a que el manejo sustentable de los recursos está basado en la evaluación de los *stocks* y el conocimiento de la biología de las especies explotadas (Sadovy 1997), más información sobre estos aspectos es necesario para implementar y perfeccionar las estrategias de ordenamiento de las pesquerías de mero y pargo del Golfo. En particular, la biología de la reproducción de las poblaciones de varias especies de mero y pargo de esta región no ha sido estudiada todavía. Muchas de estas especies como *E. mystacinus*, *E. nigritus*, *E. striatus*, *M. tigris*, *L. analis*, *L. buccanella*, *L. jocu* y *L. synagris*, presentan una importancia comercial y/o son amenazadas. No se ha podido aún caracterizar el patrón de sexualidad de todas las especies presentes en el Golfo. Los datos sobre fecundidad son escasos y en muchos casos imprecisos. En varias regiones del Golfo las áreas de reproducción y de formación de agregaciones de desove así como las zonas de crianza no son conocidas. Las principales etapas del desarrollo embrionario y larvario no han sido estudiadas para la mayoría de los meros y pargos. La falta de información de tipo biológico es particularmente problemática para la gestión de los *stocks* presentes en la parte sur del Golfo. El complejo mero-pargo de la plataforma continental de la Península de Yucatán (Banco de Campeche) es explotado de manera secuencial por embarcaciones de las flotas mayor y menor mexicanas, y constituye un recurso compartido con Cuba. Es un recurso multispecífico que incluye 18 especies de mero de los géneros *Cephalopholis*, *Epinephelus* y *Mycteroperca* y 10 especies de pargo del género

Lutjanus (Colás-Marrufo *et al.* 1998; Tuz-Sulub 1999, D.O.F. 2000). Todas ellas presentan un interés económico y 12 son consideradas como amenazadas. A pesar de la importancia comercial y ecológica de este recurso para la región, la reproducción ha sido estudiada solamente para *E. morio*, *M. bonaci*, *M. microlepis* y *L. campechanus*; el crecimiento para *E. morio*, *L. campechanus* y *L. synagris* y los hábitos alimenticios para *E. morio* y *L. campechanus*.

Es probable que para realizar una gestión racional del recurso mero-pargo que permita mantener una producción sostenible sea necesario implementar diversas medidas administrativas de ordenamiento pesquero. Aunque la aplicación de los métodos convencionales de manejo no ha podido impedir el deterioro de las pesquerías (deficiencias en el control del esfuerzo pesquero y en prevenir la sobreexplotación de reclutamiento) (Russ 2002), estos no deben de ser despreciados. A pesar de que la eficiencia de las reservas marinas como método no-convencional de manejo no ha sido comprobada hasta la fecha, representan todavía una de las opciones más viables de manejo de los recursos (Russ 2002). La creación de estas reservas requiere obtener más conocimientos sobre la ubicación y la extensión de las áreas de desove de los adultos, sobre la conducta reproductiva de los progenitores (formación o no de agregaciones de desove, tipo y momento de apareamiento), sobre la ubicación de las áreas de crianza así como sobre los procesos de asentamiento y la biología de los juveniles en dichas áreas. Con la finalidad de proteger las especies de los efectos negativos de la explotación pesquera, las futuras reservas marinas deberán incluir en sus límites estos hábitats críticos donde tiene lugar una de las etapas cruciales del ciclo de vida de las especies blanco de las pesquerías (Sadovy 1999). Sin embargo, no parece adecuado, considerar a las reservas marinas como un sustituto posible a todas las demás medidas de ordenamiento pesquero (Sadovy 1999, Trexler y Travis 2000, Russ 2002). Éstas deben ser consideradas como una herramienta potencial de apoyo al principio de manejo precautorio (Russ 2002). Utilizadas como complemento a las medidas convencionales de regulación pesquera, proporcionarán más flexibilidad en el manejo de las pesquerías y la protección de los recursos marinos (Bohnsack 2000).

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Perera, A. y W. Aguilar-Dávila 1996. A spawning aggregation of Nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pises: Serranidae) in the Mexican Caribbean. *Environmental*

- Biology of Fishes* 45:351-361. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Allen R.G. 1985. FAO Species catalogue. Vol 6. *Snappers of the world an annotated and Illustrated Catalogue of Lutjanid species known to date*. FAO. Fisheries Synopsis No.125. FAO Roma.
- 1987. Synopsis of the circumtropical fish genus *lutjanus* (lutjanidae). P. 33-88. in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Allman, R.J., L.A. Lombardi-Carlson, G.R. Fitzhugh y W.A. Fable 2002. Age structure of red snapper (*Lutjanus campechanus*) in the Gulf of Mexico by fishing mode and region. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:482-495. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Florida, EE.UU.
- Arnold, C.R., J.M. Wakeman, T.D. Williams y G.D. Treece 1978. Spawning of red snapper (*Lutjanus campechanus*) in captivity. *Aquaculture* 15:301-302. Elsevier Scientific Publishing Company. Netherlands.
- Arreguín-Sánchez F., M.A. Cabrera y G. Mexicano 1987. Dinámica de la población de (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche, México. P. 81-88. En: M. Ramírez-Rodríguez (ed.) *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México*. La Paz, BCS, México.
- Bannerot, S., W.W. Fox Jr y J.E. Powers 1987. Reproductive strategies and the management of snappers and groupers in the Gulf on Mexico and Caribbean. P. 561-603 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Bielsa, L.M. y R.F. Labisky 1987. Food habits of blueline tilefish, *Caulolatilus microps*, and snowy grouper, *Epinephelus niveatus*, from the lower Florida Keys. *Northeast Gulf Science* 9:77-87.
- Bradley, E. y C.E. Bryan 1975. Life history and fishery of the red snapper (*Lutjanus campechanus*) in the northwestern Gulf of México: 1970-1974. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 27:77-106. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. USA.
- Brulé, T. y C. Deniél 1996. Biological research on the red grouper (*Epinephelus morio*) from the southern Gulf of Mexico. P. 28-42. En: F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Brulé, T. y L.G. Rodríguez-Canché 1993. Food habits of juvenile red groupers, *Epinephelus morio* (Valenciennes, 1828) from Campeche Bank, Yucatán, México. *Bulletin of Marine Science* 52:772-779. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., D. Ordaz-Avila, M. Sánchez-Crespo y C. Déníel 1994. Seasonal and diel changes

- in diet composition of juvenile red grouper (*Epinephelus morio*) from Campeche Bank. *Bulletin of Marine Science* 55:255-262. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., C. Dénier, T. Colás-Marrufo y M. Sánchez-Crespo 1999. Red Grouper Reproduction in the Southern Gulf of Mexico. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:385-402. American Fisheries Society. EE.UU.
- Brulé, T., T. Colás-Marrufo, A. Tuz-Sulub y C. Dénier 2000. Evidence for protogynous hermaphroditism in the serranid fish *Epinephelus drummondhayi* (Perciformes: Serranidae) from the Campeche Bank in the southern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 513-521. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Brulé, T., X. Renán, T. Colás-Marrufo, Y. Hauyon, A. Tuz-Sulub y C. Dénier 2003. Reproduction in the protogynous black grouper (*Mycteroperca bonaci* (Poey)) from the southern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 101:463-475. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Brulé, T., C. Dénier, T. Colás-Marrufo y X. Renán. En prensa a. *Reproductive biology of gag in the southern Gulf of Mexico*. *Journal of Fish Biology*. Blacwepp Publishing Ltd. Gran Bretaña.
- Brulé, T., J.C. Sámano-Zapata, T. Colás-Marrufo, E. Pérez-Díaz y C. Dénier. En prensa b. Primeros resultados sobre la reproducción del pargo del Golfo *Lutjanus campechanus*, de la plataforma continental de la Península de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 55. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Bullock, L.H. y M.D. Murphy 1994. Aspects of the life history of the yellowmouth grouper, *Mycteroperca interstitialis*, in the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 55:30-45. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. U. E.
- Bullock, L.H. y G.B. Smith 1991. Seabasses (Pisces: Serranidae). *Memoirs of the Hourglass Cruises*. 8 (Part 2).
- Bullock, L.H., M.D. Murphy, M.F. Godcharles y M. E. Mitchell 1992. Age, growth, and reproduction of jewfish *Epinephelus itajara* in the eastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 90: 243-249. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Bullock, L.H., M.F. Godcharles y Grabtree R.E. 1996. Reproduction of yellowedge grouper, *Epinephelus flavolimbatus*, from the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 59: 216-224. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Burgos, R. y O. Defeo 2000. Un marco de manejo precautorio para la pesquería de mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche, México. *Océánides* 15:129-140. Centro Interdisciplinario de Ciencias. La Paz, BCS, México.
- Bohnsack, J. A. 1996. Maintenance and recovery of reef fishery productivity. P. 283-314. En: N.V.C. Polunin y C.M. Roberts (eds.) *Reef Fisheries*. Chapman&Hall. London,

England.

- Bohnsack, J. A. 2000 A comparison of the short-term impacts of no-take marine reserves and minimum size limits. *Bulletin of Marine Science* 66: 635-650. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Byron, D., D.M. Wyanski, B.M. Eleby y C.G. Lilyestrom 2002. Tiger grouper (*Mycteroperca tigris*): profile of a spawning aggregation. *Bulletin of Marine Science* 70:233-240. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Carter, J. y D. Perrine 1994. A spawning aggregation of dog snapper, *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. *Bulletin of Marine Science* 55:228-234. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Carter, J., G.J. Marrow y V. Pryor 1994. Aspects of the ecology and reproduction of Nassau grouper, *Epinephelus striatus*, off the coast of Belize, Central America. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 43:65-111. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Camber, I. C. 1955 A survey of the red snapper fishery of the Gulf of Mexico, with special reference to the Campeche Banks. *Technical Series* No. 12. Department of Natural Resources Florida State, Board of Conservation.
- Chiappone, M., R. Sluka, y K.S. Sealey 2000. Groupers (Pisces: Serranidae) in fished and protected areas of the Florida Keys, Bahamas and northern Caribbean. *Marine Ecology Progress Series* 98:261-272
- Chigbu, P., Ogle J. T., Jeffreu, M. Lotz y E.L. Coleman 2002. Some aspects of the culture of red snapper. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:228-233. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Clarke, M.E., M.L. Domeier y W.A. Laroche 1997. Development of larvae and juveniles of the mutton snapper (*Lutjanus analis*), lane snapper (*L. synagris*) and yellowtail snapper (*L. chrysurus*). *Bulletin of Marine Science* 66:721-728. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Claro R., 1982. Ecología y ciclo de vida de la biajaiba, *Lutjanus synagris* (Linnaeus), en la plataforma cubana. IV. Reproducción. *Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología*. No.5 Academia de Ciencias de Cuba.
- 1983. Ecología y ciclo de vida del caballerote, *Lutjanus griseus* (Linnaeus), en la plataforma cubana. II. Edad y crecimiento, estructura de las poblaciones, pesquerías. *Reporte de Investigación del Instituto de oceanología*. No.8 Academia de Ciencias de Cuba.
- Claro, R. y J.P. García-Arteaga 2001. Growth patterns of fishes of the cuban shelf. P. 149-178 in R. Claro, K.C. Lindeman and L.R. Parenti (eds.) *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Claro, R.J., A. García-Cagide, L.M. Sierra y J.P. García-Arteaga 1990. Características biológico-pesqueras de la cherna criolla, *Epinephelus striatus* (Bloch) (Pises:

- Serranidae) en la plataforma cubana. *Ciencias Biológicas* 23:23-43.
- Colás-Marrufo, T. Brulé y C. Deniél 1998. Análisis preliminar de las capturas de meros realizadas a través de unidades de la flota mayor en el sureste del Golfo de México. *Proceedings of the Caribbean Fisheries Institute*. 50:780-803. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Florida, EE.UU.
- Colás-Marrufo, T. A. Tuz-Sulub y T. Brulé 2002. Observaciones preliminares sobre la pesquería de meros (Serranidae: Epinephelinae) en el parque marino Nacional "Arrecife Alacranes", Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:431-445. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Coleman, F.C., C.K. Koenig y L.A. Collins 1996. Reproductive styles of shallow-water groupers (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregations. *Environmental Biology of Fishes* 47:129-141. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Coleman, F.C., C.C. Koenig, G.R. Huntsman, J.A. Musick, A.M. Eklund, J.C. McGovern, R.W. Chapman, G.R. Sedberry y C. B. Grimes 2000. Long-lived reef fishes: The grouper-snapper complex. *Fisheries* 25:14-21. American Fisheries Society. EE.UU.
- Colin, P.L. 1992. Reproduction of the Nassau grouper, *Epinephelus striatus* (Pisces: Serranidae) and its relationship to environmental conditions. *Environmental Biology of Fishes* 34:357-377. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- 1994. Preliminary investigations of reproductive activity of the jewfish, *Epinephelus itajara* (Pisces: Serranidae). *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. 43:138-147. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Colin, P.L., D.Y. Douglas, Y. Shapiro y D. Weiler 1987. Aspects of the Reproduction of two Groupers, *Epinephelus guttatus* and *E. striatus* in the Western Indies. *Bulletin of Marine Science* 40: 220-230. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Colin, P.L., Koenig C.C. y W.A. Laroche 1996. Development from egg to juvenile of the red grouper (*Epinephelus morio*) (Pisces: Serranidae) in the laboratory. P. 399-414 in F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, Balgos and Pauli (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Collins, L.A., J. H. Finucane y L. E. Barger 1979. Description of larval and juvenile red snapper, *Lutjanus campechanus*. *Fishery Bulletin* 77:965-974. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., J.H. Finucane y L.E. Barger 1980. Description of larval and juvenile red snapper, *Lutjanus campechanus*. *Fishery Bulletin* 77: 965-974. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., A.G. Johnson y C.P. Keim 1996. Spawning and annual fecundity of the red

- snapper (*Lutjanus campechanus*) from the northeastern Gulf of Mexico. P. 174-188 in. F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos and D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Collins, L.A., Johnson, A.G., Koenig, C.C. y M.S Baker Jr. 1997. Reproductive patterns, sex ratio, and fecundity in gag, *Mycteroperca microlepis* (Serranidae), a protogynous grouper from the northeastern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin* 96:415-427. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Collins, L.A., G.R. Fitzhugh, L. Mourand, L.A. Lombardi-Carlson, W.T. Walling, Jr. W.A. Fable, Jr. M. R. Burnett y R. J. Allman 2001. Preliminary results from a continuing study of spawning and fecundity in the red snapper (Lutjanidae: *Lutjanus campechanus*) from the Gulf of Mexico, 1988-1999. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 52:34-47. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Collins, L.A., G.R. Fitzhugh, L.A. Lombardi, H.M. Lyon, W.T. Walling y D.V. Oliver 2002. Characterizations of red grouper (Serranidae: *Epinephelus morio*) reproduction from the eastern Gulf of Mexico. *Panama City Laboratory Contribution Series* 2002-07. National Marine Fisheries Service. EE.UU.
- Conover, D.O., J. Travis y F. Coleman 2000. Essential fish habitat and marine reserves: an introduction to the second mote symposium on fisheries ecology. *Bulletin of Marine Science* 66: 527-534. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Crabtree, R.E. y L.H. Bullock 1998. Age, growth, and reproduction of black grouper, *Mycteroperca bonaci*, in Florida waters. *Fishery Bulletin* 96:735-753. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Diario Oficial de la Federación 2000. Tomo CLXIII, 28 de agosto, 63-67 p.
- 2003. Tomo DXCIII, 13 de febrero, 48-49 p.
- Dodrill, J., Manooch III C.S. y Manooch A.B. 1993. Food and feeding behavior of adult snowy grouper *Epinephelus niveatus* (Valenciennes) (Pisces: Serranidae), collected off the Central North Carolina coast with ecological notes on major food groups. *Brimleyana* 19:101-135.
- Doi, T., D. Mendizabal y M. Contreras 1981. Análisis preliminar de la población de mero, *Epinephelus morio* (Valenciennes) en el Banco de Campeche. *Ciencia pesquera* 1:1-15 Instituto Nacional de la pesca. Secretaria de Pesca. México.
- Domeier, M.L. y P.L. Colin 1997. Tropical reef fish spawning aggregations: defined and reviewed. *Bulletin of Marine Science* 60: 698-726. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Domeier, M. L., C. Koenig y F. Coleman 1996. Reproductive biology of the gray snapper (*Lutjanus griseus*), with notes on spawning for other western Atlantic snapper

- (Lutjanidae). P. 189-201. En: F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Druzhini, A.D. 1970. The range and biology of snappers (Fam. Lutjanidae). *Journal of Ichthyology* 10:717-736.
- Eklund, A.M., D.B. McClellan y D.E. Harper 2000. Black grouper aggregation in relation to protected areas within the Florida Keys National Marine Sanctuary. *Bulletin of Marine Science* 66:721-728. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU..
- Falfán-Vázquez, E. 2003. Estudio sobre la fecundidad del mero colorado *Epinephelus guttatus* (Linnaeus, 1758) del Banco de Campeche. Tesis de Maestría. Cinvestav- Unidad Mérida.
- Fischer, W. 1978. *FAO Species identification sheets for fisheries purposes*. Western Central Atlantic (fishing area 31), Vols 1-7, FAO, Rome.
- 2002. Age growth of Red snapper *Lutjanus campechanus*, in the northwestern Gulf of Mexico implications to the unit stock hypothesis *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:497-505. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Futch, R.B. y G.E. Bruger 1976. Age, Growth, and reproduction of red snapper in Florida waters. *Proceedings of the Colloquium of snapper-grouper fishery resources of the western Atlantic Ocean*. 17:165-184. Florida Sea Grant College Program.
- García-Cagide, A. y T. García 1996. Reproducción de *Mycteroperca bonaci* y *Mycteroperca venenosa* (Pisces: Serranidae) en la plataforma cubana. *Revista de Biología Tropical* 44:771-780.
- García-Cagide, A., R. Claro y B.V. Koshelev 2001. Reproductive patterns of fishes of the cuban shelf. P. 73-102. in R. Claro, K.C. Lindeman and L.R. Parenti (eds.) *Ecology of the Marine Fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- Gilmore, R.G. y R.S. Jones 1992. Color variation and associated behavior in the Epinepheline groupers, *Mycteroperca microlepis* (Goode and Bean) and *M. phenax* Jordan and Swain. *Bulletin of Marine Science* 51:83-103. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Giménez, E., B. Anderes, V. Moreno y R. Burgos 2001. Aspectos de la conducta alimentaria del mero (*Epinephelus morio*) del Banco de Campeche. *Ciencia Pesquera* 15: 165-170. INP. SAGARPA. México.
- Gómez, C.J., R. A. Guzmán y L.A. Marcano 1996. Biological aspects of the yellow aye snapper (*Lutjanus vivanus*) (Pisces: Lutjanidae) from the Los Hermanos Islands, Eastern Venezuela. P. 51-58. En: F. Arreguin-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos y D.

- Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*. International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- González, E. T. Damas, N. Millares y M. Borrego 1979. Desove inducido en el caballerote (*Lutjanus griseus* Linné 1758) en condiciones de laboratorio. *Revista cubana de Investigación Pesquera* 4:43-63.
- González y de la Rosa M. E. 1988. Estudio de la pesquería del huachinango (*Lutjanus Campechanus* Poey) del Banco de Campeche. Tesis de Maestría Cinvestav IPN Unidad Mérida.
- González y de la Rosa M. E. y C. Ré-Regis. 2001. Aspectos de la reproducción de *Lutjanus Campechanus* en Campeche, México. *Ciencia Pesquera* No. 15 .141-146 INP. SAGARPA. México.
- Grimes, C. B. 1987. Reproductive biology of the lutjanidae: a review. P. 239-294 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Guitart-Manday, D. y M. Juárez-Fernández 1966. Desarrollo embrionario y primeros estadios larvales de la cherna criolla, *Epinephelus striatus* (Bloch) (Perciformes: serranidae). *Estudios del Instituto de Oceanografía de la Habana*. 1:35-45.
- Gulf of Mexico Fishery Management Council 2003a. *Commercial fishing regulations for Gulf of Mexico Federal Waters. January 2003*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Florida.
- 2003b. *Recreational fishing regulations for Gulf of Mexico Federal Waters. January 2003*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Florida.
- Harris, P. J., D. M. Wyanski, D.B. White y J.L. Moore 2002. Age, growth, and reproduction of scamp, *Mycteroperca phenax*, in the southwestern North Atlantic, 1979-1997. *Bulletin Marine Science* 70:113-132. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Heemstra, P.C. y J.E. Randall 1993. FAO species catalogue. Vol. 16. *Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date*. FAO Fisheries Synopsis No.125. FAO, Roma.
- Hoese, H.D. y Moore R.H. 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico: Texas, Louisiana, and adjacent waters*. Texas A&M University Press College Station, Texas.
- Hood P.B. y R.A. Schlieder 1992. Age, growth, and reproduction of gag, *Mycteroperca microlepis* (Pisces: serranidae) in the eastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* 5:337-352. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). <http://>

- /www.redlist.org (29 de Julio de 2003)
- Johnson, G.D. y P. Keener 1984. Aid to identification of american grouper larvae. *Bulletin of Marine Science* 34:106-134. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Jones, R.S., E. J. Gutherz, W.R. Nelson y C. Matlock 1989. Burrow utilization by yellowedge grouper, *Epinephelus flavolimbatus*, in the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of fishes* 26:277-284. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Kendall, A.W. 1979. *Morphological comparisons of North American sea bass larvae (Pisces: Serranidae)*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 428. EE.UU.
- 1984. Serranidae: development and relationships. P 499-510. in *Ontogeny and Systematics of Fishes*. International Ahlstrom Symposium, American Society of Ichthyologists and Herpetologists.
- Kendall, A.W. Jr. y M.P. Fahay 1979. Larva of the serranid fish *Gonioplectrus hispanus* with comments on its relationships. *Bulletin of Marine Science* 29:117-121 Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- King, M. 1995 *Fisheries biology. Assessment and management*. Fishing News Books, Oxford. UK.
- Koenig, C.C., F.C. Coleman, L.A. Collins, Y. Sadovy y P.L. Colin 1996. Reproduction in gag (*Mycteroperca microlepis*) (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregation. P. 307-323 in F. Arreguín-Sánchez, J.L. Munro, M.C. Balgos and D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers*, International Center for Living Aquatic Resources Management, Conference Proceedings 48, Manila.
- Koenig, C.C., F.C. Coleman, C.B. Grimes, G.R. Fitzhugh, K.M. Scanlon, C.T. Gledhill y M. Grace 2000. Protection of fish spawning habitat for the conservation of warm-temperate reef-fish fisheries of shelf-edge reefs of Florida. *Bulletin of Marine Science* 66:593-616. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Leis, J.M. 1987. Review of the early life history of tropical groupers (serranidae) and snappers (Lutjanidae). Pages 189-237 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Levin P.S: y C.B. Grimes 2002. Reef fish ecology and grouper conservation and management, P. 377-389 in P. Sale (ed.) *Coral Reef Fishes*. Elsevier Science. San Diego, California.
- Lindeman K.C., R. Pugliese, G.T. Waugh y J.S. Ault 2000. Developmental patterns within a multispecies reef fishery: management applications for essential fish habitats and protected areas. *Bulletin of Marine Science* 66:929-956. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Longley, W. y S. F. Hildebrand 1941. Systematic catalogue of the fishes of Tortugas Florida. *Papers from Tortugas Laboratory*, Vol. 34. Carnegie Institution of Washing-

- ton Publications. Washington D.C.
- Manickchand-Dass, S.C. 1987. Reproduction, age and growth of the lane snapper, *Lutjanus sinagrys* (Linnaeus) in Trinidad, West Indies. *Bulletin of Marine Science* 40:22-28. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Manooch, C. S. 1987. Age and growth of snappers and groupers. Pages 329-373 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical Snappers and Groupers: Biology and Fisheries Management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Manooch, III, S.C. y D.L. Mason 1987. Age and growth of the warsaw grouper and black grouper from the southeast region of the United States. *Northeast Gulf Science* 9:65-75.
- Mason, D.L. y Manooch, III S.C. 1985. Age and growth of mutton snapper along the east coast of Florida. *Fisheries Research* 3:93-104. Elsevier Science Publishers.
- Matheson, III R.H. y G.R. Huntsman 1984. Growth, mortality, and yield-per-recruit models for speckled hind and snowy grouper from the United States South Atlantic Bight. *Transactions of the American Fisheries Society* 113: 607-616. American fisheries Society. EE.UU.
- Matheson, III R.H., G.R. Huntsman y C.S. Manooch, III. 1986. Age, growth, mortality, food and reproduction of the scamp, *Mycteroperca phenax* collected off North Carolina and South Carolina. *Bulletin of Marine Science* 38:300-312. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- McErlean, A.J. 1963. A study of the age and growth of the gag, *Mycteroperca microlepis* Goode and Bean (Pisces Serranidae) on the west coast of Florida. *Florida State Board of Conservation Marine Laboratory* 41:1-29.
- McErlean, A.J. y Smith, C.L. 1964. The age of sexual succession in the protogynous hermaphrodite *Mycteroperca microlepis*. *Transactions of the American Fisheries Society*. 93:301-302. American Fisheries Society. EE.UU.
- McGovern, J.C., D.M. Wyanski, O., Pashuk, C.S. Manooch II y G.S. Sedberry 1998. Changes in the sex ratio and size at maturity of gag, *Mycteroperca microlepis*, from the Atlantic coast of the southeastern United States during 1976-1995. *Fishery Bulletin* 96:797-807. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Millares, N, M. Borrego, T. Damas y E. González 1979. Desove inducido de la bíaiaiba. *Revista Cubana de Investigación Pesquera* 41:1-20.
- Minton, R.V., J.P. Hawke y W.M. Tatum 1983. Hormone induced spawning of red snapper, *Lutjanus campechanus*, *Aquaculture* 30:363-368. Elsevier Scientific Publishing Company. Netherlands.
- Moe, M.A. 1969. *Biology of the red grouper Epinephelus morio (Valenciennes) from the eastern Gulf of Mexico*. Florida Department of Natural Resources, Marine Research

- Laboratory, Professional Papers Series No. 10, Florida.
- Moore C.M. y R.F. Labisky 1984. Population parameters of relatively unexploited stock of snowy grouper in the Lower Florida Keys. *Transactions of the American Fisheries Society*. 113:322-329. American Fisheries Society. EE.UU.
- Moseley, F.N. 1966. Biology of the red snapper, *Lutjanus aya* Bloch, of the Northwetern Gulf of Mexico. *Publis. Institute Marine Science* 11:90-101 The University of Texas .
- Muhlia-Melo, A.F. 1976. Aspectos biologico-pesqueros de *Epinephelus morio* (Val.); "mero". *Memorias del primer Simposium Nacional sobre Recursos pesqueros de México* 2:223-265. Instituto Nacional de la Pesca. México.
- Munro J.L., V.C. Gaut, R. Thompson y P.H. Reeson 1973. The spawning seasons of caribbean reef fishes. *Journal of Fish Biology* 5:69-84. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Musick, J.A., M.M., Harbin, S.A. Berkeley, G.H. Burgess, A.M. Eklund, L. Findley, R.G. Gilmore, J.T. Golden, D.S. Ha, G.R. Huntsman, J.C., McGovern, S.J. Parker, S.G. Poss, E. Sala, T.W. Schmidt, G.R. Sedberry, H. Weeks y S.G. Wright 2000. Marine, estuarine, and diadromous fish stocks at risk of extinction in North america (exclusive of pacific salmonids). *Fisheries* 25:6-30. American Fisheries Society. EE.UU.
- Nelson, J.S. 1994. *Fishes of the World*. Third Edition. John and Wiley and Sons, Inc., New York.
- Parrish, J.D. 1987 The trophic biology of snappers and groupers. Pages 405-464 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Patterson, III, W.F., G.W. Walter-Ingram, Jr., R.L. Shipp y J.H. Cowan, Jr. 2002. Indirect estimation of red snapper (*Lutjanus campechanus*) and gray triggerfish (*Balistes capriscus*) release mortality. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53:526-535. Gulf and Caribbean Fisheries Institute.EE.UU.
- Potts, J. C. y C. S. Manooch, III. 1995. Age and growth of red hind and rock hind collected from North Carolina through the Dry Tortugas, Florida. *Bulletin of Marine Science* 56: 784-794. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- 1999. Observations on the age and growth of graysby and coney from the Sotheastern United States. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:751-757. American Fisheries Society. EE.UU.
- Powell, A.B. y J.W. Tucker, Jr. 1992. Egg and larval development of laboratory-reared nassau grouper *Epinephelus striatus* (Pisces, serranidae). *Bulletin of Marine Science* 50:171-185 Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Presley, R.F. 1970. Larvar snowy grouper *Epinephelus niveatus* (Valenciennes, 1828) from the Florida Straits. *Leaflet Series* 4:1-6 Florida Department of Natural Resources, Division of Marine Resources.
- Rabalais, N.N., S.C. Rabalais y C. R. Arnold 1980 Description of eggs and larvae of laboratory reared red snapper (*Lutjanus campechanus*) *Copeia* 4:704-708 American

Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.

- Rabalais, N.N., R.S. Carney y E.G. Escobar-Briones 1999. Overview of continental shelf benthic communities of the Gulf of México. P. 171-195. En: H. Kumpf, K. Steidinger and K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessments, sustainability and management*. Blacwell Science, Malden, Massachusetts.
- Ralston, S. 1987. Mortality rates of snappers and groupers. Pages 375-404 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- Randall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud. Trop. Oceanogr.* 5:665-847.
- Renán, X, T. Brulé, T. Colás-Marrufo, Y. Hauyon y C. Déniel 2001. Preliminary results of the reproductive cycle of the black grouper, *Mycteroperca bonaci* from the southern Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 52:1-14. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Renán, X. K. Cervera-Cervera y T. Brulé 2003. Probable nursery areas for juvenile groupers along the northern coast of the Yucatan Peninsula, México *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:1496-505. Gulf and Caribbean Fisheries Institute, EE.UU.
- Richards, W.J. y V.P. Saksena 1980. Description of larvae and early juveniles of laboratory-reared gray snapper, *Lutjanus griseus* (Linnaeus) (Pisces, lutjanidae). *Bulletin of Marine Science* 30:515-522. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Rivas, L. R. 1979. Review of the *Lutjanus campechanus* complex of red snappers. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Sciences* 15:117-135.
- Roberts, D. E., Jr. y R. A. Schlieder 1983. Inducen sex inversion, maturation, spawning and embryogeny of the protogynous grouper, *Mycteroperca microlepis*. *Journal of World Mariculture Society* 14:639-649.
- Roberts, M.R., N. Quinn, J.W. Tucker Jr. y Peter N. Woodward 1995. Introduction of hatchery-reared nassau grouper to a coral reef environment. *North American Journal of Fisheries Management* 15: 159-164 The American Fisheries Society. EE.UU.
- Rodríguez-Sánchez, H. 1986. Determinación de la edad y crecimiento del mero (*Epinephelus morio* Valenciennes) del Banco de Campeche utilizando dos estructuras óseas diferentes (otolito y hueso mesopterigoides) Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas.
- Russ, G.R. 2002. Yet another review of marine reserves as reef fishery management tools. P. 421-443 in *Coral Reef Fishes* P. Sale (ed.). Elsevier Science. San Diego, California.
- Sadovy, Y. 1994. Grouper stocks of the western central Atlantic: the need for management and management needs. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 43:

- 43-64. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- 1996. Reproduction of reef fishery species. P. 15-59 in N.V.C. Polunin and C.M. Roberts (eds.) *Reef fisheries*. Chapman and Hall, London.
- 1997. Problems of sustainability in grouper fisheries. P. 321-324 in *Proc. Fourth Asian Fisheries Forum*, China Ocean Press, Beijing.
- 1999. MPAs as generic tool. With emphasis on protection of long-lived fishes, such as groupers. Proceedings of the EXPO'98 Conference on Ocean Food Webs and Economic Productivity. Fisheries Research Report 5:43-45
- 2001. The threat of fishing to highly fecund fishes. *Journal of Fish Biology* 59:90-108. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Sadovy, Y. y P.L. Colin 1995. Sexual development and sexuality in the Nassau grouper. *Journal of Fish Biology* 46:961-976. Blackwell Publishing Ltd. UK.
- Sadovy, Y. y M.L. Domeier 1994. Aggregation and spawning in the tiger grouper, *Mycteroperca tigris* (Pisces: Serranidae). *Copeia* 2:511-516. American Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.
- Sadovy, Y. y A.M. Eklund 1999. *Synopsis of biological data on the nassau grouper, Epinephelus striatus* (Bloch, 1792), and the Jewfish, *E. itajara* (Lichtenstein, 1822) NOAA Technical Report NMFS 146, A Technical Report of the *Fishery Bulletin*. FAO Fisheries Synopsis No. 157 Seattle, Washington.
- Sadovy, Y. y D.Y. Shapiro 1987. Criteria for the diagnosis of hermaphroditism in fishes. *Copeia* 1:136-156. American Society of Ichthyology and Herpetologists. EE.UU.
- Sadovy, Y., M. Figuerola y A. Román 1992. Age, growth of *Epinephelus guttatus* in Puerto Rico and St. Thomas. *Fishery Bulletin* 90:516-528. Scientific Publications Office, National Marine Office. EE.UU.
- Sadovy, Y., A. Rosario y A. Román 1994. Reproduction in an aggregating grouper, the red hind, *Epinephelus guttatus*. *Environmental Biology of Fishes* 41:269-286. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Sale, P.F. 2002. The science we need to develop for more effective management. *Coral Reef Fishes*. P.16:361-376 in *Coral Reef Fishes* P. Sale (ed.). Elsevier Science. San Diego, California.
- Schirripa, M.J. y C.P. Goodyear 1994. Status of the vermilion snapper (*Rhomboplites aurorubens*), red snapper (*Lutjanus campechanus*), an gag (*Mycteroperca microlepis*) in the U.S. Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 51:139-151. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- SEMARNAP 2000. Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y manejo 1997-1998. SEMARNAP-INP, México, D.F.
- Shapiro, D.Y. 1987. Reproduction in groupers. P. 295-327 in J. J. Polovina and S. Ralston (eds.) *Tropical snappers and groupers: Biology and fisheries management*, Westview

Press, Boulder, Colorado.

- Shapiro, D.Y., Y. Sadovy y M.A. McGehee 1993a. Periodicity of sex change and reproduction in the red hind, *Epinephelus guttatus*, a protogynous grouper. *Bulletin of Marine Science* 53: 1151-1162. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Shapiro, D.Y., Y. Sadovy y M.A. McGehee 1993b. Size, composition and spatial structure of the annual spawning aggregation of the red hind, *Epinephelus guttatus* (pisces: serranidae). *Copeia* 399-406. American Society of Ichtiology and Herpetologists. EE.UU.
- Sherman, K. 1994. Sustainability, biomass yields, and health of coastal ecosystems: an ecology perspective. *Marine Ecology Progress Series* 112:277-301.
- Shipp, R. 1999. Status of exploited fish species in the Gulf of Mexico. P. 196-203 in H. Kumpf, K. Steidinger and K. Shermam (eds.) *The Gulf of México carge marine ecosystem. Assessments, sustainability and management*. Blackwell Science, Malden. Massachusetts.
- Sluka, R., M. Chiappone, K.M. Sullivan y R. Wrigth 1997. The benefits of marine fishery reserve for nassau grouper *Epinephelus striatus* in the central Bahamas. *Proc 8th Int. Coral Reef Sysm* 2:1961-1964.
- Smith, C. L. 1959. Hermaphroditism in some serranid fishes from Bermuda. *Papers of the Michigan Academy of Science, Arts and Letters* 41:111-119.
- Smith, C. L. 1961. *Synopsis of biological data on groupers (Epinephelus and allied genera) of the Western North Atlantic*. FAO Fisheries Biology Synopsis No.23, FAO, Rome.
- 1967. Contribution to a theory of hermaphroditism. *Journal of Theoretical Biology* 17:76-90.
- 1971. A revision of the american groupers: *Epinephelus* and allied genera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 146:67-242. N.Y.
- 1997. *National Audubon Ssociety Fiel guide to Tropical marine fishes of the Caribbean , the Gulf of Mexico, Florida, The Bahamas, and Bermuda*. Alfred A. Knopf, N.Y.
- Starck, W.A. 1971. Biology of the gray snapper, *Lutjanus griseus* (Linnaeus), in the Florida Keys P.10, 224 pp. En: W. A. Stark y R. E. Shroeder (eds.) *Investigations on the gray snapper*, *Lutjanus griseus*. University of Miami Press. Florida.
- Starck, W. y R.E. Schroeder 1970. Investigations on the gray snapper, *Lutjanus griseus*. *Studies in Tropical Oceanography No. 10* Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Stevenson, D. K. 1981. A review of the marine resources of the western central atlantic fisheries comission (WECAFC) region. FAO Fisheries Technical Paper No. 211. FAO. Roma.
- Thompson, R. y J.L. Munro 1978. Aspects of the biology and ecology of Caribbean reef fishes: Serranidae (hinds and groupers). *Journal of Fish Biology*, 12:115-146. Fisheries

- of the British Isles.
- Thompson, R. y J.L. Munro 1983. The biology, ecology and bionomics of the snappers, *Lutjanidae*. in J.L. Munro (ed.) *Caribbean Coral Reef Fishery Resources ICLARM std. Rev.* 17:94-109.
- Thresher, R.E. 1984. *Reproduction in reef fishes*. T.F.H. Publications, Hong Kong.
- Torres, R. y E. Chávez 1987. Evaluación y diagnóstico de la pesquería de rubia (*Lutjanus synagris*) en el estado de Yucatán. *Ciencias Marinas* 13:7-29. Universidad Autónoma de Baja California, México.
- Trexler, J.C. y J. Travis 2000. Can marine portected areas restore and conserve stock attributes of reef fishes? *Bulletin of Marine Science* 66:853-873. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science. EE.UU.
- Tucker J.W. Jr. 1991. Induced Spawning of nassau grouper *Epinephelus striatus*. *Journal of the Word Aquaculture Societe* 22:187-191. World Aquaculture Society.
- 1998. *Marine fish culture*. Kluwer Academic Publishers. Boston.
- Tupper, M. 2002. Essential fish habitat and marine reserves for groupers in the Turks & Caicos Islands. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 53: 606-622. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Tuz-Sulub, A.N. 1999. Composición, distribución e importancia pesquera de los serránidos (Subfamilia *Epinephelinae*) en el Banco de Campeche, Yucatán, México. Tesis de Maestría. Cinvestav-Unidad Mérida, 76 pp.
- Tuz-Sulub, A.N., K. Cercera-Cervera, T. Colás-Marrufo y T. Brulé. 2003. Primeros indicios sobre la formación de agregaciones de reproducción de meros (*Epinephelinae*: *Epinephelini*) en el Banco de Campeche. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:652-667. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.
- Valdés, E. y G. Padrón 1980. Pesquerías de palangre. *Revista Cubana de Investigación Pesquera* 5:38-52
- Watanabe, W.O., S.C. Ellis, E.P. Ellis, V.G. López, P. Bass, J. Ginoza y A. Moriwake 1996. Evaluation of firts-feeding regimens for larval nassau grouper *Epinephelus striatus* and preliminary, pilot-scale culture through metamorphosis. *Jornal of the Word Aquaculture Society* 27:323-331. Word Aquaculture Society. EE.UU.
- Watanabe, W.O., E.P. Ellis, S. C. Ellis, J. Chavez, C. Manfredi, R.W. Hagood, M. Sparsis y S. Arneson 1998. Artificial propagation of mutton snapper *Lutjanus analis*, a new candidate marine fish species for aquaculture *Jornal of the Word Aquaculture Society*. 29:176-186. Word Aquaculture Society. EE.UU.
- Wilson, R.W. Jr. y K.M. Burns 1996. Potential survival of released groupers caught deeper than 40 m based on shipboard and in-situ observations, and tag-recapture data. *Bulletin of Marine Science* 58:234-247. Rosentiel School of Marine and

Atmospheric Science. EE.UU.

Woods, M.K., A.J. Fischer, J. H. Cowan Jr, y D. L. Nieland 2003 Size and age at maturity of female red snapper *Lutjanus campechanus* in the northern Gulf of Mexico. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54:527-537. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. EE.UU.

AVES DEL GOLFO DE MÉXICO

Y LAS ÁREAS PRIORITARIAS PARA SU CONSERVACIÓN

*Julio C. Gallardo Del Ángel, Enriqueta Velarde González y
Roberto Arreola Alemón*

INTRODUCCIÓN

La información que se tiene sobre las aves del Golfo de México es sorprendentemente escasa, particularmente si se compara con la que existe para otras regiones marinas e insulares del país (Anderson 1983, Cody y Velarde 2002, Velarde *et al.* en prensa a). Ya que muchas aves pueden servir como indicadoras del estado del ambiente, es importante tener datos base y series de tiempo para poder llevar a cabo comparaciones e, idealmente, predicciones útiles en el planteamiento de estrategias de manejo. Los datos existentes para el Golfo de México sólo nos permiten tener listados de especies, y no permiten hacer comparaciones detalladas de cambios de distribución, ni mucho menos determinar cambios en las abundancias absolutas o relativas de las especies ahí presentes, a lo largo del tiempo.

En el caso de las aves terrestres y acuáticas se cuenta con un poco más de información, particularmente en el caso de las rapaces, debido a la sistematización de censos de estas especies que migran por la región central de Veracruz. Estos censos se han llevado a cabo durante más de diez años (Ruelas *et al.* 2000). La región se considera como el corredor migratorio más importante del mundo para este grupo de aves (Ruelas *et al.* 2000, Zalles y Bildstein 2000), habiéndose registrado más de 4 millones de aves rapaces cada otoño. El Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos de América ha

conducido, de manera sistemática censos de aves acuáticas en México desde los años 30 (DUMAC 1999b). Estos conteos han revelado que el 83% de las aves acuáticas migratorias de México se concentran en 28 área identificadas por Ducks Unlimited de México A. C., siete de las cuales se ubican en el Golfo de México (DUMAC 1999a).

MARCO GEOGRÁFICO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

MARCO GEOGRÁFICO

El Golfo de México es una cuenca de aproximadamente 1,400 km de diámetro máximo. Limita al norte con la costa sur-oriental de los Estados Unidos de América, al oeste y sur con las costas orientales de la República Mexicana y al oriente con la península de La Florida, la isla de Cuba y las aguas del océano Atlántico. Por lo tanto, abarca una zona marina con condiciones subtropicales a tropicales, propiciando una gran diversidad de condiciones climáticas y ambientales, a lo cual se suma su variada orografía e hidrología, generando complejas asociaciones bióticas al interior de su cuenca. En la región terrestre también existen diversas condiciones orográficas y climáticas, que favorecen la presencia de distintos tipos de vegetación, que van de los matorrales espinosos hasta la selva alta perennifolia (*sensu* Rzedowski 1983), así como las faunas asociadas a ellas, y muy diversas y complejas interacciones ecológicas.

Por las costas del Golfo de México se descarga aproximadamente el 60% del escurrimiento nacional. A su vez, esto origina extensiones importantes de humedales y sistemas lacustres, desde Laguna Madre en Tamaulipas hasta Ría Lagartos en la Península de Yucatán, los cuales son vitales para numerosas especies. Como ejemplo podemos citar a la Laguna Madre, dentro de cuyos límites se calcula que se concentra el 15% del total de las aves acuáticas migratorias que llegan a México (DUMAC 1999a).

De esta forma, las condiciones ambientales crean un mosaico de hábitat, tanto en la zona costera como en la región de plataforma continental y la pelágica, que favorece la presencia de una gran diversidad de especies de aves tanto migratorias como residentes. La amplia plataforma continental del Golfo de México, especialmente frente a las costas de Campeche y Yucatán, alberga una amplia gama de cayos arrecifales e islas, que son sitios de anidación de aves marinas y que representan, para algunas especies, los únicos sitios reproductivos dentro de los límites del Golfo de México. Entre

estas especies encontramos algunas enlistadas en la Norma Oficial Mexicana de especies en riesgo (NOM-059-ECOL-2000) (Semarnap 2000), como el bobo pata roja (*Sula sula*) y el charrán mínimo (*Sterna antillarum*). Estas islas y cayos también funcionan como sitios de descanso para muchas especies que atraviesan el golfo durante su migración.

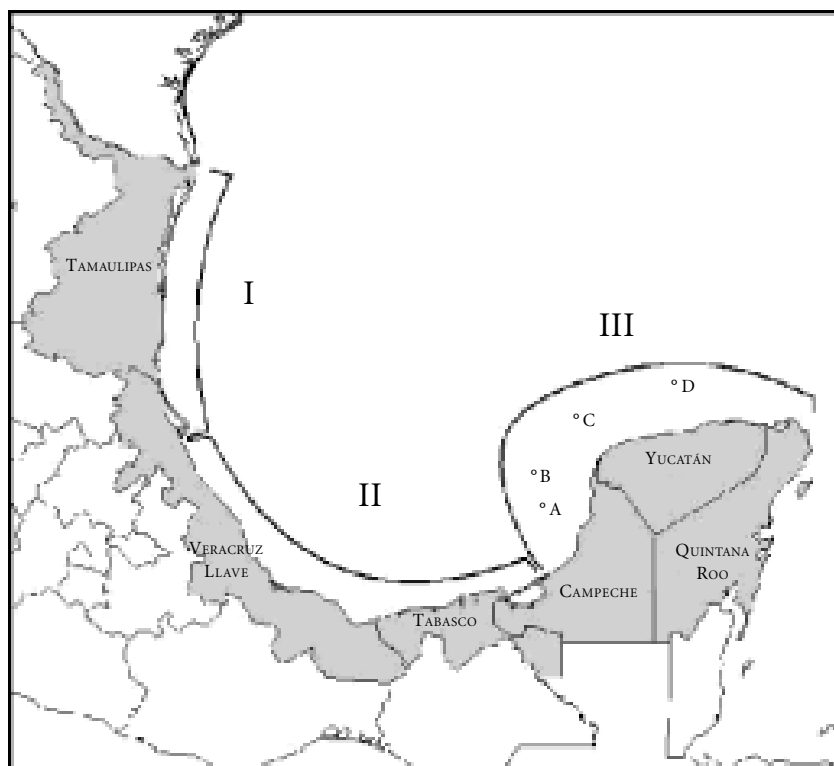
DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

Debido a que la mayoría de las especies de aves marinas dependen de organismos marinos para su alimentación, la composición de especies de la comunidad de estas aves está determinada, en gran medida, por los procesos regionales que influyen en la composición de especies de todo el ecosistema y la productividad primaria marina. A una escala menor, la distribución y abundancia de las diversas especies de aves marinas también están determinadas por las condiciones oceanográficas locales, las cuales pueden variar en cuestión de horas, y también pueden estar influidas por los cambios estacionales que determinan las características oceánicas en las diferentes estaciones del año. De la misma manera, en plazos más largos, variaciones periódicas como las de la Oscilación del Sur conocida como Fenómeno de El Niño, pueden determinar cambios en la distribución y abundancia de las aves marinas, e incluso, estrategias peculiares en su alimentación y reproducción (Anderson 1983, Velarde *et al.* en prensa a, Velarde *et al.* en prensa b).

La ubicación geográfica del Golfo de México, que va del límite norte del Trópico de Cáncer hasta colindar con las aguas del océano Atlántico y mar Caribe, y las complejas condiciones ambientales que en él prevalecen, fomentan una avifauna diversa, con distintos orígenes e influencias. En el Golfo de México podemos identificar tres regiones más o menos bien definidas, de acuerdo con las afinidades de la avifauna que presentan. La Zona I, con especies con una mayor afinidad neártica, tanto residentes como invernantes, se ubica desde la Laguna Madre hasta la Laguna de Tamiahua. Contreras-Balderas (1993) menciona que el 82% de la avifauna presente en Laguna Madre es de afinidad nortea. Esta zona representa, para varias especies, el límite más sureño de su distribución de invierno. Este es el caso, por ejemplo, para el águila calva (*Haliaeetus leucocephalus*) (Buehler 2000). La Zona II baja desde el norte de la Barra de Tuxpan (al sur de Tamiahua) hasta el sur del estado de Campeche. Se caracteriza por tener influencia de especies con afinidad neotropical, principalmente tratándose de especies

acuáticas. En su extremo norte, la zona representa el límite más norteño para algunas especies de afinidad neotropical que, como el avetoro neotropical (*Botaurus pinnatus*) (Howell y Webb 1995) o el milano caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), se distribuyen hasta centro y Sudamérica. La Zona III se ubica desde el centro y norte de Campeche hasta el extremo norte de Quintana Roo. En esta región encontramos especies de afinidad neotropical, pero con una influencia del Mar Caribe, principalmente en cuanto a aves marinas se refiere. Estas especies entran para alimentarse o anidar en las costas e islas de la zona (mapa 1).

MAPA1. FAMILIAS DE AVES, NÚMERO DE ESPECIES Y REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS AVES DEL GOLFO DE MÉXICO



DIVERSIDAD DE ESPECIES

DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD

Con base en los datos disponibles hemos podido detectar que en el Golfo de México existen 231 especies de aves, de las cuales el 44% son consideradas acuáticas, el 29 % terrestres y el 27% marinas (figura 1). Las especies se agrupan en 17 órdenes y 46 familias (cuadro 1). Los órdenes mejor representados, en cuanto a número de especies, son: Procellariiformes (pardelas y afines) con 11 especies (4.9 %), Pelecaniformes (pelicanos y afines) con 13 (5.8 %), Ciconiformes (garzas y afines) con 21 (9.4 %), Anseriformes (patos y afines) con 31 (13.8 %), Gruiformes (grullas y afines) con 15 (6.7 %), Charadriiformes (chorlitos y aves marinas afines) con 60 (27.7 %) y Passeriformes (gorriones y afines) con 44 (19.6 %) (Lowery y Dalquest 1951, Contreras-Balderas 1993, Montejo-Díaz, J.E. 1994, Ortiz-Pulido 1995, Cruz 1999, Gallardo 1999, 2003, Gallardo *et al.* 2000, Valenzuela y Vargas-Hernández 2000, Valenzuela 2001, Arreola obs. pers.). Las familias mejor representadas específicamente son: Procellariidae (pardelas) con 7 especies (3.04%), Anatidae (patos, cisnes y gansos) con 31 (13.48%), Rallidae (ralos y rascones) con 11 (4.78%), Charadriidae (chorlitos) con 8 (3.48%), Scolopacidae (playeritos) con 29 (12.61%), Laridae (gaviotas y charranes) con 26 (11.30%), Tyrannidae (mosqueros y tiranos) con 11 (4.78%) y Parulidae (chipes, mascaritas y pavitos) con 14 (6.09); estas familias agrupan el 59 % del total de las especies (figura 2) (Lowery y Dalquest 1951, Contreras-Balderas 1993, Montejo-Díaz, J.E. 1994, Ortiz-Pulido 1995, Gallardo 1999, 2003, Gallardo *et al.* 2000, Valenzuela y Vargas-Hernández 2000, Valenzuela 2001, Arreola obs. pers.).

La avifauna hasta ahora encontrada en el Golfo de México representa, aproximadamente, el 22% de las 1,060 especies de aves reconocidas para México (Navarro y Benitez 1993). Esta diversidad se puede explicar con base en las características biogeográficas y ecológicas de las regiones limítrofes del Golfo. En la región se pueden encontrar algunas especies de ocurrencia irregular o errantes, con distintas afinidades biogeográficas. Por ejemplo, en la parte norte de Tamaulipas, principalmente en invierno, suelen encontrarse algunas especies de aguas templadas, como el pato colilargo (*Clangula hyemalis*), o especies de ocurrencia regular en el Caribe como la pardela de Audubon (*Puffinus Iherminieri*) (Howell y Webb 1995).

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES DE AVES POR CATEGORÍA DEL USO DEL HÁBITAT EN EL GOLFO DE MÉXICO

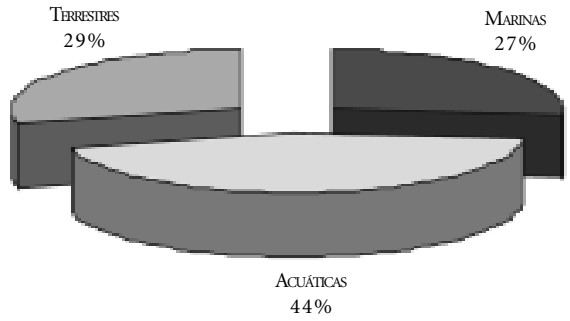
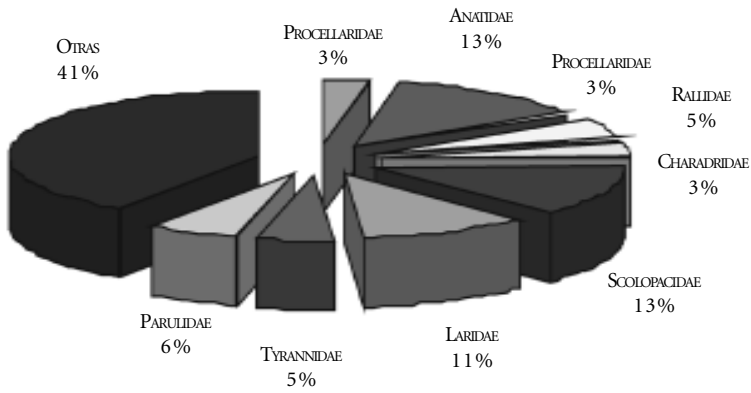


FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS FAMILIAS DE AVES MEJOR REPRESENTADAS EN EL GOLFO DE MÉXICO



CUADRO 1. FAMILIAS DE AVES, NÚMERO DE ESPECIES Y REPRESENTACIÓN PORCENTUAL
DE LAS AVES DEL GOLFO DE MÉXICO

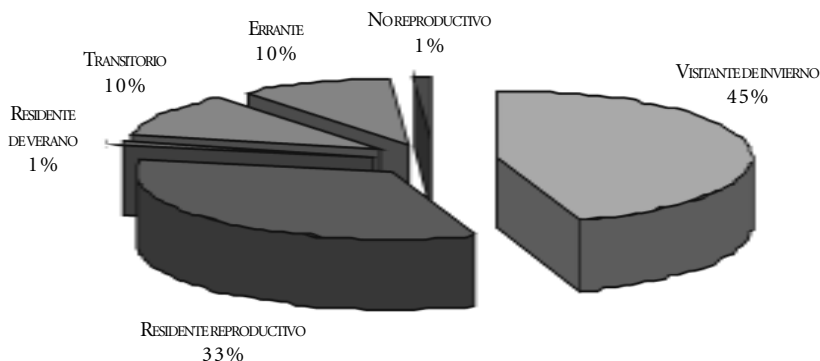
FAMILIA	ESPECIES N (%)	FAMILIA	ESPECIES N (%)	FAMILIA	ESPECIES N (%)
Gaviidae	1 (0.43%)	Accipitridae	5 (2.17%)	Alcedinidae	4 (1.74%)
Podicipedidae	3 (1.30%)	Falconidae	1 (0.43%)	Picidae	1 (0.43%)
Diomedidae	1 (0.43%)	Rallidae	11 (4.78%)	Tyrannidae	11 (4.78%)
Procellariidae	7 (3.04%)	Heliornithidae	1 (0.43%)	Vireonidae	2 (0.87%)
Hydrobatidae	3 (1.30%)	Aramidae	1 (0.43%)	Hirundinidae	2 (0.87%)
Phaetontidae	2 (0.87%)	Gruidae	2 (0.87%)	Troglodytidae	2 (0.87%)
Sulidae	5 (2.17%)	Charadriidae	8 (3.48%)	Sylviidae	1 (0.43%)
Pelicanidae	2 (0.87%)	Hematopodidae	1 (0.43%)	Turdidae	1 (0.43%)
Phalacrocoracidae	2 (0.87%)	Recurvirostridae	2 (0.87%)	Mimidae	1 (0.43%)
Anhingidae	1 (0.43%)	Jacaniidae	1 (0.43%)	Parulidae	14 (6.09)
Fregatidae	1 (0.43%)	Scolopacidae	29 (12.61%)	Thraupidae	1 (0.43%)
Ardeidae	15 (6.53%)	Laridae	26 (11.30%)	Emberizidae	5 (2.17%)
Threskeornithidae	4 (1.74%)	Columbidae	6 (2.61%)	Cardinalidae	2 (0.87%)
Ciconidae	2 (0.87%)	Cuculidae	2 (0.87%)	Icteridae	3 (1.30%)
Phoenicopteridae	1 (0.43%)	Capromulgidae	1 (0.43%)		
Anatidae	31 (13.48%)	Trochillidae	2 (0.87%)		

ESTACIONALIDAD DE LAS ESPECIES

Las especies de la comunidad de aves del Golfo de México muestran una marcada estacionalidad, ya que el 45% son visitantes de invierno, pasando ahí los meses invernales del Hemisferio Norte, como la agachona común (*Gallinago gallinago*); el 10% son transitorios, y sólo pasan un corto tiempo en el Golfo de México, mientras llegan a sus sitios de invierno, generalmente en latitudes más sureñas, como el chorlo dorado americano (*Pluvialis dominica*); otro 10% son accidentales o errantes, cuyo presencia en el Golfo de México se encuentra poco documentada o se encuentra con registros esporádicos, como el playero púrpura (*Calidris maritima*).

Si sumamos las tres categorías anteriores observamos que el 65% del total de las especies, depende de sitios adecuados en el Golfo de México para pasar el invierno, alimentarse y descansar durante su recorrido migratorio. Solo el 33% de las especies son residentes reproductivos, que pasan la mayor parte

FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ESPECIES DE ACUERDO CON SU ESTACIONALIDAD, EN EL GOLFO DE MÉXICO



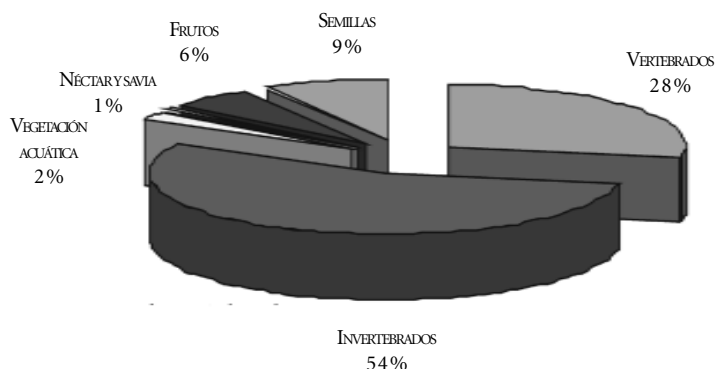
del año en la zona, y no tienen movimientos poblacionales aparentes; tal es el caso del chorlo de collar (*Charadrius collaris*), que además es una especie bajo protección especial. Las especies no reproductivas son las que se encuentran durante todo el año en la mayor parte del Golfo de México, pero se reproducen en otras áreas como los salteadores pomarino y parásito (*Stercorarius pomarinus* y *S. parasiticus*) y el charrán común (*Sterna hirundo*); las residentes de verano son aquéllas que sólo se encuentran en el Golfo durante su temporada reproductiva, y viajan al sur al finalizar ésta; ambas categorías representan sólo un 1%, cada una (figura 3). Es importante señalar que el alto porcentaje de especies no residentes se debe al hecho notable de que el Golfo de México se encuentra en la convergencia de las cuatro rutas migratorias de aves en América del Norte (Hines 1978), formando uno de los corredores más importantes a nivel mundial reconocidos hasta ahora para las aves migratorias (Zalles y Bildstein 2000).

ALIMENTACIÓN DE LAS ESPECIES

Los gremios alimentarios más importantes, por el número de especies que agrupan, son los de especies que se alimentan de vertebrados e invertebrados, representando el 82% del total. El 54% de las especies del Golfo de

México (figura 4) se alimentan de invertebrados tanto terrestres como acuáticos. Las especies de las 7 familias mejor representadas se alimentan parcial o totalmente de invertebrados, como los mosqueros (*Tyrannidae*), aunque también agregan algunas frutas en su dieta, mientras que los playeritos (*Socolopacidae*) se alimentan de crustáceos y pequeños moluscos en las riveras de los ríos, estuarios y playas. También encontramos a depredadores especializados en invertebrados, como el milano caracolero (*Rostrhamus sociabilis*), que habita en pantanos, manglares y lagunas.

FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS ESPECIES DE AVES DE ACUERDO CON SUS PREFERENCIAS ALIMENTARIAS EN EL GOLFO DE MÉXICO



Los vertebrados forman parte de la dieta del 28% de las especies del Golfo de México, siendo la familia Laridae la que aporta más especies a este gremio alimentario. Los peces son el alimento principal para varias especies como las gaviotas y las golondrinas marinas (Laridae), las garzas y garcetas (Ardeidae), el mergo copetón (*Mergus serrator*) y el gavilán pescador (*Pandion haliaetus*). Las especies que se alimentan de invertebrados y vertebrados son más susceptibles a los contaminantes, ya que se encuentran en los últimos niveles de las tramas tróficas, y representan al 82% de especies presentes en el Golfo de México.

El resto de gremios alimentarios es mucho menos representativo al tratarse, en su mayoría, de aves terrestres que representan, en su conjunto, el

29% del total de las especies. El 9% de la avifauna consume semillas y se trata, principalmente, de algunos patos y cercetas como el pato de collar (*Anas platyrhynchos*) o la cerceta canela (*Anas cyanoptera*). El 6% consumen frutos, entre las cuales podemos encontrar algunas especies terrestres como las calandrias o bolseros (*Icterus spp.*), o algunas especies acuáticas como las grullas americana y canadiense (*Grus americana* y *G. canadensis*). El resto son especies que se alimentan de néctar y savia (1%) como los colibríes (Trochilidae); y la vegetación acuática es consumida por el 2% de las especies, encontrando entre ellas algunos patos y gansos (Anatidae) y zambullidores (Podicipedidae).

MIGRACIONES Y HÁBITAT

En el Golfo de México confluyen las cuatro rutas migratorias de Norte América, teniendo mayor importancia la del Centro, la del Misisipí y la del Atlántico. Las condiciones que favorecen la concentración de las cuatro rutas migratorias corresponden al embudo que generan las cordilleras montañosas desde el sur de Canadá hasta México, acentuándose con la intersección del Eje Neovolcánico Transversal con la Sierra Madre Oriental en el centro del estado de Veracruz, los efectos climáticos producidos por las corrientes generadas por el movimiento de masas de aire entre zonas de alta a baja presión en el otoño, originando que se concentre el mayor número de rapaces migratorias en todo el mundo (Ruelas *et al.* 2000, Zalles y Bildstein 2000). Igualmente se concentra un gran número de individuos de otras especies en su paso migratorio por el Golfo, siendo más conspicuos en el centro de Veracruz. DUMAC (1999a) señala que las lagunas costeras que se encuentran a lo largo del Golfo de México son especialmente importantes para ciertos grupos de aves acuáticas migratorias, como para los patos, cercetas y gansos (Anatidae), y para ciertas especies de playeritos y agachonas (Scolopacidae). Algunas especies, principalmente de las rutas del Mississipí y del Atlántico, migran cruzando las aguas del Golfo, como lo hacen algunos chipes (Curson *et al.* 1994).

Los sistemas estuarinos y lagunares son una parte muy importante de los litorales en México, ya que representan más del 30% de estos. A lo largo del Golfo de México, se localizan 7 de los 28 humedales prioritarios de México (DUMAC 2000). Estos son de vital importancia tanto para aves residentes como para migratorias, ya que el 44% de las especies del Golfo de México dependen de estos hábitats. La importancia de los humedales en el Golfo de

México resalta al señalar que, tan sólo la Laguna Madre, en Tamaulipas, alberga el 15% del total de las aves acuáticas migratorias de México y el 80% de los anátidos de México (gansos, patos y cisnes). El sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, es el tercer humedal con mayor extensión en México. Para esta región, Cruz (1999) reporta 273 especies de aves (entre acuáticas, terrestres y marinas), que representan el 25.6% de las especies de aves presentes en México. Estos hábitats sin duda son muy importantes, tanto para especies residentes que se encuentran bajo alguna categoría de amenaza, como el carao (*Aramus guarauna*), como para especies migratorias. También Rappole (1995) señala que la costa y los sistemas lacustres son especialmente importantes para las aves visitantes de invierno, ya que los cuerpos de agua dulce y salobre son los hábitats utilizados por el mayor número de especies de aves migratorias neotropicales.

La mayoría de las islas del Golfo de México se encuentran sobre la extensa plataforma continental. Son sitios importantes para la reproducción de aves playeras, y el establecimiento de colonias de anidación de algunas especies de aves marinas, principalmente por ser áreas sin depredadores, o por tener una baja densidad de ellos, así como por estar aislados de la perturbación humana y cercanas a las zonas de alimentación de estas aves. Actualmente, se han encontrado aves marinas anidando sólo en muy pocas islas del Golfo de México, como en Arrecife Alacrán, Triángulo, Cayo Arcas y Cayo Arenas en Campeche pero, posiblemente, hayan sido más comúnmente ocupadas por aves marinas en épocas pasadas. Estas islas también son importantes para muchas especies de aves terrestres que migran hacia la Península de Yucatán o las Antillas, y que las utilizan para descansar y alimentarse, debido a que, como se mencionó anteriormente, la región queda incluida en el trayecto de las cuatro rutas migratorias de Norteamérica.

RIESGOS Y AMENAZAS

ESPECIES AMENAZADAS

Existen 36 especies con alguna categoría de protección o amenaza, tanto por las leyes mexicanas como por estar incluidas en las categorías internacionales de riesgo. De éstas, 33 tienen alguna categoría dentro de las leyes mexicanas (Semarnap 2000), 4 también poseen alguna categoría de la UICN (2000) y 3 corresponden exclusivamente a alguna categoría de la UICN. De las especies bajo alguna categoría de protección por las leyes mexicanas,

podemos resaltar algunos patos y cercetas (*Anas acuta*, *A. americana*, *A. discors* y *A. fulvigula*), que son especies de alto valor cinegético, tanto deportivo como de subsistencia. La grulla americana (*Grus americana*) es considerada como en peligro de extinción, tanto por las leyes mexicanas como las internacionales, ya que sus poblaciones han disminuido constantemente.

Las especies residentes reproductivas son las que tienen mayor número de taxa (hasta 16) bajo alguna categoría de protección. Mientras que las visitantes de invierno tienen 13 taxa bajo alguna de estas categorías, sólo 2 taxa entre las errantes y 5 especies entre las residentes e invernantes. Las aves acuáticas tienen 25 de las 36 especies con alguna categoría de amenaza; así como también 5 especies terrestres y 3 especies marinas. De aquí resalta la importancia, tanto nacional como internacional del Golfo de México, en la conservación de sus recursos avifaunísticos.

PESTICIDAS Y ACTIVIDAD AGROPECUARIA

Las actividades agropecuarias han afectado a las poblaciones de aves, sus recursos alimentarios y sus hábitats, en tres distintas maneras: a) la más común, pero la menos estudiada, es por envenenamiento directo debido a la aplicación de pesticidas en grandes cantidades, b) por la acumulación de algunos pesticidas, como los organoclorados, que han afectado negativamente el éxito reproductivo de algunas especies, como la garza morena (*Ardea herodias*), que se encuentra bajo protección especial y en cuyo caso se observó una correlación entre el adelgazamiento del cascarón del huevo con la presencia del DDT (Butler 1992), y c) debido a la acidificación de las aguas, que ha afectado de distinta manera y suele ser la amenaza menos conspicua. Algunas aves acuáticas, como el avetoro mínimo (*Ixobrychus exilis*), han sido afectadas por el cambio del pH en las aguas donde se alimentan (Gibbs *et al.* 1992), producto de la erosión de las tierras de cultivo, que diversos agroquímicos en los sedimentos que finalmente llegan a los cuerpos de agua.

ASENTAMIENTOS HUMANOS Y CONTAMINACIÓN

Los asentamientos humanos incrementan la demanda de servicios y recursos por la población humana, poniendo en riesgo la capacidad de recuperación y regeneración de los ecosistemas. La perturbación antropogénica en muchos de los casos es el efecto más directo y visible en las poblaciones de

aves, pues en la época reproductiva se ha observado el abandono parcial o total de los sitios de anidación en especies como el ibis de cara blanca (*Plegadis chihi*) (Ryder y Manry 1994). Existe poca información sobre los efectos directos e indirectos de las actividades humanas a lo largo del Golfo de México en las poblaciones de aves, lo cual nos impide hacer comparaciones en el tiempo y conocer sus consecuencias en las poblaciones de aves.

El desarrollo turístico en algunas partes del Golfo de México puede estar afectando a especies amenazadas, debido al aumento de la presencia humana en sitios previamente aislados, así como al incremento de los desarrollos turísticos. Un ejemplo de especies que pueden estar siendo afectadas es el charrán mínimo (*Sterna antillarum*). A pesar de que Thompson *et al.* (1997) consideran a esta especie ausente en la mayor parte del Golfo, y de que es sensible a las perturbaciones humanas, en los años 2000 y 2001 se encontraron colonias de anidación de esta especie en algunas playas del Golfo, con un alto grado de desarrollo industrial y turístico, en el centro y norte de Veracruz (Straub y Gallardo, obs. pers.). Por ello es posible considerar que la especie pudiera haber estado más ampliamente distribuida en épocas pasadas.

ACTIVIDADES PETROLERAS

Petróleos Mexicanos, a través de Pemex Exploración y Producción (PEP) se encuentra operando en la Sonda de Campeche desde el año de 1978, en la extracción del crudo pesado y ligero, así como de gas natural, en los yacimientos Cantarell, Ixtoc, Balam, Nohoch y otros más localizados en el área. Solamente en el yacimiento Cantarell se encuentran instaladas 65 plataformas y tres complejos de producción. El crudo extraído de las plataformas se transporta mediante una red de oleoductos a los complejos, donde es estabilizado. Normalmente, en las instalaciones de Cantarell el crudo ligero es separado del crudo pesado, y se envía al complejo petroquímico de Ciudad Pemex, Tabasco, y a tanques de almacenamiento en Dos Bocas. El gas producido es enviado a tierra mediante gasoductos a la estación de Atasta, Campeche.

Diferentes empresas llegan a operar (hasta 200) como contratistas de PEP en la zona del activo Cantarell, donde se encuentran emplazados los complejos de Producción Akal-C, Akal-J y Akal-N, ubicados aproximadamente a 75 km mar adentro, al noroeste de Ciudad del Carmen, en el estado de Campeche. Los complejos de producción están en un proceso de moder-

nización dentro del “Proyecto para la rehabilitación, modernización y optimización de la infraestructura del Campo Cantarell” mismo que se encuentra bajo la dirección de PEP.

Las actividades petroleras en el Golfo de México están siendo monitoreadas, en cierta medida, por instancias gubernamentales como Semarnat y Profepa; sin embargo, siempre existe el peligro potencial de derrames por hidrocarburos o emisiones contaminantes a la atmósfera, a pesar de las políticas ambientales y medidas tecnológicas que se han ido instrumentando gradualmente por parte de Pemex Exploración y Producción (Pemex 2001).

Se han registrado, al menos, 18 especies de aves migratorias y locales que utilizan los complejos de proceso como sitio de descanso (R. Arreola, obs. pers.). Estas son especies que no residen permanentemente en los complejos, sino sólo de forma temporal. Sin embargo, se les observa alimentarse en sitios tan diversos como los basureros de los complejos y las plataformas habitacionales, o pescar de los cardúmenes que se arremolinan alrededor de las estructuras de soporte de los complejos, atraídos por los desechos orgánicos provenientes de los comedores de las plataformas habitacionales. También se han observado aves exhaustas, descansando en las cubiertas de las plataformas, así como fragatas (*Fragata magnificens*) planeando con las corrientes ascendentes de aire caliente generadas por los quemadores de gas (R. Arreola, obs. pers.). Las interacciones de la avifauna con la actividad industrial marina son complejas, y algunas tienen efectos que pueden interpretarse como negativos al medio ambiente y por ende a la avifauna presente.

ÁREAS IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES

ÁREAS PROTEGIDAS

Las principales áreas naturales protegidas en la región del Golfo de México se encuentran clasificadas dentro de las categorías de Reserva de la Biosfera, Parque Nacional, Área de Protección de Flora y Fauna, Santuario y Área de Protección de Recursos Naturales. Las reservas de la biosfera de la zona son: Los Tuxtlas en Veracruz, Pantanos de Centla en Tabasco, Los Petenes en Campeche, Ría Celestún en Campeche y Yucatán y Ría Lagartos en Yucatán. Los parques nacionales de la región son el Sistema Arrecifal Veracruzano y el Arrecife Alacranes en Veracruz. En las tres últimas categorías se encuentran: Playa de Rancho Nuevo en Tamaulipas, La Mancha en Veracruz y Laguna de

Términos en Campeche, respectivamente. Estas áreas naturales protegidas no son, ni con mucho, representativas de los hábitats existentes en la región, ni lo suficientemente extensas como para cubrir las necesidades de hábitat de las aves residentes y migratorias del área, debido, entre otras razones a que muchas de ellas no han sido declaradas específicamente para la protección de la ornitofauna, sino con algún otro grupo taxonómico como justificante principal de su creación. Por ello, vemos que las poblaciones más importantes de muchas de las especies clave de aves, de los diferentes ecosistemas, no están incluidas en áreas protegidas. Como resultado, muchas regiones con hábitats esenciales para dichas especies están siendo perturbados, severamente alterados o, incluso, totalmente destruidos. Un claro ejemplo es el de la mascarita de Altamira (*Geothlypis flavovelata*), que es una especie que depende de los humedales del noreste de México y no está representada en ninguna área natural protegida, por citar sólo un caso.

ÁREAS IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES

En respuesta a esta severa problemática, un gran número de ornitólogos de México, con el apoyo de varias instancias, tanto académicas (UNAM, UBIPRO Iztacala), como de gobierno (Semarnap, Conabio), así como de organizaciones no gubernamentales (Cipamex, FMCN), y diversos organismos internacionales (Comisión para la Cooperación Ambiental, National Fish and Wildlife Foundation, BirdLife International, American Bird Conservancy, National Audubon Society), entre las más importantes, han hecho un esfuerzo paralelo para identificar las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en México (AICA) (Arizmendi y Márquez Valdelamar 2000). Se han propuesto 20 AICA (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves en México) en la región del Golfo de México, en las cuales se resalta la importancia de los sistemas costeros, lacustres e islas. A lo largo de estos sitios se puede apreciar la importancia del Golfo de México como un gran sistema subdividido en regiones con características propias, pero que interactúan entre sí, por medio de fenómenos ecológicos, como las migraciones, y procesos productivos de las regiones marinas y acuáticas.

CONSIDERACIONES FINALES

En lo que se refiere a la falta de información relativa a las aves marinas en la

porción mexicana del Golfo de México, es necesario enfatizar que el conocimiento de su distribución y abundancia es importante, ya que estos parámetros son un reflejo de las condiciones oceanográficas y, por lo tanto, de los recursos alimentarios que existen a su disposición, en las diferentes épocas del año o en años con diferentes condiciones oceanográficas (Anderson 1983, Velarde *et al.* en prensa a, Velarde *et al.* en prensa b). Debido a ello, las aves marinas pueden constituir excelentes elementos para el monitoreo del estado de las poblaciones de las especies marinas de las cuales se alimentan (Anderson *et al.* 1980, Anderson y Gress 1984, Furness 1984, MacCall 1984, Berruti y Colclough 1987, Furness y Nettleship 1991, Hamer *et al.* 1991, Velarde *et al.* 1994, Crawford y Dyer 1995, Montevecchi y Myers 1995, Crawford 1998, Furness y Tasker 1999, Lewis *et al.* 2001). El valor de las aves marinas como una herramienta para el monitoreo y, aún más importante, para la obtención de series de tiempo para la predicción de las capturas pesqueras, es de vital importancia en el manejo pesquero, particularmente en la actualidad, cuando la mayoría de las más importantes pesquerías del planeta se encuentran en su límite de explotación o sobreexplotadas (MacCall 1979, Radovich 1982, WRI 1994-95, Cisneros-Mata *et al.* 1995, Botsford *et al.* 1997). Para poder utilizar la información que proveen las aves marinas respecto a las pesquerías, o respecto de cualquier otro recurso marino, es necesario contar con información base y series de tiempo, que nos permitan hacer comparaciones bajo diferentes circunstancias.

En lo que se refiere a la industria petrolera y sus efectos, podemos decir que, bajo las presentes condiciones, es difícil tener una visión general del efecto sobre el medio ambiente, que está causando esta actividad. Se requiere de un esfuerzo de investigación y monitoreo por parte de personal especializado, y que se realice en el área misma de los complejos de proceso y sus plataformas, esfuerzo que, hasta ahora, no se ha llevado a cabo de la manera adecuada. A pesar de que existe ya una política de prevención y respuesta de la paraestatal a contingencias ambientales, tales como el derrame de hidrocarburos (López 2002, Guerrero 2003), es evidente que aún se requiere de un esfuerzo mayor para tener pleno control sobre los contaminantes que ahí se generan. Por todo lo anterior, consideramos que es importante que estos sitios sean monitoreados de forma directa por las instituciones gubernamentales responsables del cuidado del ambiente, para poder tener una visión más acertada de las especies del Golfo de México que son afectadas por ellos, y poder establecer estrategias para su administración y protección.

Con relación a las áreas naturales protegidas, es importante indicar que, a pesar de los grandes esfuerzos que las últimas administraciones han realizado por elaborar programas de manejo adecuados, y para obtener financiamientos suficientes para su implementación, no todas las áreas protegidas cuentan con uno, ni mucho menos con un presupuesto operativo suficiente para cumplir con sus objetivos. Aunado a esto, la perspectiva se complica si consideramos la compleja problemática socioeconómica que permea la problemática de la conservación a lo largo y ancho del país, ya que no es suficiente con decretar áreas protegidas si la población de las zonas aledañas, o la que se encuentra en su interior, sufre numerosas carencias y está inmersa en un sistema que no le permite superarlas. La conservación de los recursos naturales en estas áreas sólo será posible o, por lo menos se facilitará enormemente, si la población local se involucra, de forma comprometida, no sólo en la implementación, sino contribuyendo en la elaboración de los programas de manejo de las mismas.

Mucho hemos leído y escuchado afirmar a los especialistas que la riqueza natural del planeta es nuestro patrimonio y fuente de subsistencia, y que sin ella la especie humana está destinada a la destrucción o, por lo menos, a un nivel de empobrecimiento en todas las esferas de su existencia, que es difícil de imaginar actualmente. También hemos escuchado y leído que México se encuentra entre los cinco países más ricos de la Tierra, por lo menos en cuanto a especies de plantas, reptiles, aves y mamíferos se refiere. Esto también se aplica a la esfera cultural de nuestro país, ya que se encuentra en la región de Mesoamérica, cuna de varias de las civilizaciones culturalmente más ricas del planeta, así como de los sistemas agrícolas más complejos y eficientes. Aunque recientemente esta información se ha comenzado a difundir entre la población en general, es necesario extender esta conciencia a todo el público, particularmente entre aquellos sectores alejados de los sistemas productivos, y aún más precisamente, de los sistemas productivos tradicionales, incluyendo a todas aquellas personas que se encuentran en posiciones de toma de decisiones, en todos los niveles de gobierno, así como en la iniciativa privada.

La gran mayoría de las experiencias han demostrado que los mejores resultados se obtienen al conjugar el conocimiento tradicional y la participación social, con el conocimiento científico y técnico, encaminados a obtener un uso racional y sustentable de los recursos. El uso sustentable de nuestros recursos naturales, entendido como el uso por parte de las generaciones actuales que permita la permanencia de los recursos para uso por las generaciones venideras, al tiempo que se mantienen las especies, los elementos, y

los procesos ecológicos en los ecosistemas naturales, es el mayor reto que actualmente enfrenta nuestra sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Instituto Nacional de Ecología por estimular el esfuerzo de reunir y organizar la información aquí presentada, particularmente al Dr. Ezequiel Ezcurra y a las M. en C. Irene Pisanty y Margarita Caso. Agradecemos el apoyo del Dr. Virgilio Arenas y al Maestro Juan Manuel Vargas del Centro de Ecología y Pesquerías de la Universidad Veracruzana y a los programas Conacyt/Sigolfo y Promep, por el apoyo económico para algunas salidas de campo. Especialmente agradecemos a las personas que ayudaron a reunir los registros de las especies tanto de la literatura, por observaciones de campo y en las colecciones científicas, como Nate Rice de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, Betty Petersen directora del programa de Birders Exchange de Manomet, Laurie J. Goodrich, Keith L. Bildstein, David Barber y Sue Wolf del Hawk Mountain Sanctuary, Sergio H. Aguilar y Jorge Montejo de Pronatura Veracruz, la Dra. Patricia Escalante, curadora de la Colección Nacional de Aves de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a los M. en C. Noemí Chávez y Marco Gurrola, también de la Colección Nacional de Aves de la UNAM; a las personas que contribuyeron con materiales y equipos como Mark Stackhouse, Richard y Federicka Heller y a todas aquellas personas que contribuyeron a la colecta de las observaciones del primer autor en el campo, particularmente a Raúl Ortiz-Pulido, Paola Rodríguez, Fernando Mata, Román Díaz, Robert Straub, Daniel A. Guerrero, Jorge Del Ángel, Manuel Del Ángel, Jorge Gonzáles y Rocío Ortega. Finalmente, agradecemos al personal y amigos de Protección al Medio Ambiente de Demar Instaladora y Constructora, S.A. de C.V. que estuvo a cargo del tercer autor, especialmente al Q.F.B. Adrián López M., y a la I.Q. Araceli Guerrero T. por compartir información del Akal-C.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D.W. 1983. The Seabirds. Pp. 246-264. En: T.J. Case y M.S. Cody (eds.). *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. University of California Press, Berkeley, California, EE.UU.
- Anderson, D.W. y F. Gress 1984. Brown Pelicans and the anchovy fishery off southern California. Pp. 128-135. en: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.).

- Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Anderson, D.W., F. Gress, K.F. Mais y P.R. Kelly. 1980. Brown pelicans as anchovy stock indicators and their relationship to comercial fishing. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 21: 54-61.
- Arizmendi, M.C. y L. Márquez Valdelamar (eds.) 2000. *Areas de Importancia para la Conservación de las Aves en México*. CONABIO, México .
- Berruti, A. y J. Colclough 1987. Comparisson of the abundance of pilchard in Cape Gannet diet and commercial catches off the Western Cape, South Africa. *South African Journal of Marine Sciences* 5: 863-869.
- Botsford, L.W., J.C. Castilla y C.H. Peterson 1997. The Management of Fisheries and Marine Ecosystems. *Science* 277:509-515.
- Buehler, D. A. 2000. Bald Eagle (*Haliaeetus leucocephalus*). En: A. Poole y F. Gill (eds.) *The Birds of North America*. No. 506. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologists' Union. EE.UU. 40 pp.
- Butler, R.W. 1992. Great Blue Heron (*Ardea herodias*). En: A. Poole, P. Stetternheim y F. Gill (eds.) *The Birds of North America*. No. 25. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences, Washington, D.C.: The American Ornithologist's Union. EE.UU. 20 pp.
- Cisneros-Mata, M.A., M.O. Nevárez-Martínez y M.G. Hammann 1995. The rise and fall of the pacific sardine, *Sardinops sagax caeruleus* Girard, in the Gulf of California, México. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 36:136-143.
- Cody, M.L. y E. Velarde 2002. The Landbirds. Pp. 271-312. En: T.E. Case, M.L. Cody y E. Ezcurra (eds.) *A New Island Biogeography of the Sea of Cortés*. Oxford University Press, Oxford, EE.UU.
- Contreras-Balderas, A. J. 1993. Avifauna de la Laguna Madre, Tamaulipas. Pp. 553-558, En: S. I. Salazar-Vallejo y N. E. Conzález (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. Conbaio/ CIQRO, México. 865 pp.
- Crawford, R.J.M. 1998. Responses of african penguins to regime changes of sardine and anchovy in the Benguela System. *South African Journal of Marine Sciences* 19: 355-364.
- Crawford, R.J.M. y B.M. Dyer 1995. Responses by four seabird species to a fluctuating availability of Cape Anchovy *Engraulis capensis* off South Africa. *Ibis* 137:329-339.
- Cruz C., O.G. 1999. *Aves del humedal de Alvarado, Veracruz: Características de la comunidad, importancia y conservación*. Universidad Veracruzana, Facultad de Biología. Cordoba, Ver. México. 32 pp.
- Curson J., D. Quinn y D. Beadle 1994. *Warblers of the Americas: an identification guide*. Houghton Mifflin Company. EE.UU. 252 pp.
- DUMAC 1999a. ¿Hacia dónde vamos?: planeación estratéfica. *Ducks Unlimited de México*. Año 21, Primavera. Pp. 15-24. México.

- . 1999b. Voluntariado y conservación: Un vínculo esencial. *Ducks Unlimited de México*. Año 21, Verano. Pp. 19-24. México.
- Furness, R.W. 1984. Seabird-fisheries relationships in the northeast Atlantic and North Sea. Pp 162-169, en: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.) *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Furness, R.W. y D.N. Nettleship 1991. Seabirds as monitors of changing marine environments. *Acta XX Congressus Internationalis Ornithologici* 4:2239-2240.
- Furness, R.W. y M.L. Tasker (eds). 1999. *Diets of Seabirds and Consequences of Changes in Food Supply*. ICES Cooperative Research Report 232, International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Dinamarca.
- Gallardo D.A, J.C. 1999. Aves del Estado de Veracruz: observaciones de campo. Manuscrito sin publicar. México. 28 pp.
- . 2003. Estudio preliminar de la comunidad de aves del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y zonas adyacentes. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana, Facultad de Biología. Xalapa, Ver. México. 57 pp.
- Gallardo D.A., J.C., P. Rodríguez T. y F. Mata L. 2000. Reporte Preliminar de las Aves de la Isla de Sacrificios en el Sistema Arrecifal Veracruzano. 1er. Congreso Nacional de Arrecifes de Coral. México. P. 47.
- Gibbs, J.P., F.A. Reid y S.M. Melvin 1992. Least Bittern (*Ixobrychus exilis*). En: A. Poole, P. Stettenheim y F. Gill (eds.). *The Birds of North America*. No. 17. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologists' Union. EE.UU. 25 pp.
- Guerrero, T.A. 2003. Diagnóstico del Manejo de los Residuos Peligrosos de las Plataformas Akal-C1, Akal-C perforación, Akal-C Enlace, Akal-C2, Akal-C3, Akal-C4 y Akal-C6 del Complejo de Producción Akal-C del Activo Cantarell, Región Marina Noreste. Tesis de Maestría en trámite, Universidad Autónoma de Tabasco, México.
- Hamer, K.C., R.W. Furness y R.C. Caldow 1991. The effects of changes in food availability on the breeding ecology of great skuas *Catharacta skua* in Shetland. *Journal of Zoology*, London, 223:175-188.
- Hines, B. 1978. *Ducks at a distance: a waterfowl identification guide*. Department of the Interior/U.S. Fish and Wildlife Service. Washington D.C. EE.UU. 16 pp.
- Howell, S.N.G. y S. Webb 1995. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press. Oxford, EE.UU. 851 p.
- Lewis, S., S. Wanless, P.J. Wright, M.P. Harris, J. Bull y D.A. Elston 2001. Diet and breeding performance of black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* at a North Sea colony. *Marine Ecology Progress Series* 221:277-284.

- López, M. A. 2002. Plan de Control Ambiental Fase Construcción, Proyecto IPC-62. Documento Interno de DEMAR Instaladora y Constructora, S.A. de C.V. 41 pp.
- Lowery, Jr., G.H. y W.W. Dalquest 1951. Birds from the State of Veracruz, Mexico. U. of Kansas. *Museum of Natural History* 3(4):531-649.
- MacCall, A.D. 1979. Population estimates for the waning years of the Pacific sardine fishery. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 20:72-82.
- 1984. Seabird-fishery trophic interactions in eastern Pacific boundary currents: California and Peru. Pp. 136-149. En: D.N. Nettleship, G.A. Sanger y P.F. Springer (eds.) *Marine birds: their feeding ecology and commercial fisheries relationships*. Canadian Wildlife Service, Ottawa, Canadá.
- Montejo-Díaz, J.E. 1994. Breve información de las aves del Arrecife Triángulo Oeste, Banco de Campeche, México, con un nuevo registro para el país. Informe Interno, Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México.
- Montevecchi, W.A. y R.A. Myers 1995. *Prey harvests of seabirds reflect pelagic fish and squid abundance on multiple spatial and temporal scales*. *Marine Ecology Progress Series* 117:1-9.
- Navarro S., G. A. y D. H. Benitez 1993. Patrones de riqueza y endemismo de aves. Pp 45-54. En: O. Flores-Villela y S.G.A. Navarro (compiladores). *Biología y problemática de los vertebrados en México*. *Ciencias* 7.
- Ortiz-Pulido, R., H. Gómez de Silva G., F. González-García y A. Álvarez A. 1995. Avifauna del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha, Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana* 66:87-118.
- PEMEX 2001. Disposiciones en Materia de Seguridad Industrial y Protección Medio Ambiental que deben cumplir los proveedores o contratistas de Pemex Exploración y Producción (Anexo S). Dirección General de Pemex Exploración y Producción. Activo Cantarell. Documento Interno.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fishery: what have we learned? *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 28:56-78.
- Rappole, J. H. 1995. *The Ecology of Migrant Birds: a neotropical perspective*. Smithsonian Institution Press. EE.UU. 269 p.
- Ruelas I., E., S.W. Hoffman, L.J. Goodrich y R. Tingay 2000. Conservation Strategies for the World's Largest Known Raptor Migration Flyway: Veracruz the River of Raptors. Pp. 591-595. En: Chancellor, R.D. y B.U. Meyburg (eds.). *Raptor at Risk*. WWGBP/Hancock House. EE.UU.
- Ryer, R.A. y D.E. Manry 1994. White-faced Ibis (*Plegadis chihi*). En: A. Poole y F. Gill, (eds.). *The Birds of North America*. No. 130. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologist' Union. USA. 24 p.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México, D.F., México.

- Skyles, P.W., Jr., J.A. Rodgers, Jr., y R.E. Bennetts. 1995. Snail Kite (*Rostrhamus sociabilis*). En: A. Poole y F. Gill (eds.). *The Birds of North America*. No. 171. Philadelphia: The Academy of Natural Sciences; Washington, D.C.: The American Ornithologist' Union. EE.UU. 32 pp.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2000, Protección ambiental-Especies de flora y fauna silvestres de México-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación* de 16 de octubre de 2000. P. 55
- Valenzuela O., R.R. 2001. La avifauna de Isla Verde, Veracruz, México. Tesis profesional. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 34 pp.
- Valenzuela O., R.R. y J.M. Vargas-Hernández 2000. Notas ecológicas de la avifauna de Isla Verde, Ver. México. XI Congreso Nacional de Oceanografía. México. Pp. 165.
- Velarde, E., M.S. Tordesillas, L. Vieyra y R. Esquivel 1994. Seabirds as indicators of important fish populations in the Gulf of California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation Report* 35:137-143.
- Velarde, E, J.E. Cartron, H. Drummond, D.W. Anderson, F. Rebón Gallardo, C. Rodríguez y E. Palacios. (en prensa a). Nesting seabirds of the Gulf of California's offshore islands: diversity, ecology and conservation. En: J. E. Cartron, G. Cevallos y R.S. Felger (eds.). *Biodiversity, Ecosystems, and Conservation in Northern México*. Oxford University Press, New York.
- Velarde, E., E. Ezcurra, M.A. Cisneros-Mata y M.F. Lavín (en prensa b). Seabird ecology, El Niño anomalies, and prediction of sardine fisheries in the Gulf of California. *Ecological Applications*.
- World Resources Institute 1994. *World Resources 1994-95*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Zalles, J.L. y K.L. Bildstein 2000. *Raptor Watch: a global directory of migration sites*. Bird Life International/Hawk Mountain. EE.UU. 419 pp.

ESTADO ACTUAL DE LOS RECURSOS MALACOLÓGICOS DEL GOFO DE MÉXICO

Erick Raúl Baqueiro Cárdenas

IMPORTANCIA

La producción de moluscos en México en 2001 fue de 135,204 ton, con un valor total de 724 millones de pesos (72 millones de dólares), correspondiente al 10.2% del volumen y 5.62% del valor de la producción pesquera nacional. El 50.8% del volumen y el 59.44% de este valor se produjeron en las costas del Atlántico, provenientes en su mayoría de pesca artesanal de rivera, con un total de 43,392 embarcaciones, de pescadores cooperativados u organizados e independientes (cuadro 1).

Las estadísticas pesqueras agrupan la producción de moluscos en seis grupos: abulón, almejas, calamar, caracol, ostión y pulpo; el abulón no se registra en las costas del Golfo de México y el Caribe.

Las 24 especies que componen estos recursos (cuadro 2) son explotadas por pescadores libres y organizados en cooperativas u otra forma de organización. A excepción de las cooperativas ostioneras que tienen la explotación de esta especie como actividad principal, para todos los otros grupos de pescadores la extracción de moluscos es una actividad secundaria, complementaria a la pesca de escama o a actividades agrícolas. La explotación de todas ellas es por métodos artesanales, empleando desde la recolección a mano, como en el caso del ostión en Laguna de Términos, y almejas de arrecife en Veracruz; tenazas, dragas y cucharas operadas desde cayucos y lanchas para la

CUADRO 1. ORGANIZACIONES SOCIALES PESQUERAS REGISTRADAS Y SU MEMBRESÍA, SEGÚN LITORAL Y ENTIDAD FEDERATIVA, 2000

LITORAL Y ENTIDAD	NÚMERO DE ORGANIZACIONES			NÚMERO DE MIEMBROS		
	TOTAL	COOPERATIVAS	OFOS	TOTAL	COOPERATIVAS	OFOS
Litoral del Golfo y Caribe	1641	737	904	48,060	27,454	20,606
Tamaulipas	133	104	29	5,986	5,176	810
Veracruz	600	166	434	16,294	6,053	10,241
Tabasco	326	179	147	12,216	8,053	4,163
Campeche	299	184	115	6,929	4,824	2,105
Yucatán	231	59	172	5,275	2,058	3,217
Quintana Roo	52	45	7	1,360	1,290	70

Fuente: Anuario estadístico de pesca 2001.

extracción de las almejas de laguna en Alvarado, Veracruz y Términos, Campeche; hasta buceo libre y autónomo con equipo Scuba y compresor para la extracción de almejas y hacha en Yucatán y Quintana Roo. El pulpo es explotado tanto por una flota artesanal compuesta por más de 10,000 lanchas en los estados de Campeche y Yucatán, como por una flota de mediana altura estimada en 600 embarcaciones para el estado de Yucatán. El calamar es producto de pesca incidental en los arrastres de camarón.

Para las costas del Golfo de México y el Caribe los diferentes grupos de bivalvos constituyen el 63% del volumen y el 7% del valor, el ostión da cuenta del 61% del volumen y 75% del valor (figura 1) (Anuarios estadísticos de Pesca 2001). De los seis estados de la costa atlántica mexicana el primer lugar en volumen lo ocupa el estado de Veracruz con el 30.8%, seguido por Yucatán con el 24.3%, mientras que el primer lugar en valor lo ocupa el estado de Yucatán con el 31%, seguido por Veracruz con el 30% (figura 2).

Las capturas de caracol se han incrementado en los últimos 10 años de poco más de 3,182 ton en 1989 a 7,362 ton en 1999, con un significativo cambio en la importancia de aportación por estado, destacándose la importancia actual del estado de Campeche, que del 2% en 1980 (Baquero 1999) pasó a producir más del 66% en 2001.

CUADRO 2. GASTERÓPODOS, BIVALVOS Y CEFALÓPODOS COMERCIALES ACTUALES Y POTENCIALES DE LA SONDA DE CAMPECHE. E) EN PELIGRO DE EXTINCIÓN COMERCIAL; C) COMERCIAL; P) POTENCIAL; +) POSIBLE CANDIDATO A CULTIVO; ++) CON POTENCIAL DE ACUACULTURA; +++)) BIOTECNOLOGIA BIEN CONOCIDA

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	POTENCIAL PESQUERO	POTENCIAL ACUÍCOLA
Gasterópodos			
<i>Busycon carica</i>	Sacabocados o lix	C	+
<i>Turbinella angulata</i>	Caracol negro o tomburro	C	+
<i>Pleuroploca gigantea</i>	Trompeta maya o Chacpel	E	+
<i>Strombus costatus</i>	Lanceta	E	+
<i>Strombus pugilis</i>	Chivita	P	++
<i>Fasciolaria lilium</i>	Campechana	C	+
<i>Fasciolaria tulipa</i>	Campechana	C	+
Bivalvos			
<i>Melongena corona</i>	Molón	P	++
<i>Melongena corona bispinosa</i>	Moloncito	P	++
<i>Codakia orbicularis</i>	Almeja rayada o blanca	P	+
<i>Anadara transversa</i>	Arca transversa	P	+
<i>Atrina rigida</i>	Hacha	C	
<i>Argopecten irradians concentricus</i>	Almeja abanico	P	+++
<i>Geukensia demissa</i>	Mejillón amarillo	P	++
<i>Modiolus americanus</i>	Mejillón	P	+
<i>Mercenaria campechiensis</i>	Concha	P	+++
<i>Chione cancellata</i>	Almeja china	P	+++
<i>Rangia cuneata</i>	Almeja gallito	C	+++
<i>Rangia flexuosa</i>	Almeja chira	P	+
<i>Polymesoda carolineana</i>	Almeja negra	P	+
<i>Crassostrea virginica</i>	Ostión	C	+++
Gasterópodos			
<i>Octopus vulgaris</i>	Pulpo	C	++
<i>Octopus maya</i>	Pulpo	C	+++
<i>Loligo spp.</i>	Calamar	C	

FIGURA 1. PORCENTAJE DE LA PRODUCCIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE MOLUSCOS.

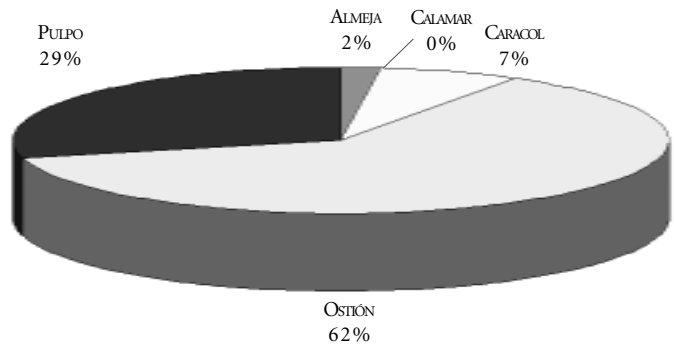
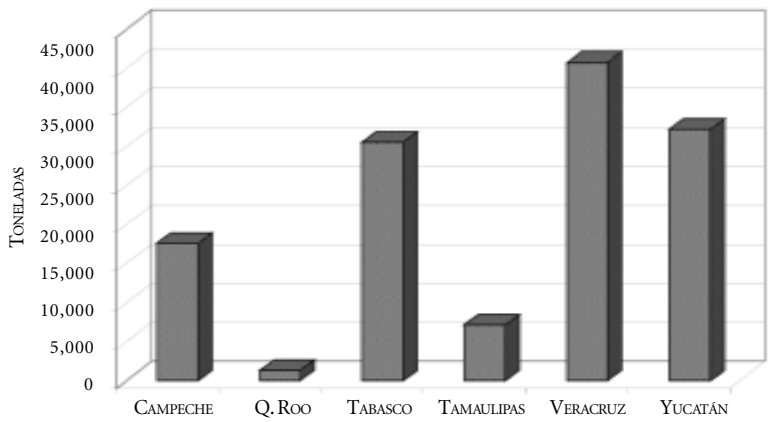


FIGURA 2. PRODUCCIÓN MEDIA DE MOLUSCOS EN LOS SEIS ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO



BIOLOGÍA

RANGIA CUNEATA (ALMEJA GALLITO), *R. FLEXUOSA*, (ALMEJA CASCO), *POLIMESODA CAROLINEANA*, (ALMEJA NEGRA)

R. cuneata es una especie estuarina que habita en rangos de 0 a 25%, tolerando una salinidad de hasta 32 % con un rango óptimo de 5 a 15 %, siendo este el mismo rango necesario para la eclosión y sobrevivencia de sus larvas, que alcanzan la metamorfosis de 6 a 7 días. Los adultos pueden vivir hasta 20 años en rangos de salinidad demasiado altos o bajos para la reproducción (Hopkins *et al.* 1973). Su distribución está dada de Bahía de Chesapeake, en la costa este de los Estados Unidos de América, hasta Texas (Abbott 1974), y se extiende hasta la laguna de Términos, abarcando todo el Golfo de México. Habita en fondos limosos con alto contenido de materia orgánica. Es el componente ecológico del bentos más importante en este rango de salinidad, como aprovechador de detritos y fitoplancton y su integración a la cadena trófica (Hopkins *et al.* 1974). En las lagunas mexicanas se le encuentra asociada con *R. flexuosa* y *Polimesoda carolineana*, habiendo detectado una proporción normal del 72% de *R. cuneata* contra 23% de *R. flexuosa* y sólo el 4% de *P. carolineana*, la cual es alterada por la presión pesquera hasta un 31% de *R. cuneata* contra 45% de *R. flexuosa* y 23% de *Polimesoda* (Baqueiro y Medina 1988).

Es una especie dioica, con el 0.1% de incidencia de hermafroditas, presenta actividad gonádica durante todo el año, con desove constante con máximos entre febrero y junio y en agosto-septiembre en la laguna de Pom y Atasta (Rogers y García-Cubas 1981b), mientras que para las aguas de los Estados Unidos de América se ha registrado actividad gonádica sólo seis meses del año y el desove limitado a intervalos bien definidos por cambios en salinidad y temperatura (Cain, 1972 en Hopkins *et al.* 1974b).

Las poblaciones rara vez están compuestas por cohortes de diferentes años, siendo más comunes las poblaciones compuestas de una o dos clases de edad. En Pon y Atasta, Rogers y García-Cubas (1981b) reportan dos clases de edad, mientras que Baqueiro y Medina (1988) informan para la laguna del Pom la presencia de tres grupos de cohortes, uno dominante de más de 3 años de edad y dos de reclutas de 1 y 2 años, respectivamente; para Atasta la población está compuesta por tres grupos de cohortes de 3 a 5 años de edad. Es evidente la disminución en edad máxima alcanzada por las poblaciones de las lagunas mexicanas debido a la alta presión pesquera, estan-

do muy por debajo de los 25 años de edad máxima registrada para algunas localidades de los E.U.A.

Asaphis deflorata (Almeja blanca de arrecife), *Codakia orvicularis* (Almeja Blanca), *Mercenaria campechiensis* (Concha), *Chione cancellata* (Almeja roñosa), *Geukensia demissa* (Mejillón amarillo)

Geukensia demissa es una especie de la provincia del Caribe, con distribución desde Florida y la Península de Yucatán hasta Venezuela. Habita en estrecha asociación con *Rizophora mangle*, en limo fino con alto contenido de materia orgánica, entre las raíces en la zona intermareal.

Asaphis deflorata habita en asociación con los arrecifes coralinos, en la laguna interior de éstos, en fondos de limo con alto contenido de carbonatos y fragmentos de concha y coral. *Codakia orvicularis* se encuentra en asociación a los bancos de *Thalassia* en fondos de limo fino con alto contenido de materia orgánica. *M. campechiensis* y *Ch. cancellata* se pueden encontrar, en asociación o no con *Thalassia* en fondos de arena y concha, desde la zona intermareal hasta los 36 m de profundidad. Todas éstas son especies marinas tropicales con un limitado rango de tolerancia de salinidad y baja temperatura (Sunderlin *et al.* 1975, Menzel 1986), aunque todas ellas soportan exposiciones relativamente prolongadas a la desecación.

Son especies dioicas con sexos separados y fecundación externa con un periodo de vida larvario de 4 a 6 días. Se fijan de preferencia en localidades con las características necesarias para la sobrevivencia del adulto, pero de no encontrar áreas adecuadas, se fijarán en cualquier tipo de sustrato. Baqueiro (1991 y 1988) determina patrones de reproducción para poblaciones de moluscos que habitan en condiciones ambientales similares a lo largo de las costas de México, teniendo así poblaciones de especies similares que viven bajo condiciones ambientales diferentes, con patrones reproductivos diferentes. Hay poblaciones de reproducción continua con un pico anual, poblaciones de reproducción continua con dos o mas picos anuales y poblaciones con reproducción limitada a un periodo bien definido.

De los análisis de los ciclos reproductores que se han realizado en México para *Mercenaria campechiensis*, *Chione cancellata* y *Geukensia demissa* (Baqueiro y Castillo 1987 y Baqueiro *et al.* 1993) se encuentra que las tres poblaciones estudiadas en la misma localidad presentan el segundo caso, reproducción continua con dos periodos de máximo desove: enero-marzo

y agosto-septiembre.

Para *M. campechiensis* se ha registrado un crecimiento de 25.5 mm en 6.5 meses en condiciones de cultivo y de 13 meses en medio natural (Sunderlin *et al.* 1975). Baqueiro *et al.* (1987) determinaron las curvas de crecimiento para *M. campechiensis* y *Chione cancellata* en bancos naturales no sujetos a explotación en las costas de Campeche:

Mercenaria campechiensis

$$Lt = 127.7(1-e^{-0.1165(t+0.168)})$$

Chione cancellata

$$Lt = 36.38 (1-e^{-0.1392 (t+0.0049)})$$

Para estas especies se ha registrado una densidad media de 2.2 y 66.72, con una máxima de 8.15 y 148, mínima de 0.24 y 6.2 para *M. campechiensis* y *C. cancellata*, respectivamente. Se llegan a obtener densidades bajo condiciones de cultivo de hasta 50 organismos por metro cuadrado para *Mercenaria* (Menzel *et al.* 1975). Bosada *et al.* (1987) encuentran que en la Laguna del Ostión, en Veracruz, *M. campechiensis* alcanza la talla comercial de 47 mm en 3.8 años (cálculo a partir de la ecuación de Von Bertalanfy, muy similar a lo reportado por Baqueiro *et al.* 1987).

La sobrevivencia registrada para *M. campechiensis* en experimentos de cultivo en medio natural va de un 72.5 % a un 0.7 % para individuos desde 12 mm hasta talla comercial (Sunderlin *et al.* 1975), mientras que para los bancos naturales se registró una mortalidad media anual de 0.44 para *M. campechiensis* y de 0.46 para *Chione* (Baqueiro *et al.* 1987).

G. demissa es una especie poco estudiada, y se cuenta sólo con la información de Baqueiro *et al.* (1993), que determinan la ecuación de crecimiento para la población de la localidad de Isla Arenas, Campeche:

$$Lt = 146.31(1-e^{-0.0198 (t+25.36)})$$

Esto permite obtener la talla mínima de explotación de 47 mm en 6 meses, con una densidad media de 330 organismos por metro cuadrado y una mortalidad media anual de 0.068.

ATRINA RIGIDA (CALLO DE HACHA)

Su distribución va de Carolina del Norte al Caribe y el Golfo de México; se puede encontrar asociada a los bancos de *Mercenaria* y *Chione*. Es una especie marina que habita desde el nivel mínimo de mareas hasta 25 m de pro-

fundidad en fondos de limo-arenoso, a seibadales de arena-*Thalassia* (Abbot *op. cit.*). Se le encuentra formando bancos con densidades medias de .3 a 5.5 organismos por 10 metros cuadrados (Baqueiro *et al.* 1987). Algunos bancos llegan a presentar densidades de hasta 20 por metro cuadrado de juveniles y entre 47 y 56 mm de largo y de 4 por metro para adultos (Baqueiro y Medina 1993).

Es una especie dioica, que presenta su primer reproducción cuando alcanza los 110 mm de largo. La actividad gametogénica se presenta con mayor intensidad en los meses de abril a julio, con dos periodos de desove en mayo y septiembre (Baqueiro y Medina *op. cit.*). Las poblaciones en las costas de Campeche están compuestas por mas de 5 grupos de edad, siendo los grupos dominantes de 1 a 3 años.

El autor ha recomendado una talla mínima de pesca de 83 mm de ancho equivalente a 155 mm de largo, correspondiente a organismos de 3 años de edad.

STROMBUS COSTATUS (CARACOL LANCETA O BLANCO), *STROMBUS PUGILIS*, *S. ALATUS*, *S. RANINUS* Y *S. GALLUS* (CARACOL LANCETA O CHIVITA).

Estas especies se distribuyen de Florida a Venezuela, provincia del Caribe. En México se les localiza de Veracruz a Quintana Roo y habitan en fondos de arena y arena-limo, en seibadales de *Thalassia* y algas. Durante su reproducción se congrega en fondos de arena con poca vegetación y algas filamentosas de la zona intermareal a 10 m de profundidad (Bandel 1976).

Su reproducción es cruzada, sin dimorfismo sexual aparente, detectable sólo por la presencia de pene en los machos. La masa ovígera es típica del genero *Strombus*, que consiste de un cordón de huevos que va sementando arena conforme es depositado, formando una madeja oval de 5 cm de diámetro por 10 cm de largo. El desarrollo embrionario en la cápsula ovígera es individual con una duración de 12 a 16 días, dependiendo de la temperatura. Eclosiona en forma de larva Véliger, la cual dura en su fase planctónica de 15 a 20 días dependiendo de la temperatura y disponibilidad de alimento (D'Asaro *et al.* 1970, Cruz 1984.). Al alcanzar la talla de 600 micras y su total desarrollo de Pedivéliger, se inicia la metamorfosis, prefieren algas rodofitas, aunque no son especialmente selectivas. Las etapas juveniles se localizan generalmente en playas protegidas con fondo de arena y seibadales mixtos de *Thalassia* y algas. Conforme va creciendo el grupo poblacional migran hacia aguas más profundas, dispersándose gra-

dualmente.

MELONGENA MELONGENA, *M. CORONA*, *M. CORONA* (BIESPINOSA CHIVITA,
CARACOL NEGRO O MOLÓN)

Se distribuyen de Florida a la Península de Yucatán y el Caribe. Habitan en fondos de limo y areno-limoso, manglares y seibadales de *Thalassia* y macroalgas en la zona intermareal.

Son gasterópodo, prosobránquios con sexos separados y fecundación interna, no hay dimorfismo sexual exterior, a excepción del pene en los machos. Su puesta en forma de cordón con cápsulas ovígeras córneas en forma de moneda (Abbott 1974). El desarrollo embrionario en la cápsula ovígera es individual con una duración de 12 a 16 días, dependiendo de la temperatura. Eclosiona en forma de larva Véliger, la cual dura en su fase planctónica de 15 a 20 días, dependiendo de la temperatura y la disponibilidad de alimento.

Al alcanzar la talla de 600 micras y su total desarrollo de Pedivéliger, se inicia la metamorfosis, seleccionando fondos con abundancia de gusanos anélidos o bivalvos, como bancos de ostión. Permanecen la localidad mientras dura el alimento y se desplazan sólo para la búsqueda de alimento adecuado a su tamaño, seleccionando un mayor tamaño de presa conforme va creciendo. Puede realizar su maduración completa en una misma localidad.

La talla comercial es de 8 a 10 cm; sin embargo, en Celestún, Yucatán, se explotan juveniles de 4 a 6 cm en los manglares por la creencia de que se trata de otra especie.

BUSYCON CARICA, *B. CANDELABRUM*, *B. COARCTATUM*, *B. CONTRARIUM*, *B. PERVERSUM*,
B. CANALICULATUM, *B. SPIRATUM* (SACABOCADOS). *FASCIOLARIA TULIPA* Y *F. LILIUM*
(TROMPILLO O CAMPECHANA). *PLEUROPLOCA GIGANTEA* ROJO, *CHARONIA VARIEGATA*,
XANCUS ANGULATUS (NEGRO)

Estas especies son componentes de las provincias del Caribe y Luisiana, su área de distribución abarca todo el Golfo de México y el Caribe. Habitan en fondos desde cantos rodados hasta limos, donde exista cualquier otro tipo de molusco, bivalvo o gasterópodo, que componen su dieta. *Pleuroploca*, *Charonia* y *Xancus*, por ser los de mayor tamaño, suelen predar de las otras especies menores de *Busycon*, *Fasciolaria*, *Strombus* y *Melongena*.

La reproducción es cruzada, los sexos separados, la fecundación interna, y

hay presencia en todos ellos de un espermátforo con forma específica. La puesta también presenta características específicas; *Busycon* y *Pleuroploca* presentan cápsulas ovígeras en forma de moneda con ornamentaciones en los bordes diferentes para cada especie, con un diámetro de 2 a 3 cm para *Busycon* y de hasta 7 cm para *Pleuroploca* y *Xancus*. Las cápsulas de *Fasciolaria* son individuales, colocadas en grupos que dan la apariencia de superficies rizadas, con características que permiten identificar la especie. El ciclo larvario se realiza íntegramente dentro de la cápsula ovígera, emergiendo el juvenil con la concha aún sin las características del adulto, las cuales adquiere al formarse la primer espiral en vida libre. Al igual que en otros gasterópodos carnívoros, de existir alimento suficiente permanecen en el mismo lugar durante todo su ciclo; pero como éste se agota rápidamente dada la preferencia por tamaños según va creciendo el caracol, realizan movimientos constantes.

No hay reportes sobre los periodos de reproducción de estas especies en aguas mexicanas. Para algunas especies de *Busycon* de las aguas del Atlántico de los Estados Unidos de América se ha reportado de marzo a Junio (Castagna y Kraeuter 1994). La presencia de puestas en las costas de Campeche a Yucatán se ha podido detectar durante todo el año, con mayor frecuencia de marzo a septiembre, mientras que Bandel (1976) informa la presencia de cápsulas ovígeras de diversas especies en el Caribe de diciembre a febrero.

LAS PESQUERÍAS

PESQUERÍAS DE CARACOL

Al analizar las estadísticas de producción pesquera, el grupo de caracoles es manejado como si se tratara de una sola especie a lo largo del litoral mexicano. Se trata de numerosas especies de gasterópodos de cuatro provincias ecológicas. Por el Atlántico la componen las provincias Carolineana y Caribeana. La primera abarca el Golfo de México y la segunda el norte de la Península de Yucatán y costa de Quintana Roo, con una zona de transición que va desde Veracruz hasta el norte de Yucatán.

HISTORIA DE LA PESQUERÍA

El caracol reina *Strombus gigas* constituye una pesquería bien diferenciada de molusco, aunque sólo representó el 26% de la captura de caracol de la región (De la Torre 1984). Es la especie objetivo en las costas del norte de Yucatán y

Quintana Roo. Hasta los años 50 sólo era explotada para consumo local, encontrándose registros de su captura únicamente a partir de esas fechas, cuando, Cozumel e Isla Mujeres son abiertas al turismo. En los años 60 se inició la exportación hacia los Estados Unidos, convirtiéndose pronto en el principal mercado y dejando poco para el consumo local. Con la creación de Cancún se incrementó el esfuerzo pesquero, lo que originó una caída de la producción a su mínimo en 1978, dos años después de haber alcanzado su máximo, en 1976, con 350 ton de pulpa.

CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN

Especies como *Melongena* spp. *Strombus pugilis* y *Fasiolaria* spp. son explotadas durante la bajamar en playas y lagunas costeras. *Purpura pansa* es recolectada en playas rocosas. La mayoría de los muríxidos en las costas del Pacífico son capturados con nasas con carnada. Todas las otras especies son capturadas por buceo libre, Scuba o con compresor.

El Golfo de México constituye la fuente principal de ingresos para pescadores jóvenes, que en grupos de 5 ó 6 por lancha, practican buceo libre. En las costas de Quintana Roo son los pescadores de langosta quienes realizan las capturas de caracol.

En Quintana Roo el número de pescadores registrados hasta 1980 era de 325, e incrementó a 850 en 1983, a pesar de una clara correlación entre las capturas y el esfuerzo que mostraba una captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de 1 ton por pescador al año en 1976, la cual cayó a 200 kg en 1988 y con una tendencia a la baja desde entonces (Polanco *et al.* 1988, Quijano 1988). Esta tendencia se ve reflejada a nivel nacional hasta el año de 1991, ya que para 1992 el incremento en la producción en otros estados, como Campeche, aumentaron las capturas a más de 9,000 ton, para posteriormente declinar.

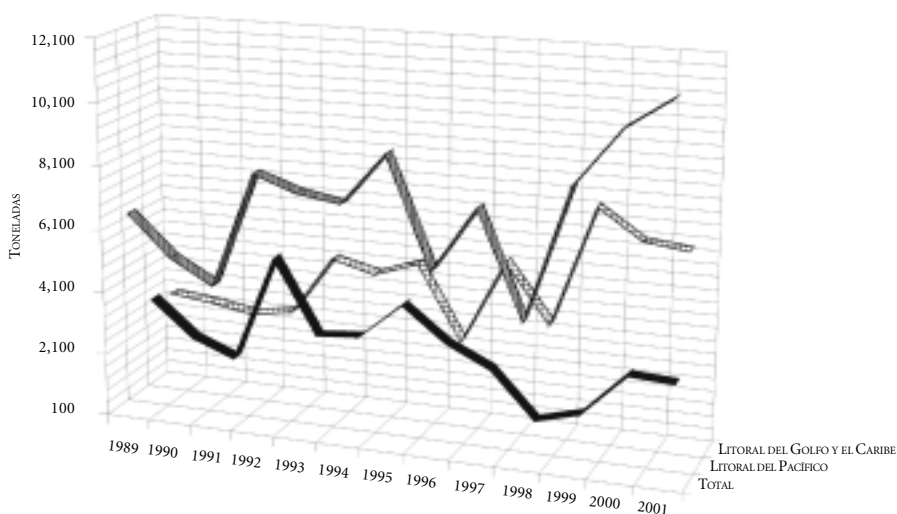
Para el estado de Campeche, Baqueiro *et al.* (1997) determinaron un esfuerzo óptimo de 18,063 viajes al año, con una captura media por viaje de 36 kg y un promedio de 3 buzos por lancha, lo cual garantiza a los pescadores un ingreso de 2 a 3 salarios mínimos por viaje.

COMPOSICIÓN ESPECÍFICA Y VOLUMENES

Los caracoles constituyen un recurso alternativo para los pescadores artesanales, y de subsistencia para los grupos costeros más pobres, convirtiéndose en especies de interés cuando otras especies escasean. Las capturas

nacionales han alcanzado más de 6,400 ton al año, y han ido ganando un mercado con mejores precios día a día, dando como resultado un incremento en el valor de la producción a pesar de la disminución en la captura (figura 3).

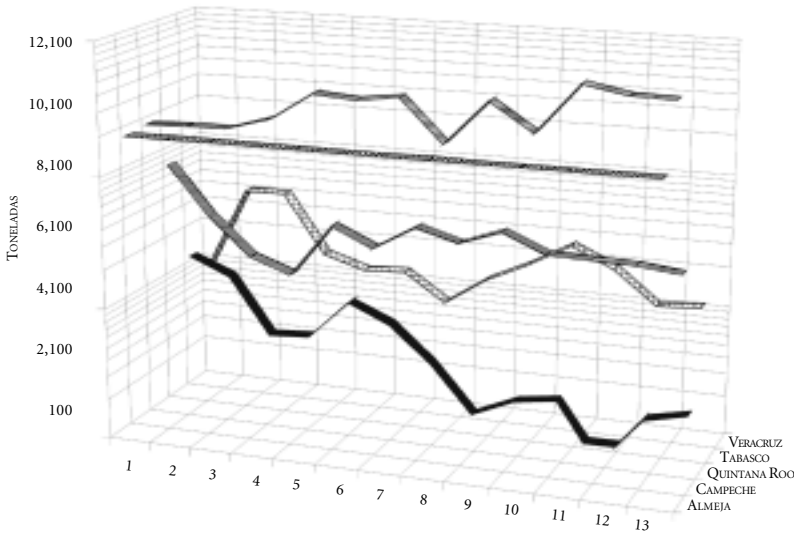
FIGURA 3. VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARACOLAS POR LITORALES EN LA REPÚBLICA MEXICANA



Como se mencionó, sólo el 26% de la producción en el estado de Quintana Roo la constituye *S. gigas*, 70% por *S. costatus* y el 6% restante especies varias, entre las que dominan *Turbinbella angulata* y *Busycon carica* (De La Torre 1984).

Para el resto del Golfo de México, las capturas son multiespecíficas, con predominio de varias especies de *Busycon* en los estados de Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, y *Strombus costatus* en Yucatán y Campeche. La producción en Yucatán ha caído a tal nivel que ha sido necesaria una veda permanente a partir de 1989. Para Campeche, Baqueiro *et al.* (1997) determinaron una

FIGURA 4. VARIACIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARACOL POR ESTADOS
DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO



captura sostenible de 750 ton al año, volumen alcanzado desde 1984 y fuertemente excedido en 1999, cuando se extrajeron 6,850 toneladas; a partir de entonces ha decaído gradualmente (figura 4).

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

La captura de caracol está abierta a todos los pescadores, aunque en Quintana Roo sólo se otorgan permisos a cooperativas. El número total de permisos otorgados para la explotación de caracol es reducido en comparación con el número de pescadores y botes que se dedican a esta actividad. La regulación para el manejo de las diferentes pesquerías es definida localmente con base en evaluaciones de las existencia y estudios biológico poblacionales. Las medidas de manejo más frecuentemente empleadas son tallas mínimas, periodos de captura y cuotas.

ANTECEDENTES DE REGULACIÓN

En el año de 1988, por acuerdo del 22 de julio, se publica en el *Diario Oficial de la Federación* el 25 del mismo mes el acuerdo de veda permanente para los “caracoles blanco (*Strombus gigas*), lanceta (*Strombus costatus*), tomburro (*Xancus* sp.) y chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de la jurisdicción federal del litoral del estado de Yucatán”.

Por acuerdo del 15 de junio de 1990 se publica en el *Diario Oficial de la Federación* del 22 del mismo mes una regulación que “establece veda para la pesca de las especies de caracol blanco (*Strombus gigas*), caracol lanceta (*Strombus costatus*), caracol tomburro (*Xancus* sp.), caracol chirita (*Busycon* sp.) y caracol chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de jurisdicción federal del estado de Quintana Roo para proteger a estas especies durante la temporada de mayor actividad reproducción biológica que comprende de mayo a octubre de cada año”.

En el *Diario Oficial de la Federación* del lunes 18 de octubre de 1993 se publica el establecimiento de veda total por tiempo indefinido de los caracoles blanco (*Strombus gigas*), lanceta (*Strombus costatus*), tomburro (*Xancus* sp.) y chactel (*Pleuroploca gigantea*) en aguas de jurisdicción federal del litoral del estado de Yucatán

El 21 de abril de 1995 se publica la Norma Oficial NOM-013-1994 para el aprovechamiento de las especies de caracol en aguas de jurisdicción federal de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, en la que se determina como reglamentaria la extracción por buceo autónomo y semiautónomo, y se fijan las tallas mínimas: caracol reina o rosa (*Strombus gigas*) de 20 cm; caracol blanco o lanceta (*Strombus costatus*) de 18 cm; caracol trompillo (*Busycon contrarium*) de 22 cm y caracol chactel (*Pleuroploca gigantea*) de 30 cm. En esta misma norma se especifica que las tallas de otras especies serán fijadas con base en los estudios que se realicen y que las cuotas se fijarán de acuerdo con estudios que realice la Semarnap (cuadros 3 y 4).

CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los estudios realizados en Yucatán (Velez *et al.* 1994, Pérez y Cervera 1995) y en Campeche (Baquero *et al.* 1994, Baquerio *et al.* 1996) así como del análisis de la información antes presentada, se sugiere una revisión de la normatividad para que se ajuste a las especies y condiciones por estado y en regiones por estado.

Con base en las capturas y esfuerzos de las principales oficinas de pesca en

CUADRO 3. PERIODOS DE VEDA PARA GASTERÓPODOS, BIVALVOS Y PULPO EN EL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO

			INICIO	TÉRMINO
CARACOL				
Caracol blanco	<i>Strombus gigas</i>	Quintana Roo	01-may-	31-oct*
Caracol chactel	<i>Pleuroploca gigantea</i>		D.O.F.	D.O.F.
Caracol chirita	<i>Busycom</i> sp.		16-mzo-94	16-mzo-94
Caracol lanceta	<i>Strombus costaus</i>			
Caracol tomburro	<i>Xancus</i> sp.			
Ostión				
	<i>Crassostrea virginica</i>	Tabasco	15-sept-	30-oct-
			D.O.F.	D.O.F.
			14-sept-00	14-sept-00
Pulpo				
	<i>Octopus maya</i>	Campeche, Yucatán y Quintana Roo	16-dic	31-jul*
	<i>Octopus vulgaris</i>		D.O.F.	D.O.F.
			16-mzo-94	16-mzo-94

CUADRO 4. TALLAS MÍNIMAS DE LAS ESPECIES DE GASTERÓPODOS COMERCIALES DEL ATLÁNTICO MEXICANO

	TALLA MÍNIMA (MM)
<i>Busycon carica</i>	243
<i>Turbinella angulata</i>	205
<i>Fasciolaria tulipa</i>	139
<i>Pleuroploca gigantea</i>	370
<i>Melongena melongena</i>	104
<i>Melongena corona</i>	50
<i>Strombus costatus</i>	186
<i>Strombus pugilis</i>	78

el estado, Baqueiro *et al.* (1994) determinan una captura máxima entre 1,012,240 y 349,425 toneladas con un esfuerzo entre 13,895 y 24,633 viajes, lo que da una captura por unidad de esfuerzo (viajes por lancha) entre 145.2 y 79.27 kg por viaje para el estado de Campeche.

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

A pesar de la importancia local y regional que tienen estos recursos, no existe ninguna medida de manejo tendiente a mejorar sus hábitat, a excepción de los parques marinos de los arrecifes de Veracruz, Cozumel y la reserva de la biosfera en Quintana Roo, donde su captura debiera estar prohibida, aunque al no existir vigilancia adecuada inclusive estas áreas son explotadas.

ACUACULTURA

Dada la drástica caída en las existencias del caracol rosa, *S. gigas*, en Quintana Roo, se implementó en 1984, en colaboración con el Gobierno del Estado y la Secretaría de Pesca, un programa de cultivo para la producción de juveniles para la repoblación de bancos (Cruz 1986, Baqueiro 1991). Sin embargo, considerando por una parte el alto costo de la conservación de los juveniles hasta tallas que garanticen baja mortalidad y por otra el bajo impacto en las poblaciones naturales (Berg 1976, Chanley 1982, Orr 1983), el programa se suspendió en 1986.

PESQUERÍAS DE ALMEJA

Al igual que en otras pesquerías de moluscos, las estadísticas oficiales no diferencian entre especies, aún cuando se trate de especies de agua dulce, estuarina o marina, habiéndose registrado 59 especies componentes de las cuatro provincias ecológicas de las costas del país. Aunque se trata de un recurso que puede alcanzar altos valores en el mercado nacional y con demanda en el mercado internacional, sus pesquerías no se han desarrollado igual en todos los estados litorales del país. Se explotan principalmente en Baja California Sur, mientras que en los otros estados su captura es mínima, cotizándose las especies del Golfo de México muy por abajo de las especies del Pacífico.

Historia de la pesquería

En el Golfo de México la única especie que se ha explotado desde los años 50 es la almeja gallito (*Rangia cuneata*), durante muchos años la única que podía conseguirse en la ciudad de México. Su producción en Campeche se incrementó gradualmente a partir de 1970, cuando se produjeron 400 toneladas, mientras que en las lagunas de Tamiahua y Alvarado, a partir de 1987, ha disminuido de 1,600 a 800 ton.

Para los años 70 se inició la explotación de almejas de arrecife en Veracruz y en 1991 la explotación comercial de almeja marina en Quintana Roo. Aunque en Campeche y Yucatán se han explotado esporádicamente algunas especies de almejas para consumo local y comercio en la ciudad de Mérida, no existe una explotación regular y son aún numerosos los bancos vírgenes (Baquero 1992). Por otra parte existe una alta demanda de callo de hacha tanto para consumo local como para el comercio en el interior del país; este recurso es poco abundante pero de amplia distribución, lo que mantiene una fuerte presión sobre los bancos.

Características de la explotación

Rangia cuneata es la especie objetivo de la pesquería de laguna del Golfo de México, mientras que *R. flexuosa* y *P. carolineana* son incidentales, la primera por su menor talla y la segunda por su baja densidad. Son extraídas con red de cuchara que consta de un rectángulo de metal de 50 x 20 cm, con bolso de paño de red de luz de 1.5 cm, fijo a una vara de 3 a 5 m de largo. La cuchara es enterrada en el fondo de 10 a 15 cm, y con el mango fijo a la lancha es remolcada durante unos minutos por una de las bandas de botes de madera o fibra de vidrio con motor fuera de borda. El contenido es enjuagado en la misma cuchara y seleccionado a bordo, separando almejas pequeñas y conchas. Su explotación en México se ha registrado desde Laguna Madre en Tamaulipas, hasta laguna de Términos en Campeche, aunque actualmente sólo se observan capturas comerciales en la laguna de Alvarado, Veracruz y lagunas de Pom y Atasta en Campeche.

Las almejas de arrecife (*Asaphis deflorata* y *Codakia orvicularis*) son extraídas durante la bajamar empleando palas y rastrillos de jardinería. *Mercenaria campechiensis* y *Chione cancellata* son extraídas también durante la bajamar, recogiénose manualmente de la superficie, siendo detectadas con el pie descalzo. En el norte de Yucatán y Quintana Roo se emplea buceo libre para la extracción entre 2 y 3 m de profundidad.

Todas las otras especies de Venéridos que constituyen este recurso, se

extraen por buceo Scuba o compresor, detectándolas por el sifón o por la arena que arrojan al retraerse este dentro de la concha al ir el buzo probando el fondo con una horquilla. La extracción por buceo libre es sólo una actividad deportiva.

Geukensia demissa se comercializa sin concha, de la que se extraen las partes blandas por cocción, actividad que se realiza en la localidad de captura. Su explotación se realiza manualmente durante la bajamar. Su precio en playa es de \$10 a \$12 por kg, se envasa en latas de 20 kg, y se transporta enfriada con hielo. Su consumo es local y en restaurantes de las ciudades de Mérida y Cancún.

Los mismos botes y tripulación son empleados para la extracción de caracol así como en la explotación de almeja, hachas y pectínidos.

Composición específica y volúmenes

La producción de almejas a nivel nacional está dominada por las costas del Pacífico, en particular por los estados de Baja California y Baja California Sur (figura 5). En el Golfo de México y el Caribe la captura es muy irregular y Veracruz es el estado con la producción más estable. En Campeche alcanzó

FIGURA 5. VARIACION NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE ALMEJA POR LITORALES

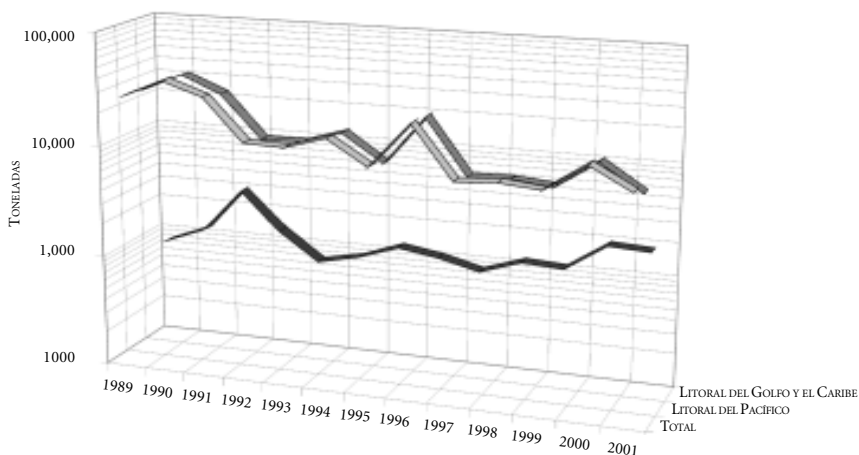
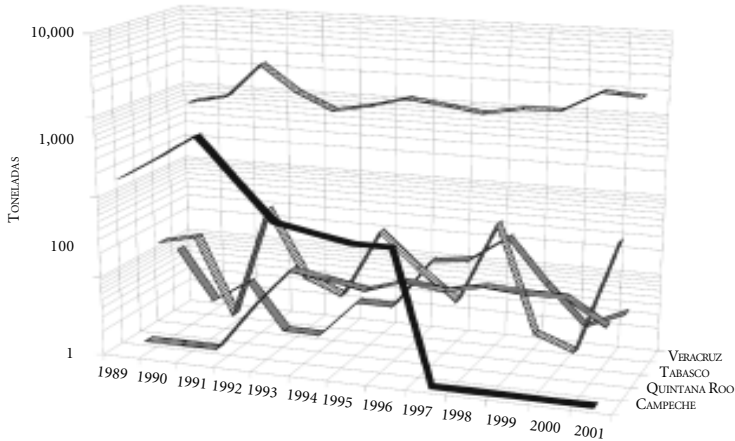


FIGURA 6. PRODUCCIÓN DE ALMEJA POR LOS ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO



su valor máximo en el año de 1990, decayendo hasta 1996 cuando dejó de explotarse o registrarse la producción, por ser insignificante. Tabasco presenta fuertes fluctuaciones anuales, pero siempre dentro del mismo rango, mientras que Tamaulipas y Quintana Roo han presentado una producción baja pero constante a partir de 1995 (figura 6).

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

La explotación de *Rangia cuneata* se realiza mediante cuotas que son establecidas previa evaluación de los bancos, con registros continuos de captura sólo para las lagunas de Pom y Atasta, en donde desde 1981 existe una cuota de 2,000 ton repartidas entre cuatro cooperativas pesqueras con un total de 310 socios registrados. Baqueiro y Medina (1988) determinaron existencias explotables de *R. cuneata* de 163 ton para ambas lagunas pero sólo de cinco para Pom, donde se realiza la mayor actividad. Estos mismos autores recomiendan la explotación simultánea de las tres especies, en particular de *R. flexuosa* en las dos lagunas, con lo que se atenuaría la competencia interespecífica en beneficio de la especie objeto y se podría llegar a producir hasta 193 ton de captura mixta.

Para el Golfo de México y el Caribe la única reglamentación para la

explotación de estas especies es el requerimiento de evaluación previa de las existencias y el dictamen del potencial o cuota permitida. Sin embargo, son contadas las evaluaciones que se han realizado de estos recursos. Entre las especies estudiadas se encuentran *Codakia orvicularis* (Castillo 1985), *Mercenaria campechiensis* y *Chione cancellata* (Baquerio *et al.* 1997), *Geukensia demissa* (Baquerio *et al.* 1993), *Atrina rigida* en costas de Campeche (Baquerio *et al.* 1988) y *Rangia cuneata* en Veracruz (Echevarría *et al.* 1995).

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

ACUACULTURA

El cultivo de bivalvos en México se remonta a principios del siglo cuando se cultivaba la madre perla *Pinctada mazatlanica* (Baqueiro y Castagna 1988). Fue hasta mediados de los años 70 cuando se creó la dirección de acuacultura que prestó atención oficial a los recursos con potencial en acuacultura, habiendo existido sólo algunos esfuerzos previos para el desarrollo de la acuacultura del ostión en 1954 (Ramírez y Sevilla 1965).

Conchas

Las conchas constituyen un grupo dentro de las estadísticas pesqueras, con un promedio anual de 1,000 ton y un valor de más de 300 millones de pesos, por lo que contribuyen significativamente al volumen de exportación. Los principales productores de conchas son Baja California Sur y Baja California.

Las conchas de exportación son, principalmente, la concha nácar provenientes de almejas de agua dulce del Golfo, y que se usan para la fabricación de cremas, concha de almeja para botones y las conchas de abulón y madreperla para joyería. Es importante también la exportación de conchas de caracoles y pectínidos para ornato, tanto conchas individuales como artículos elaborados.

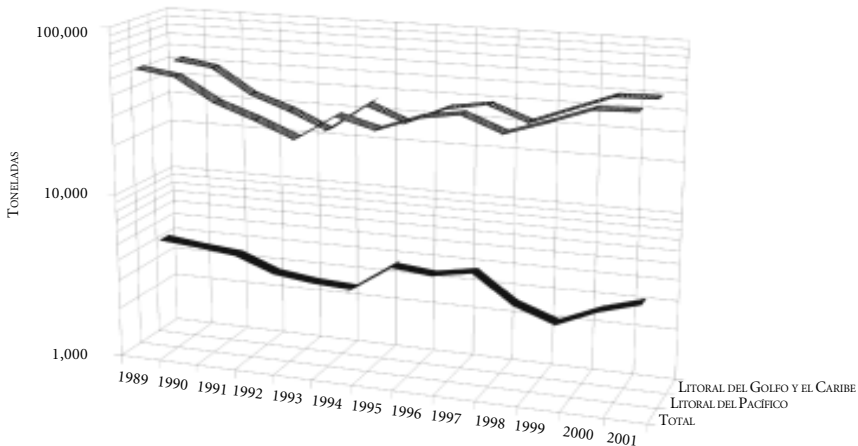
En el país se emplean como complemento en alimentos para aves, como material de construcción, artesanías y joyería (Baqueiro 1990).

Pesquería de ostión

Desde 1989, cuando la producción de ostión en México alcanzó su máximo histórico con 59,600 toneladas, la producción se ha desplomado hasta 25,800

toneladas en 1993, con un ligero incremento en los últimos años. Históricamente los estados del Golfo de México han soportado del 88 al 92% del

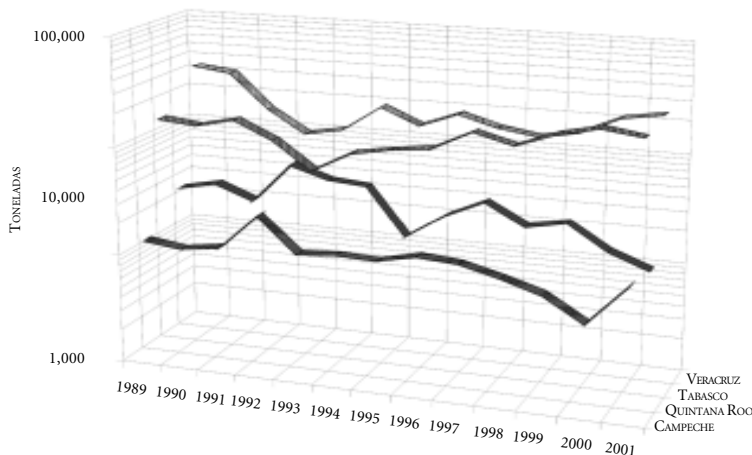
FIGURA 7. PRODUCCIÓN NACIONAL DE OSTIÓN POR LITORAL



volumen de producción nacional; sin embargo, en valor esto ha representado no más del 65% del valor de la producción, debido al alto valor que alcanza la producción ostrícola del Pacífico, la cual proviene de prácticas de acuacultura, que correspondió a sólo el 6.7% en 1997 del volumen de la producción nacional (figura 7).

El aporte por estado ha cambiado radicalmente. De ser Veracruz el primer productor de ostión hasta 1996, en la actualidad es Tabasco, seguido de Veracruz, Tamaulipas y Campeche. Esta producción no es un reflejo del potencial del litoral de cada entidad, dado que en lagunas litorales con potencial de producción de ostión se encuentra en primer lugar el estado de Tamaulipas con 274,736 ha, seguido de Campeche con 198,500 ha, Veracruz con 193,300 ha y Tabasco con 27,400 ha. Este predominio del 50% de la producción con sólo un 4% de la superficie lagunar por parte del estado de Tabasco es un

FIGURA 8. PRODUCCIÓN DE OSTIÓN POR ESTADOS DEL LITORAL DEL ATLÁNTICO MEXICANO



ejemplo del potencial de producción que existe en el Golfo de México, que en teoría podría incrementarse hasta 500 mil toneladas (figura 8).

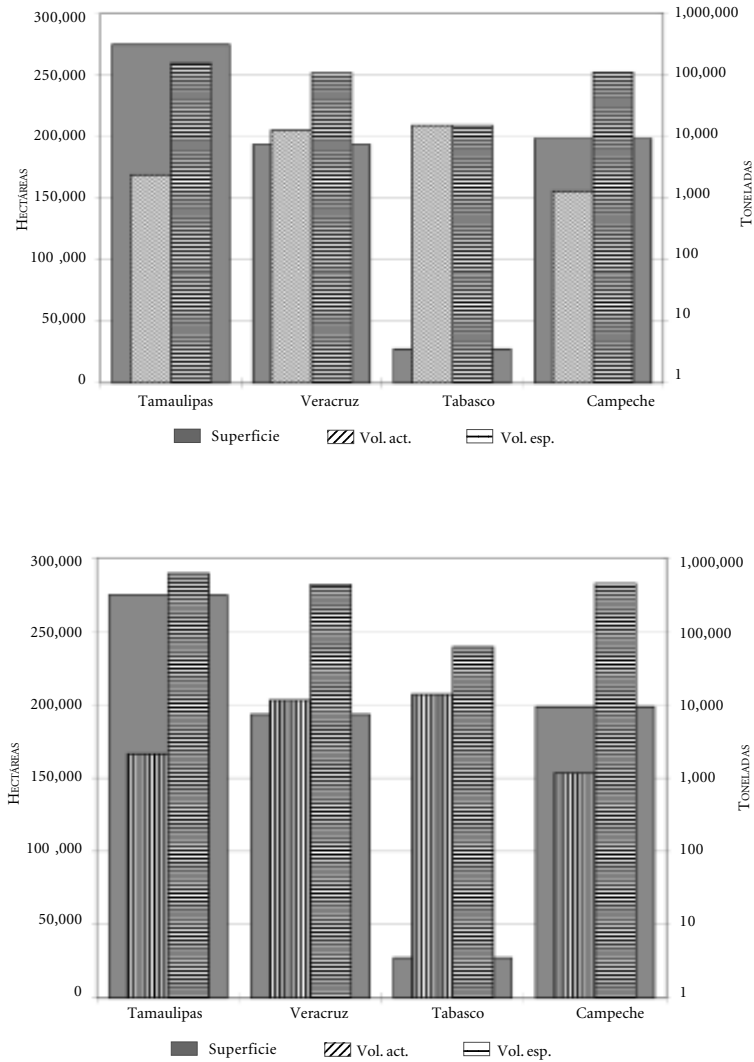
Si a esta producción potencial se le considera el valor alcanzado por la producción del Pacífico, el incremento en valor de la producción iría de 37.6 millones de pesos alcanzados en 1997 a 2,000 millones de pesos (figura 9a y b). A pesar de que la producción en el estado de Tabasco no está desarrollada en forma óptima, y se ha estimado que podría incrementarse de tres a cinco veces sin llegar a conflictos sectoriales, y hasta diez veces en sistemas intensivos.

Entre los factores que limitan el desarrollo económico de las pesquerías de ostión está la insalubridad en su manejo y presentación, así como la falta de procesos industriales que incrementen el valor de la producción. Para que esto se dé, debe iniciarse la generación de un producto de calidad, en cantidades suficientes, que garantice la demanda del mercado del producto fresco y la operación continua de la planta industrial.

HISTORIA DE LA PESQUERÍA

La pesquería de ostión está compuesta por seis especies de importancia comercial, dos nativas del Atlántico (*Crassostrea virginica*, *C. rhizophorae*)

FIGURA 9. VOLÚMEN (A) Y VALOR (B) POTENCIAL DE LA PRODUCCIÓN DE OSTIÓN DEL GOLFO DE MÉXICO. VOLUMEN ESTIMADO CON BASE EN LA PRODUCCIÓN ACTUAL DE LAS LAGUNAS DEL ESTADO DE TABASCO Y SU RELACIÓN A LA SUPERFICIE LAGUNAR DE CADA ESTADO. VALOR ESTIMADO CON BASE EN LA PRODUCCIÓN POTENCIAL Y EL VALOR ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN EN EL PACÍFICO MEXICANO



tres del Pacífico (*C. palmula*, *C. corteziensis*, *C. iridescens*) además de *C. gigas*, que ha sido introducida para cultivos intensivos.

Los ostiones han sido empleados como alimento por los pobladores de México desde tiempos prehispánicos, lo que ha quedado registrado en concheros a lo largo del litoral de ambas costas, siendo común su consumo por pobladores del interior (Lorenzo 1955, Fieldman 1969, Foster 1975, Reigadas *et al.* 1984). Eran considerados alimento para los reyes, y eran llevados frescos a Moctezuma en Tenochtitlan (Del Campo 1984).

Es la pesquería con el récord más viejo en el país. En el período 1940-1953, la producción nacional alcanzó un promedio anual de 7,277 ton, de las cuales el 23% era comercializado sin concha. De 1952 a 1963 el promedio anual rebasó las 15,000 ton (Ramírez y Sevilla 1965). Durante la década de los años 80 la producción pasó de 40,000 a 50,000 ton, sufriendo una declinación por enfermedades en los bancos de Tamiahua, Veracruz, a partir de 1990.

CARACTERÍSTICAS DE LA EXPLOTACIÓN

Los métodos de explotación no han cambiado mucho desde los tiempos primitivos, se colectan durante la bajamar con la ayuda de algún instrumento cortante. La extracción de los bancos de fondo se realiza desde lanchas a remo o a motor fuera de borda.

COMPOSICIÓN ESPECÍFICA Y VOLÚMENES

Los ostiones se comercializan principalmente frescos, ya sea en su concha o desconchado en hielo. Solo el 0.01% es industrializado por ahumado y enlatado en Tamaulipas y Tabasco.

La producción del Golfo de México viene principalmente de bancos naturales, donde sólo se realizan algunas prácticas de semicultivo.

MECANISMOS DE MANEJO Y ADMINISTRACIÓN

Los ostiones fueron hasta 1994 una de las cinco especies reservadas a las cooperativas. De las 88,015 cooperativas pesqueras del país, 561 tienen permiso de explotación de ostión (Anuario estadístico de pesca 1995).

Para *C. virginica* en las costas del Golfo de México, existe un periodo de veda del 15 de mayo al 30 de julio, con tallas mínimas de 8 cm de longitud de la concha para ambas especies.

ACTIVIDADES ACUÍCOLAS

Los primeros trabajos de acuicultura se realizaron en las costas del Atlántico donde había una pesquería bien establecida, actividad que fue abandonada desde fines de los años sesenta y que no había sido retomada hasta recientemente en las lagunas litorales de Tabasco. El 10% de la producción de los estados de Campeche y Tamaulipas, 20% de Veracruz y 90% de Tabasco, proviene de bancos mejorados (Polanco *et al.* 1988, García y Mendoza 1988).

MANEJO DEL MEDIO AMBIENTE

En los años 70 se realizó una gran actividad de apoyo a los bancos ostrícolas, con dragado de bocas y canales que incrementaron el intercambio de agua marina de numerosas lagunas litorales, con lo que se logró mejorar la sobrevivencia y el periodo de crecimiento de muchos bancos.

Como se mencionó anteriormente, en las costas del Golfo de México las prácticas de cultivo más comunes se limitan al mejoramiento de bancos con el tendido de concha para incrementar las áreas de fijación, práctica común en las lagunas de Tamiahua y Términos. En el estado de Tabasco se realiza tanto el mejoramiento de los bancos como la captación de semilla en colectores de sartas de concha, que al alcanzar de 3 a 5 mm de longitud son colocadas en los fondos ya preparados (Palacios *et al.* 1983). En el Pacífico el mejorado de fondos es sólo una actividad secundaria.

ANTECEDENTES

Los primeros trabajos biológicos con rigor científico sobre el ostión se realizaron en 1930 y estuvieron enfocados al estudio de la taxonomía, biología y ecología de los bancos ostrícolas mexicanos. En ese mismo año apareció de manera oficial la pesca comercial del ostión, extraído con las llamadas «gafas» y comercializado en arpillas o costales de 35 kg (Rangel-Dávalos 1990).

Fue hasta la década de los 50 cuando la ostricultura inició oficialmente en México, con programas ostrícolas de protección, mejoramiento y cultivo de los bancos naturales de ostión. Las primeras prácticas fueron el acondicionamiento de fondos y trasplantes de semilla (Palacios y García 1988). Y siguieron otros trabajos como los realizados por Sevilla (1959), quien en Guaymas, Sonora, llevó a cabo los primeros ensayos sobre el cultivo de

osti6n y estudios para determinar el mejor colector para la fijaci6n de semilla. Ram6rez y Sevilla (1965) propusieron incrementar a gran escala la producci6n ostr6cola nacional mediante el cultivo tecnificado. Sevilla y Mondrag6n (1965) determinaron el ciclo biol6gico de *Crassostrea virginica* en la laguna Tamiahua, Veracruz. En la d6cada de los 70, tambi6n fueron realizados numerosos trabajos sobre t6cnicas de cultivo de osti6n en el Golfo de M6xico (D6az 1969). Liz6rraga (1977) prob6 diversas t6cnicas de cultivo en algunos embalses de Tabasco, Nayarit y Sinaloa. Casas (1976) estudi6 aspectos del cultivo de osti6n en relaci6n con los par6metros ambientales presentes en la laguna San Andr6s, Tamaulipas. Iracheta (1972) introdujo por primera vez una granja ostr6cola comercial a peque1a escala en Tabasco.

Todav6a en la d6cada de los 80 persisti6 el inter6s por cultivar el osti6n. As6, Palacios (1983) cultiv6 *C. virginica* de manera semi-intensiva en la laguna de San Andr6s, Tamaulipas, con buenos resultados con un m6todo de cultivo en suspensi6n. Garc6a (1987) compar6 el crecimiento del osti6n *C. virginica*, cultivado en superficie en cajas tipo Nestier y en fondo en costales de malla de nylon, en el sistema lagunar Boca del R6o, Mandinga, Veracruz. Renter6a (1987) estudi6 la factibilidad del cultivo de *Crassostrea corteziensis* en Boca Camich6n, Nayarit, con un m6todo de cultivo en suspensi6n con balsas. Navarrete (1989) estudi6 la evoluci6n gon6dica y fijaci6n de *C. virginica* en el sistema lagunar, Boca del R6o-Mandinga Veracruz. De 1988 a 1989 fue realizado un proyecto de «Producci6n acuacultural de *C. virginica*» en Boca del R6o, Mandinga, Veracruz (Amador 1989, Amador *et al.* 1991). Rihan6 (1989) cultiv6 *C. virginica* en cajas tipo Nestier en R6a Lagartos, Yucat6n.

El inter6s en la ostricultura casi desaparece, si no es por el esfuerzo de algunos investigadores, que como Castro *et al.* (1990) quienes estudiaron el crecimiento de *C. virginica* en cajas de madera, Aldana-Aranda (1990) quien ha realizado diversos estudios de cultivo de *C. virginica* en la Pen6nsula de Yucat6n, con resultados favorables, y Cabrera (1993) quien evalu6 el crecimiento y sobrevivencia de dos poblaciones de *C. virginica* cultivadas en San Felipe, R6a Lagartos, Yucat6n, todos ellos con buenos resultados.

La producci6n del Golfo de M6xico, sustentada completamente por el acondicionamiento de fondos, figuraba en las estad6sticas mundiales como una producci6n por acuacultura, con un destacado promedio de 40,000 toneladas anuales. Sin embargo, a partir de 1997, esta actividad fue considerada una “pesquer6a mejorada” y no un cultivo, perdiendo su antigua categor6a dentro del 6mbito acuacultural y su lugar dentro de las estad6sticas mundiales de acuacultura. S6lo la producci6n del Pac6fico, que no represen-

ta ni el 10% de toda la producción ostrícola del país, se encuentra registrada como producción por acuicultura en las estadísticas mundiales (FAO 1999). El abandono y desinterés por fomentar los cultivos ostrícolas en nuestro país ha sido de tal magnitud que ya no puede hablarse de una ostricultura en el Golfo de México.

PROPUESTA DE DESARROLLO

Con el propósito de promover el desarrollo integral de la pesquería de ostión en el Golfo de México se propone la generación de paquetes tecnológicos que le permitan a pescadores organizados e inversionistas producir ostión de primera calidad, que cubra las normas sanitarias internacionales, así como productos industrializados para cubrir todos los nichos del mercado nacional e internacional.

Para ello se propone un plan de estudio integral que va desde la identificación del estado actual de las pesquerías y factores limitantes, el potencial de desarrollo de todo el litoral, la identificación de tecnología de manejo y cultivo adecuada para cada localidad, la generación de metodología de manejo y empaque sanitario, la generación de productos industrializados y la identificación de mercados.

PESQUERÍAS DE CEFALÓPODOS

Mientras que la captura de calamar en el Golfo de México es una pesquería incidental, asociada con la captura de camarón, con un máximo de 441 toneladas en el año de 1992 (figura 10), la pesquería de pulpo es una pesquería casi exclusiva del Golfo de México, en particular de los estados de Campeche y Yucatán (figura 11), y entre ambos aportan el 93% de la producción nacional. La captura se realiza principalmente con embarcaciones menores al gareteo y está limitada a los meses de agosto a diciembre, periodo definido por veda reproductora.

CONTAMINACIÓN

Durante la década de los 50, la Secretaría de Industria y Comercio, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras, elaboró un plan de trabajo cuyos objetivos y metas eran determinar la problemática del recurso ostrícola en el Golfo. Los problemas de contaminación petrolera en Veracruz y la veda decretada por tiempo indefinido para esta

FIGURA 10. PRODUCCIÓN DE CALAMAR EN LAS COSTAS DEL ATLANTICO MEXICANO

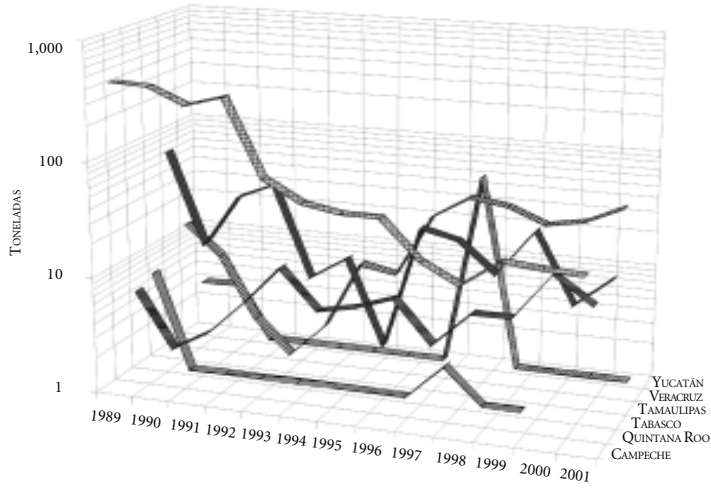
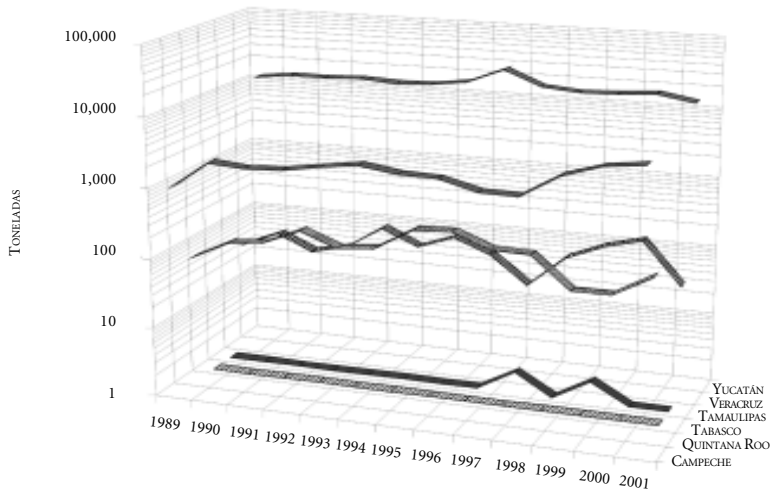


FIGURA 11. PRODUCCIÓN DE PULPO EN LAS COSTAS DEL ATLÁNTICO MEXICANO



entidad, ocasionaron una sobreexplotación del recurso en los restantes estados productores del Golfo: Tamaulipas, Tabasco y Campeche (Rangel-Dávalos 1990).

La contaminación es el factor que más impacto ha tenido sobre los bancos ostrícolas naturales y su explotación en México. Básicamente proviene de la industria petrolera, de los asentamientos urbanos y de la industria agrícola y ganadera.

La contaminación por la explotación petrolera, causada por derrames, fugas de petróleo crudo de las plataformas y fluidos de lodos provenientes de perforaciones de pozos diseminados por mareas y corrientes, ha impactado la producción ostrícola, debido a su efecto nocivo sobre los organismos y las áreas de producción, ya sea limitando su desarrollo, disminuyendo las áreas de bancos productivos o contaminando al ostión con elementos nocivos para el hombre (Arriaga-Becerra y Rangel-Dávalos 1988.).

Los contaminantes procedentes de zonas urbanas, industriales y agrícolas que estos transportan, afectan considerablemente el desarrollo de los organismos en diversas zonas costeras debido a la gran cantidad de agua que desemboca de los ríos en el Golfo de México.

Las aguas negras no solamente contienen grandes cantidades de heces fecales, sino también desperdicios de fábricas procesadoras de alimentos y pesticidas. Esto ha provocado el aumento de agentes patógenos en el medio acuático estuarino y zonas marinas adyacentes (Weibel *et al.* 1974).

Debido a que los bivalvos se desarrollan en una forma sedentaria, filtrando diariamente grandes volúmenes de agua en medios estuarinos (cinco litros por hora), estos se convierten en reservorios de agentes patógenos (Gelderich *et al.* 1968, Weibel *et al.* 1974) provenientes de las descargas de aguas negras en las lagunas costeras. Esto no sólo es un problema para los bancos de bivalvos, sino que también representa un peligro para la salud (Metcalf y Stiles 1965, Thompson y Thacher 1972). Se han reportado casos de gastroenteritis y hepatitis infecciosa después de haber consumido algunas especies de bivalvos colectados en aguas marinas contaminadas (Rodríguez 1986).

PERSPECTIVAS

En relación con el futuro de estas pesquerías, un manejo adecuado sólo podría mantener los volúmenes de explotación en los niveles actuales. Sin embargo,

las estrategias de explotación deberían cambiar, dado que debe suspenderse la explotación durante las agregaciones reproductoras, y dirigir el esfuerzo hacia la localización de áreas de alimentación, recomendándose para las especies de hábitos carnívoros el uso de artes de pesca pasivos, lo que permitiría el acceso a fondos actualmente no explotados por el buceo.

Dado que el estado de salud de muchas poblaciones ribereñas es crítico, para mantener los volúmenes de explotación o recuperar sus óptimos deben realizarse actividades de recuperación como el cierre de áreas, siembra y transplante.

Sin embargo, las perspectivas de desarrollo por acuacultura son muy alentadoras, tanto para bivalvos como para algunas especies de gasterópodos que son susceptibles de cultivo, en particular los bivalvos para los cuales la metodología desarrollada por Loosanoff y Davis (1963) para la producción de larvas en condiciones controladas permite el manejo de características genéticas en el mejoramiento de poblaciones. Existen técnicas de bajo costo y tecnología simple para el cultivo de *Mercenaria* (Castagna y Kraeuter 1981) que pueden fácilmente ser adaptadas a las condiciones del Golfo y el Caribe mexicano.

Los resultados logrados en el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Puerto Morelos en el cultivo del caracol reina *S. gigas* (Cruz 1986, Baqueiro 1994) demuestran la factibilidad de producción de juveniles para su cultivo o repoblación, debiéndose aún determinar la factibilidad del cultivo de aquellas especies de desarrollo directo y hábitos alimenticios carnívoros.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, T. R., 1974. *American Seashells. The marine mollusca of the Atlantic and Pacific coasts of North America*. Van Nostrand Reinhold Co. New York. 663 pp.
- Aldana, A. D. 1990. Crecimiento del ostión americano *Crassostrea virginica* Gmelin (1791) en la ría de Río Lagartos, Yucatán, México. VII Simposium Internacional de Biología Marina: 36-50.
- Amador del Angel, L.E. 1989. Cantidad de alimento disponible e incidencia e larvas de ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin) en el sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. México. Tesis de Licenciatura de Ing. Pesq. en Acuacultura. ITMAR, Veracruz. 110 pp.
- Amador del Angel, L.E. ; J.A. Cordero Días, O.I. Navarrete Rosas y P. Cabrera Rodríguez 1991. Crecimiento de *C. virginica* (Gmelin, 1791) en el sistema lagunar Boca del

- Río-Mandinga, Veracruz, México, en dos estratos: suspensión y fondo. Primer Congreso Latinoamericano de Malacología. Caracas, Venezuela del 15 al 21 de julio. 12 pp.
- Ambrose, G. W., D. S. Jones y I. Thompson 1980. Distance from shore and growth rate of the suspension feeding bivalve, *Spisula solidissima*. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 70: 207 - 215.
- Andre, C. y R. Rosenberg 1991. Adult-larval interactions in the suspension-feeding bivalves *Cerastoderma edule* and *Mya arenaria*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: 227 - 234.
- Andrewartha, H. G., 1970. *Introduction to the study of animal populations*. Methuen & Co. London, G. B. 2 ed. 283 pp.
- Anuarios estadísticos de pesca 2001. CONPESCA. <http://www.sagarpa.gob.mx/-/conapesca/index.htm>
- Arriaga-Becerra, R. E. y Rangel-Dávalos, C. 1988. *Diagnóstico de la situación actual y perspectivas del cultivo de ostión en México*. Secretaría de Pesca. 95 pp.
- Bandel, K., 1976. Egg masses of 27 Caribbean Opisthobranchs from Santa Marta, Colombia. *Stud. Neot. Fauna and Environ.* 11: 87-118.
- Baqueiro, C. E. y C. Castillo 1987. Característica poblacionales de *Mercenaria campechensis* y *Chione cancellata*, recursos potenciales de las costas de Campeche-Yucatan. *VII Congreso Nacional de Oceanografía*, Ensenada, B. C. (resumen).
- Baqueiro, C. E. y C. Castillo, C. M. Medina y M. Huchin 1993. *Geukensia demissa* «mejillón amarillo» especie potencial de las costas del estado de Campeche. *Ciencia pesquera*. Inst. Nal. Pesca. Sria. Pesca. México, 9: 63 - 72.
- Baqueiro, C. E. y M. Castagna 1988. Fishery and culture of selected bivalves in México: past, present and future. *J. Shellf. Res.* 7: 433 - 443.
- Baqueiro, C. E., 1988. Population trends of commercial benthic molluscs from Mexican coastal waters. Joint Oceanog. Assem. Acapulco, México. (resumen).
- 1990. Características poblacionales del Hacha «*Atrina rigida*» de las costas de Campeche, México. *Mem. Cong. Nal. de Zool., México*, D.F.: 76 - 90.
- 1991. Effect of community dynamics on bivalve populations of commercial importance. *Primer congreso Latino-americano de Malacología, Caracas, Venezuela*. Julio (resumen): 6.
- 1992. Status of molluscan aquaculture on the Pacific coast of México. *Simp. Adv. Inov. on moll. Cult.*, Elsevier, New York, *Aquaculture Pub. Esp.*: 32 - 36.
- 1994. Aquaculture facilities for the Queen conch *Strombus gigas*. En: Appeldoorn R. y A. Bladimir (eds). *Biología, Pesqueña y cultivo de Strombus gigas*. Fundación los Roques, Venezuela: 136 - 142.
- Baqueiro, C. E., M. Medina 1988. Evaluación de las poblaciones de almeja *Rangia cuneata*, *Rangia flexuosa* y *Polymesoda carolineana* en las lagunas de Pom y Atasta, Campeche. Informe técnico CRIP, La Paz: 8 pp.
- Baqueiro, C. E., M. Medina, y H. Ramírez 1997. Conch fishery of Campeche. *Proc. Gulf*

and *Caribb. Fishr. Res. Inst.* 44.

- Berg, C. J. 1976. Growth of the Queen conch *Strombus gigas*, with a discussion of the practicality of its mariculture. *Mar. Biol.* 34 : 191 - 199.
- Bosada, L., 1987. Índice de crecimiento de la almeja bola *Mercenaria campechiensis* de la laguna de Ostión, Ver. Medio ambiente en Coatzacoalcos. Cent. Ecodesarrollo : 51 - 70.
- Cabrera, R. P. 1993. Crecimiento y sobrevivencia del ostión americano *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) en San Felipe, Río Lagartos, Yucatán, México. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Marina. Mérida, Yucatán.
- Cain, T. M., 1974. Reproduction and recruitment of the brackish water clam *Rangia cuneata*. *Fish. Bull.* 73 : 412-430.
- Casas, J. A. 1976. Cultivo de ostión en función de los parámetros ambientales de la laguna de San Andrés, Tamaulipas. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. 48 pp.
- Castagna, M. y J. N. Kaeuter 1981. *Manual for growing the hard clam Mercenaria*. Spec. Vir. Inst. Mar. Sci. Rep. Apl. Mar. Sci. and Ocean Enger. 249 : 110 pp.
- 1994. Age, growth rate, sexual dimorphism and fecundity of knobbed whelk *Busycon carica* (Gmelin, 1791) in western Mid-Atlantic lagoons systems, Virginia, *J. Shellf. Res.* 13 : 581 - 586.
- Castillo, R. C., 1985. Evaluación de la almeja blanca *Codachia orricularis* en costas de Campeche. Informe Técnico, CRIP, Lerma, Campeche: 8 pp.
- Castro, G. O., V. N. Fajardo y M. P. Vera. 1990. Evaluación de la variación de crecimiento del ostión *Crassostrea* sp. en cultivo, en un sistema de cajas flotantes, en Estero Pargo, Isla del Carmen, México. Reporte Interno. Fac. de Ciencias Pesqueras. Universidad Autónoma del Carmen. 20 pp.
- Cruz, A. R., 1984. Algunos aspectos reproductivos y variación mensual del índice de condición de *Anadara similis* (Pelecypoda : Arcidae) de Jicaral, Punta Arenas, Costa Rica. *Bremesia*. 22 : 95 - 105.
- Cruz, S. J. R. 1986. Evaluación de la pesquería del caracol reina *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758), y alternativas para el resurgimiento de las poblaciones naturales en el Caribe mexicano. Tesis prof. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. México. 87 pp.
- Chanley, P. 1982. Queen conch culture: is it practical?. *Catch'82*: 12 - 13.
- Chávez, M. E. y A. García-Cubas 1978. Reproducción y ciclo larvario de la almeja comercial *Rangia cuneata* en el sistema fluvio lagunar Atasta Pom, Camp. VI Cong. Nal. Ocean. Ensenada, B. C. México. (resumen)
- D'Asaro, C. N. 1970. Egg capsules of prosobranch mollusks from South Florida and the Bahamas and notes on spawning in the laboratory. *Bull. Mar. Sci.* 20 : 414-440.
- De la Torre, R. 1984. Pesquería de caracoles en el estado de Quintana Roo. Inst. Nal.

- Pesca, México: 25 pp.
- Del Campo, R. M. 1984. Etnomalacología Mexicana antigua. Mem. I Reun. Nal. Malacol. Conquiliol. U.A.B.C.S.R.: 10 - 39.
- Díaz, C. 1985. Biología poblacional del caracol reyna *Strombus gigas* en Quintana Roo, Tesis de Licenciatura Mex. Esc. Nal. Est. Prof. Ixtacala. UNAM. 79 pp.
- 1969. Cultivo experimental de madreperla *Pinctata mazatlanica*, en la Bahía de la Paz, B.C. México.
- Echevarría, V., E. Baquero C., C. Regis R. y A. Torres 1995. Evaluación del recurso almeja en el cuenca baja del río Papaloapan. Cong. Nal. Oceanog. Ver. Méx. (resumen)
- Fieldman, L. H. 1969. Panamic sites and archeological mollusks of lower California. *Veliger* 122: 107 - 168.
- Flores, F. 1981. Estudio biológico de una población de *Melongena melongena* en laguna del Carmen, Camp. Méx. Tesis prof. Fac. Cienc. Univ. Nal. Autón. Méx. 31 pp.
- Foster, J. W. 1975. Shell middens, paleoecology and prehistory, the case from estero Morua, Sonora, México. *The Kiva* 415 : 182-194.
- García, Valdez S. 1987. Crecimiento de *C. virginica* cultivado en suspensión en el estero de El Conchal, del sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. Tesis Profesional. ITMAR, Boca del Río Veracruz. 93 pp.
- Hopkins, S, H., J. W. Anderson, y K. Horvath 1973. The brackish water clam *Rangia cuneata* as indicator of ecological effects of salinity changes in coastal waters. Dept. Biol. Res Fund. 35 pp.
- Hopkins, S, H., J. W. Anderson, y K. Horvath 1974, Biology of the clam *Rangia cuneata*: what we now know and what it means. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 64: 4.
- Iracheta, F. 1972. Ostricultura en el estado de Tabasco. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias. UNAM México.
- Lizárraga, M. 1977. Técnicas aplicadas en el cultivo de moluscos en América Latina en : La acuicultura en América Latina. Actas del Simposio sobre América Latina, Vol. 2. Documentos de Reseña Montevideo, Uruguay. 26 de noviembre-2 de diciembre de 1974. FAO. inf. Pesca (159). Vol 2, 130 p.
- Loosanoff, V. L. y H. C. Davis 1963. Rearing of bivalve mollusks. En: Russell, F. S. (ed.). *Advances in Marine Biology*. Academic Press, New York 1: 2-136.
- Lorenzo, J. L., 1955. *Los concheros de la costa de Chiapas*. Ann. Inst. Nal. Antropol. e Hist. México. VII: 40 - 52.
- Menzel, R. W. 1986. Hybridization of oysters and clams. En: *Proc. World Symp. on Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture*, Bordeaux II: 27-30.
- Menzel, W. R., E. W. Cake, M. L. Haines, R. E. Martin y L. A. Olsen 1975. Clam mariculture in Northwest Florida: field studies on predation. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 65: 59-62

- Metcalf, T.C. y W.C. Stiles 1965. The Accumulation of enteric viruses by the oyster *Crassostrea virginica*. *J. Infect. Dis.* 115 : 68-76.
- Navarrete Rosas, O.I. 1989. Evolución gonádica y determinación del índice de fijación del ostión americano *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) en el sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz. Tesis Profesional. ITMAR, Veracruz. 90 pp.
- Orr, K. S., 1983. Projected economic feasibility of conch (*Strombus gigas*) mariculture in the Caribbean. Manuscrito. 26 pp.
- Palacios, F. M. R. 1983. Experimentación al semicultivo de ostión *Crassostrea virginica*, en la Laguna de San Andrés, Tamaulipas, México. Tesis Profesional. Fac. de Ciencias. UNAM. México. 118 pp.
- Palacios, F. M. y S. García 1988. *Manual técnico para la operación de centros acuícolas productores de ostión*. Comité Coord. para la operación acuícola. Sria. de Pesca. México.
- Polanco, E. J., R. Mimbela S., L. Belendez M., M. Angel F. y A. Reynoso A. 1988. Situación actual de las principales pesquerías Mexicanas. Sec. Pesca, Mex.: 169-300, 415 - 426.
- Polanco, E. J., R. Mimbela S., L. Belendez M., M. Angel F. y A. Reynoso A. 1988. *Situación actual de las principales pesquerías mexicanas*. Sec. Pesca, Mex.: 169-300, 415 - 426.
- Quijano, F. J. 1988. El recurso caracolero en el Caribe Mexicano. En: Inst. Nal. Pesca (ed.). *Los Recursos Pesqueros del País*. Sec. Pesca, Mex.: 497-512.
- Ramírez, G. R. y M. L. Sevilla 1965. Las ostras de México. *Sec. Ind. y Com. Inst. Nal. de Pesca. Pub. 7* : 107 pp.
- Rangel-Dávalos, C. 1990. El cultivo de moluscos marinos en México. La acuicultura en México : de los conceptos a la producción. Compiladores : Guadalupe de la Lanza-Espino y José Luis Arredondo Figueroa. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. p. 107-138.
- Reigadas, D. F., G. Vázquez, E. Amador y R. S. Mendoza 1984. Especies de moluscos en concheros de la región del Cabo, Baja California Sur. CIBCASIO Reun. An. (resumen): 35.
- Rentería, G. L. 1987. Estudio de la factibilidad del cultivo de ostión *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) en suspensión con balsas, en Boca de Camichín, Nayarit. Tesis Profesional. ITMAR, Veracruz. 103 pp.
- Rihani, V.A. 1989. Información básica de la actividad pesquera en Yucatán 1988. Delegación Federal de Pesca y Departamento de Desarrollo Pesquero del estado de Yucatán. 59 pp.
- Rodríguez, H. S. 1986. Bacterias coliformes en el procesamiento de ostiones (*Crassostrea virginica*) en Tabasco, México. An. Inst. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 13 (1) : 445-448.
- Rogers, N. P. 1970. Ciclo gonádico del «ostión de roca» *Crassostrea iridescens* Hanley

- 1854, de Salina Cruz, Oaxaca, México, Tesis de Licenciatura, Fac. Cienc. U. N. A. M. México. 40 pp.
- Rogers, N. P. y A. García-Cubas 1981a. Evaluación gonádica a nivel histológico del ostión *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971) del sistema fluvio lagunar. Atasta, Pom, laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del mar y Limnol.* UNAM, 8 : 21 - 42.
- Rogers, N. P. y A. García-Cubas 1981b. Evaluación gonádica a nivel histológico de *Rangia cuneata* (Gray, 1931) de la laguna de Pom, Campeche, México Mollusca: Bivalvia). *An. Inst. Cienc. del mar y Limnol.* UNAM. México 8 : 1 - 20.
- Sevilla, M. L. 1959. Datos biológicos para el cultivo de ostión en Guaymas, Sonora. SIIC Dir. Gral. de Pesca.
- Sevilla, M. L. y E. Mondragón 1965. Desarrollo gonádico de *Crassostrea virginica* Gmelin, en la laguna de Tamiahua. *An. Inst. Nal. Invest. Biológico Pesquero*, México 1: 52-59.
- Sunderlin, J. B., M. Brenner, M. Castagna, J. Hiroita, R. W. Menzel y A. O. Roels 1975. Comparative growth of hard shell clams (*Mercenaria mercenaria* Linne and *M. campechiensis* Gmelin) and their F1 cross in temperate, subtropical and natural waters and in a tropical artificial upwelling mariculture system. *Proc. World. Mar. Soc.*: 171 - 183.
- Weibel, S.R. Anderson y R. Woodward 1974. Urban land run off as a factor in stream pollution. *J. Water Poll. Contr. Fed.* 36 : 914-924.

Tercera parte
LOS ECOSISTEMAS DEL GOLFO DE MÉXICO

EL GOLFO DE MÉXICO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO. UNA COLABORACIÓN ENTRE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, MÉXICO Y CUBA

John W. Tunnell Jr., Darryl L. Felder y Sylvia A. Earle

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es uno de los cuerpos de agua más productivos del mundo a nivel ecológico y económico. Conocido como el Mar de América o el Mediterráneo americano, está rodeado por tres países: Estados Unidos, México y Cuba. Sin embargo, los conocimientos y el manejo de este enorme ecosistema marino (Kumpf *et al.* 1999) generalmente han sido aplicados de manera independiente por cada uno de los tres países a lo largo de la historia. Aunque ha habido cierta colaboración y cooperación, regularmente seguía una línea de investigación o área de interés específica. El avance de las comunicaciones y los transportes en el siglo XXI exigen mejor cooperación y colaboración, tanto para el conocimiento como para el manejo de esta región. El Instituto de investigación Harte para estudios acerca del Golfo de México ha lanzado una nueva iniciativa, *El Golfo de México. Pasado, presente y futuro*, para contribuir al logro de la síntesis y expansión de los conocimientos, de las nuevas investigaciones exploratorias, de la extensión y educación, así como al manejo del Golfo de México de manera trilateral.

El Instituto de investigación Harte (HRI, por sus siglas en inglés) para estudios acerca del Golfo de México fue fundado en septiembre de 2000 en la Universidad A&M de Texas, plantel Corpus Christi (TAMU-CC, por sus siglas en inglés), en Corpus Christi, Texas. Un consejo consultivo de primer

nivel formado por expertos en temas de negocios, académicos y de conservación apoyan a la TAMU-CC en el desarrollo del nuevo instituto de investigación.

El HRI pretende ser un centro de investigación de excelencia que proporcione liderazgo internacional en la generación y difusión de los conocimientos acerca del ecosistema del Golfo de México y el papel crítico que juega en las economías de la región de América del Norte. La misión del HRI es apoyar y fomentar el uso sustentable y la conservación a largo plazo del Golfo de México, misión que se logrará mediante los siguientes mecanismos:

- Crear un entorno propicio para llevar a cabo programas de investigación y de educación exitosos y significativos, con profesores, personal y alumnos calificados.
- Promover la excelencia y la innovación en la investigación científica interdisciplinaria, las iniciativas de políticas públicas y la educación del público en torno al Golfo de México.
- Fomentar una responsabilidad y un enfoque trinacional para comprender el ecosistema del Golfo de México.
- Colaborar y cooperar con otras organizaciones que se dedican a tratar temas relacionados con el Golfo de México, para lograr objetivos comunes.
- Difundir libremente los resultados de las investigaciones entre la comunidad científica, las agencias de manejo, el público en general y los creadores de políticas, con el fin de fomentar el uso sensato y apropiado del Golfo de México.
- Construir un centro de investigación de tres pisos y 5,000 m² (55,000 pies²), cuya edificación se inició en junio de 2003 y será concluida en 2005.

NUEVOS COMPONENTES DE LA INICIATIVA

El Instituto de investigación Harte (www.hri.tamucc.edu) promoverá y patrocinará la iniciativa *El Golfo de México. Pasado, presente y futuro* en sus años de formación, para avanzar en su cometido de lograr el uso y la conservación sustentable del Golfo de México. Los componentes de esta iniciativa que se desarrollará a lo largo de varios años entre Estados Unidos, México y Cuba incluyen:

1. el diseño y mantenimiento de una base de datos de investigación acerca del Golfo de México entre los países de la zona, con acceso vía internet;
2. la colaboración con otras instituciones y organizaciones para copatrocinar expediciones anuales de exploración en el Golfo de México;
3. el patrocinio de un taller acerca del estado del conocimiento, con la participación de destacados científicos, administradores y ambientalistas de la zona del Golfo de México, en octubre de 2003;
4. el inventario de la biodiversidad del Golfo de México, mediante la preparación de una lista de control de todas las especies, en la que se incluya hábitat, distribución y referencias clave de cada especie;
5. la preparación de una actualización de los 50 años del *Bulletin 89 (Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life)*, (Galtsoff, 1954);
6. el patrocinio de una conferencia acerca del estado del Golfo de México en octubre de 2005, en la que participen todos los usuarios y las entidades (científicos, encargados del manejo, responsables de políticas, industrias, negocios, turistas);
7. el patrocinio anual de reuniones de trabajo temáticas regulares en HRI sobre temas actuales necesarios o de interés;
8. la creación de una Alianza del Golfo de México con todos los grupos de interés; y,
9. el uso de todos los mecanismos anteriores con el fin de desarrollar iniciativas de políticas públicas que afecten de manera positiva el estado del Golfo de México.

El HRI busca ser lo más incluyente posible, y cooperar y colaborar con otras instituciones para llevar a cabo estos componentes. Un comité estratégico de planeación y dirección en toda la zona ayuda a desarrollar ciertos elementos de la iniciativa. Algunos de los puntos anteriores ya operan (números 1 y 2) o ya ocurrieron (número 3), algunos están en etapa de planeación (números 4 a 6), y los restantes se desarrollarán conforme el HRI esté funcionando por completo. A continuación se proporciona más información, que se ampliará conforme se desarrollen los planes (véase la página de Internet de HRI en www.hri.tamucc.edu).

1. Base de datos de investigación. La base de datos de HRI en internet, la *GulfBase* (Base del Golfo), ubicada en www.gulfbase.org, comenzó a operar en octubre de 2002. En la actualidad, *GulfBase* es una página de Internet que pueden utilizar todos los investigadores así como los institutos y proyectos de investigación del Golfo de México para buscar y clasificar información. Se seguirá ampliando con más bases de datos.

2. Expediciones de exploración. Un sello distintivo de HRI serán los cruceros anuales en colaboración con otras entidades y de exploración a varios puntos del Golfo de México. La primera expedición de exploración copatrocinada fue a los arrecifes de coral de Veracruz, México, en 2002. Este crucero, que utilizó la embarcación de investigación oceanográfica Antares, de la marina mexicana, fue una colaboración entre HRI, el *National Geographic Society's Sustainable Seas Program* (Programa de Océanos Sustentables de la Sociedad National Geographic) y el Instituto de Oceanografía de la marina mexicana. Se planean cruceros de exploración a futuro a la parte noroccidental de Cuba y a las cumbres topográficas del Golfo de México.

3. El taller *El estado del conocimiento*. El taller *El estado del conocimiento acerca del Golfo de México* llevó a cabo el 14 y 15 de octubre de 2003 en Corpus Christi. La nueva base de datos de investigación de HRI en Internet, *GulfBase*, en www.gulfbase.org, será utilizada para fomentar la cooperación y la colaboración entre los profesionales de los países colindantes del Golfo: Cuba, México y los Estados Unidos.

El propósito de este taller era iniciar un plan para determinar el estado del conocimiento acerca del área. Científicos marinos de los tres países iniciarán el proceso de sintetizar y determinar los conocimientos desde una perspectiva holística de todo el Golfo. Han pasado casi 50 años desde que se publicó el documento en un volumen *Gulf of Mexico - Its Origin, Waters, and Marine Life* (Galtsoff 1954) que resumía lo que se conocía en la época acerca del Golfo de México. Más de 50 científicos contribuyeron a este trabajo que cubre los temas de historia, geología, meteorología, oceanografía física y química, biota y contaminación del Golfo. Aunque la cobertura de cada tema varía ampliamente en términos de la profundidad y la extensión con la que se abordaron, y que se centró principalmente en la parte norte del Golfo de México, el *Bulletin 89* fue una de las principales fuentes de consulta de los investigadores durante varias décadas. La mayor parte de los conocimientos obtenidos y presentados en el *Bulletin 89* se obtuvo de cruceros y expediciones de investigación realizadas a finales del siglo XIX y principios del XX, así como de algunos incipientes laboratorios científicos marinos y programas oceanográficos de finales de la década de 1940 y principios de la década de 1950.

Durante los 50 años siguientes, una serie de trabajos publicados se han centrado en ciertos temas, regiones o grupos taxonómicos. En el cuadro 1 se resumen algunos de los más sobresalientes.

CUADRO 1. LISTA DE LOS PRINCIPALES TRABAJOS ACERCA DE TEMAS, REGIONES O GRUPOS TAXONÓMICOS SELECTOS EN EL GOLFO DE MÉXICO EN LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS (1954-2003), DESDE LA PUBLICACIÓN DE GALTISOFF (1954)

FECHA	AUTOR(ES)	TEMA / COMENTARIOS
<i>Por tema</i>		
1970	Pequegnat y Chace (eds.)	Principalmente biología marina de gran altura; volumen 1 de 3
1972	Capurro y Reid (eds.)	Oceanografía física; volumen 2 de 3
1972	Rezak y Henry (eds.)	Oceanografía geológica y geofísica; volumen 3 de 3
1989	Britton y Morton Salvador (ed.)	Ecología costera, principalmente sobre la parte noroeste del golfo, y algo sobre la parte sur
1991	Bianchi (et al., eds.)	Geología de la Cuenca del Golfo de México
1999	Kumpf (et al., eds.)	Biogeoquímica Serie sobre ecosistemas marinos de grandes proporciones
<i>Por región</i>		
1973	SUSFIO	Resumen de los conocimientos de la parte este del Golfo
1981	Flint y Rabalais	Estudio del ecosistema de la plataforma continental exterior del sur de Texas
1983	Darnell <i>et al.</i>	Atlas de distribución de peces y camarones selectos en la parte noroeste del golfo
1985	Ehler <i>et al.</i>	Data atlas of northern Gulf coastal and ocean zones
1987	Berryhill <i>et al.</i>	Atlas de superficie y estructura del Periodo Cuaternario Tardío, parte norte del golfo
1987	Darnell <i>et al.</i>	Atlas de distribución de peces y camarones selectos en la plataforma oriental del golfo
<i>Por grupo taxonómico</i>		
1998 +	McEachron y Fechhelm	Volumen 1 (1998) contiene 40 de 44 órdenes y cerca de la mitad de las 1,468 especies; volumen 2 en impresión
2000	Wursig <i>et al.</i>	Cubre las 31 especies conocidas en el Golfo

En los albores del nuevo siglo, los investigadores de los laboratorios y las universidades marinas engloban todo el Golfo de México en Cuba, México y Estados Unidos, y la instrumentación, la tecnología y la comunicación han ampliado considerablemente nuestros conocimientos acerca de él. El Gulf of Mexico Program (Programa del Golfo de México) (www.epa.gov/gmpo/) de la Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; EPA, por sus siglas en inglés) ha identificado los problemas prioritarios que afectan la parte norte del Golfo de México, y recientemente publicó las necesidades de investigación de la región (EPA 2002). Una red de organizaciones de la Organización de las Naciones Unidas declaró al Golfo de México uno de los 64 ecosistemas marinos de gran tamaño, del mundo (Kumpf *et al.* 1999). HRI facilitó este taller El estado del conocimiento con el fin de empezar a establecer qué se sabe acerca de esta zona. El taller, en el que participarán destacados científicos de los tres países, dará inicio a la organización y preparación formales de un nuevo compendio de información acerca del Golfo de México (véase el punto 5, más adelante).

4. Proyecto de biodiversidad .Se creará un inventario de la biodiversidad del Golfo de México, revisado por colegas, mediante la preparación de una lista de control de todas las especies vivientes. Dicha lista incluirá hábitat, distribución y referencias clave para cada especie. En este momento se reúne al personal apropiado para trabajar cada uno de los principales grupos taxonómicos y se estima que se necesitan de uno a dos años para preparar la lista de control. El producto de este esfuerzo será un libro (o libros, véase el punto 5, más adelante) de todas las especies, con un resumen antes de cada grupo taxonómico. Además, este proyecto es una encuesta regional afiliada de ecosistemas del programa U.S. Census of Marine Life (Programa del censo de la vida marina) (www.coml.org), y se incluirá la lista de control en el Ocean Biogeographic Information System (Sistema de Información Biogeográfica Marina; OBIS, por sus siglas en inglés) (www.iobis.org) como un atlas taxonómico digital dinámico del Golfo de México.

El *Fishery Bulletin* 89, mencionado anteriormente en el punto 3, enumeró más de 25 grupos taxonómicos principales (filum o grandes clasificaciones) y casi 50 grupos taxonómicos en total. El 65% del libro cubre la biota y a las comunidades bióticas. En comparación, 6% está dedicado a la historia de la exploración y la investigación, 7% a la geología/oceanografía geológica, 1% a la meteorología, 10% a la oceanografía física y química, y 4% a la contaminación.

Para que los responsables del manejo de los recursos naturales manejen adecuadamente los que existen en el Golfo de México, resulta absolutamente necesario contar con una evaluación precisa de las especies, por hábitat y por distribución. Es adecuado tomar como parámetro y punto de partida temporal el inicio del siglo XXI.

5. *Bulletin 89.* Actualización de 50 Años. Al combinar los resultados de los puntos 3 y 4 mencionados anteriormente, haremos una actualización del *Bulletin 89, Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life* (Galtsoff, 1954). Es factible que aumente de un volumen a por lo menos cuatro.

Antecedentes. Hace apenas 50 años, un grupo de importantes científicos marinos acordaron crear un compendio con los conocimientos que se tenían a la fecha acerca del Golfo de México. La propuesta fue hecha por Lionel A. Walford, del Fish and Wildlife Service (Servicio de Pesca y Vida Silvestre) y Waldo L. Schmitt, del U.S. National Museum (Museo Nacional de los Estados Unidos) durante una reunión del Gulf and Caribbean Fisheries Institute (Instituto de Pesquerías del Golfo y el Caribe) en Miami. Paul S. Galtsoff, del Fish and Wildlife Service, aceptó coordinar el proyecto, cuya magnitud, como se percató más adelante, excedía por mucho sus expectativas. Sin embargo, tres años de esfuerzo realizado por 55 colaboradores y unos meses más de edición, dieron como resultado la publicación, en 1954, de la obra clásica de consulta *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Fishery Bulletin 89* (Galtsoff, 1954). La portada de esta obra señala que fue: “Preparado por científicos norteamericanos bajo el auspicio Fish and Wildlife Service, United States Department of the Interior (Servicio de Pesca y Vida Silvestre del Departamento del Interior, de los Estados Unidos) y que el esfuerzo fue “coordinado por Paul S. Galtsoff”, a quien, por lo general, se indica como editor en las referencias bibliográficas a dicha obra.

Este volumen de referencia, al que comúnmente se le refiere sólo como *Bulletin 89* por gran cantidad de científicos marinos, personal de agencias y estudiantes que lo conocen, ha proporcionado durante 50 años un parámetro sobre el cual seguir construyendo. El planteamiento que hace de la historia de la exploración, la geología, la meteorología, la oceanografía física y química, la biota y el impacto humano siguen siendo sumamente valiosos como obras de consulta, en algunos casos principalmente por su contexto histórico. Entre los colaboradores se encontraban los científicos marinos más renombrados de la época, quienes se hicieron aún más conocidos por los capítulos tan ampliamente citados que contribuyeron a dicha obra. En el grupo se incluyeron los científicos de agencias federales, curadores museográficos,

investigadores de laboratorios marinos y profesores universitarios más calificados que se pudieron reunir. Representaba ampliamente a las autoridades taxonómicas seleccionadas para cubrir a casi todos los grupos bióticos posibles, con omisión explícita de algunos grupos para los que no se encontró un experto disponible.

Hasta donde sabemos, al momento de la elaboración de este texto, sólo cuatro de los 55 colaboradores iniciales siguen con vida; todos ellos están retirados, y únicamente dos siguen activos en el campo de la investigación. Sin embargo, los 55 colaboradores iniciales, y sobre todo el mucho mayor número de alumnos de los que fueron mentores, han contribuido a generar una enorme cantidad de información acerca del Golfo de México desde 1954. Además de este grupo medular, otros profesionales –de los cuales muchos trabajan ahora en laboratorios, agencias y programas universitarios que no existían hace 50 años– han contribuido enormemente a la información de base acerca del Golfo de México a partir de que se publicó este volumen.

El Plan. Aunque se trate de un reto de enormes proporciones, ya es imperioso contar con una actualización del *Bulletin* 89. Conforme se acerca el quincuagésimo aniversario de su publicación, el rango y el ámbito del material primario publicado acerca del Golfo de México se ha vuelto tan extenso que resulta casi inmanejable para la mayoría de los encargados. No han aparecido compendios serios en torno al Golfo de México para casi ninguno de los temas desde la publicación del *Bulletin* 89 y, sin embargo, muchos de los planteamientos en dicha obra son tan anticuados que su valor se limita a servir como puntos de partida históricos. Más aún, parece existir la necesidad de empezar a reunir las compilaciones para el compendio actualizado, antes de que la comunidad científica marina sufra mayores pérdidas para la continuidad de sus conocimientos. Así como hemos perdido a casi todos los colaboradores iniciales del *Bulletin* 89, también a lo largo de estos últimos 50 años, gran parte de la siguiente generación de trabajadores se ha ido, y otros muchos están por terminar sus vidas profesionales. Quizá esto se evidencia más por el hecho de que cada vez se cuenta con un menor número de encargados calificados y con suficientes conocimientos para sistematizar la diversidad y taxonomía de la biota del Golfo de México.

Con esto, presidiremos un esfuerzo conjunto para identificar colaboradores, formular procedimientos de investigación, establecer formatos de colaboración, y marcar calendarios para lo que vemos como una actualización de 50 años de *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life*. Nuestros esfuerzos serán incrementados por comités de vigilancia que in-

cluyan representación adicional del National Museum of Natural History (Museo Nacional de Historia Natural) del Smithsonian Institution (Instituto Smithsonian), en Washington D.C., diversas instituciones en estados de Estados Unidos de América que colindan con el Golfo de México, e instituciones clave de Cuba y de México. Nuestra intención es apartarnos de una limitante que existía en el volumen original, en cuanto a que los colaboradores contemplados en esta ocasión no serán exclusivamente científicos nativos de los EE.UU.

Proponemos que cada colaborador de este esfuerzo contribuya al volumen de 1954 mediante una revisión exhaustiva del material publicado y de otros archivos verificables, con el fin de integrar los datos y registros relevantes hasta el año 2003. Dada la magnitud de esta cobertura, y ahora, la enorme cantidad de material publicado que se debe revisar, sugerimos que este nuevo compendio se publique en por lo menos cuatro volúmenes: uno que se enfoque en el tema del origen (historia, arqueología, geología); otro, en el tema del agua (oceanografía química y física); otro a la vida marina (biota, hábitats y comunidades), y un cuarto a los efectos antropogénicos. Opinamos que no se deben publicar en ningún orden específico, sino que simplemente deben llevar el número de volumen y la fecha de publicación, de acuerdo con la secuencia en la que fueron completados. Además, proponemos que, a reserva de que se desarrollen acuerdos de publicación mutuamente benéficos, que estos volúmenes sean publicados bajo el auspicio del Instituto de Investigación Harte para estudios acerca del Golfo de México, que patrocina este plan. También se pretende que esta información constituya un recurso de partida para el desarrollo simultáneo de una base de datos en la zona del Golfo, cuyo funcionamiento y actualización estará a cargo del Instituto de Investigación Harte.

6. La conferencia Estado del Golfo de México. En octubre de 2005, la conferencia Estado del Golfo de México será un evento importante que aborde y presente públicamente la situación (condición o salud) actual de todos los aspectos del Golfo de México (biota, hábitats y comunidades bióticas, pesquerías, calidad de agua y de sedimentos, desarrollo costero, exploración y desarrollo petrolero y gasífero, turismo, manejo de los recursos naturales, etcétera). Dicha conferencia será la primera de una serie continua que se llevará a cabo cada cinco años, cada vez en una ciudad principal diferente del Golfo de México. Se establecerán diez indicadores de la salud del ecosistema que permitirán la medición de los resultados (positivos o negativos) en el estado del Golfo de México. Dichos criterios se desarrollan

en este momento.

7. Reuniones de trabajo temáticas anuales. Cada año, HRI patrocinará una pequeña reunión de trabajo con destacados científicos acerca de temas actuales e importantes que afecten al Golfo de México (por ejemplo, especies invasivas, floraciones dañinas de algas, desarrollo costero, áreas muertas, etcétera). Dichas conferencias se llevarán a cabo en el nuevo centro de conferencias de HRI en la Universidad A&M de Texas, plantel Corpus Christi, en Texas.

8. Alianza del Golfo de México. Se establecerá una alianza entre todos los grupos de interés o entidades que tengan preocupaciones, interés, uso o jurisdicción en la zona. Dicha alianza incluirá a miembros de empresas privadas (pesquerías, turismo, petróleo y gas, etcétera), agencias gubernamentales estatales y federales, académicos, ambientalistas y otros grupos no gubernamentales y ciudadanos particulares. La alianza trabajará en forma cooperativa y colectiva en favor del uso y la conservación sustentables del Golfo de México en el largo plazo.

9. Iniciativa de políticas públicas. Conforme se desarrolle y crezca, HRI pretende ubicarse a la cabeza de los esfuerzos por fomentar y lograr la cooperación entre múltiples socios, con el fin de influir sobre las políticas públicas para que contemplen el uso y la conservación sustentables del Golfo de México en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- H. L. Berryhill, Jr. (ed.) 1986. *Late Quaternary Facies and Structure, Northern Gulf of Mexico: Interpretations from Seismic Data*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists.
- T. S. Bianchi, J. R. Pennock, y R. R. Twilley (eds.) 1999. *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley and Sons.
- J. C. Britton y B. Morton 1989. *Shore Ecology of the Gulf of Mexico*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- L. R. A. Capurro y J. L. Reid (eds.) 1972. *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 2. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2002. *Critical Scientific Research Needs Assessment for the Gulf of Mexico Program*. USEPA, Gulf of Mexico Program, Stennis Space Center, Mississippi.
- R. W. Flint y N. N. Rabalais 1981. *Environmental Studies of a Marine Ecosystem: South*

- Texas Outer Continental Shelf*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- P.S. Galtsoff (ed.) 1954. *Gulf of Mexico – Its Origin, Waters, and Marine Life*. Fishery Bulletin 89, Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service, Vol. 55.
- H. Kumpf, K. Steidinger, y K. Sherman (eds.) 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science Inc., Malden, Massachusetts.
- J. D. McEachran y J. D. Fechtel 1998. *Fishes of the Gulf of Mexico, Volume 1*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- W. E. Pequegnat y F. A. Chace, Jr. (eds.) 1970. *Contributions on the Biology of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 1*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- R. Rezak y V. J. Henry (eds.) 1972. *Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Texas A&M University Oceanographic Studies, Vol. 3*. Houston, Texas: Gulf Publishing Co.
- A. Salvador (ed.) 1991. *The Gulf of Mexico Basin*. Boulder, Colorado: Geology Society of America.
- SUSFIO (State University System of Florida Institute of Oceanography) 1973. A Summary of Knowledge of the Eastern Gulf of Mexico.
- R. E. Turner 1999, 'Inputs and outputs of the Gulf of Mexico', en H. Kumpf, K. Steidinger, y K. Sherman (eds.), *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Malden, Massachusetts: Blackwell Science.
- B. Würsig, T. A. Jefferson, y D.J. Schmidly 2000. *The Marine Mammals of the Gulf of Mexico*. College Station, Texas: Texas A&M University Press.

LAS LAGUNAS COSTERAS Y ESTUARIOS DEL GOLFO DE MÉXICO: HACIA EL ESTABLECIMIENTO DE ÍNDICES ECOLÓGICOS

Francisco Contreras E. y Ofelia Castañeda L.

Las lagunas costeras y ecosistemas similares se caracterizan por poseer un ambiente de cambio continuo derivado de los efectos hidrológicos ocasionados por el encuentro de dos masas de agua de diferente origen y propiedades físico químicas, lo que en principio limita la diversidad específica. En cambio, y desde otra perspectiva, este encuentro trae como consecuencia la presencia de diversos hábitats que permiten el establecimiento de organismos, poblaciones e inclusive comunidades con diferentes requerimientos. Desde un enfoque espacial, el hecho de que existan normalmente áreas de influencia dulceacuícola permanente, propicia la colonización de organismos de origen acuático continental y, por otro lado, la persistencia del efecto mareal provee de especies de estirpe marina. Además de lo anterior, hay que destacar la presencia casi siempre permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de 10 a 25 ppm propician un entorno hidrológico idóneo para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o eficientemente adaptados a éste. Así, la cantidad de especies de peces por laguna varía en promedio entre 50 y 100, la de moluscos entre 50 y 90 y la de crustáceos entre 40 y 70. Por otra parte, las lagunas están en su mayoría estrechamente ligadas con bosques de manglar, que constituyen hábitats particularmente ricos para las aves (se reconocen 1,038 especies de aves en México representando a 86 familias), reptiles y mamíferos.

Por otro lado, la importancia socio-económica de la actividad pesquera que se lleva a cabo en las lagunas costeras, particularmente en el Golfo de México, es indiscutible. Con base en la estadística oficial y en un análisis realizado del período 1988 a 1999, es posible establecer que en los estados del Golfo el porcentaje de la pesca ribereña, en comparación con el volumen de la pesca total (que incluye a la de alta mar), es mayoritaria y mantiene el primer lugar en 19 especies comerciales provenientes todas de su captura dentro de las lagunas o de áreas muy cercanas a ellas, y donde la abundancia de algunas especies se debe a la presencia de ecosistemas costeros. La proporción entre la pesca ribereña y de alta mar en términos de porcentajes es: Tamaulipas, 91.2; Veracruz, 80.4; Tabasco, 91.1; Campeche, 83.4 y Yucatán con 85 %. A lo anterior habría que agregar que, en términos económicos, las especies ribereñas son comúnmente maspreciadas que las oceánicas (camarón, langosta, langostino, etc.) e involucran una cantidad considerable de personas y actividades relacionadas.

En resumen, las lagunas costeras y estuarios constituyen un efecto hidrológico producto del encuentro de dos tipos de agua y representan el mejor índice de la calidad de la cuenca. Así, el conocimiento de los principales parámetros físicoquímicos ofrece claves invaluable para el manejo de las cuencas y ecosistemas costeros. En este sentido, la generación de bases de datos basadas en las características de nuestros propios sistemas acuáticos, tanto abióticos como bióticos, se vuelve imprescindible para establecer índices en el monitoreo y control de la salud de dichos sistemas.

En el presente trabajo se exponen, por primera vez de forma integrada, los resultados derivados de una considerable cantidad de años de muestreos realizados en varias lagunas del Golfo de México que permiten establecer algunos valores “normales” de algunos parámetros abióticos. Existen datos inéditos que a continuación se presentan, no siendo todos (se especifica las fuentes cuando corresponda) propios de los autores. Además, en las breves descripciones que se hacen por cada sistema lagunar, se presenta el resumen de los datos hidrológicos para cada uno de ellos, con el fin de colaborar con otros investigadores.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La línea costera del Golfo de México comprende desde el estado de Tamaulipas hasta el de Yucatán. Su extensión total es de 1,910 km y las lagunas costeras cubren una superficie aproximada de 5,767 km². En este litoral

se ubican los ríos mas caudalosos (Grijalva Usumacinta, Papaloapan) y los ecosistemas estuarinos mas grandes del país (lagunas Madre y Términos con 200,000 y 196,000 ha, respectivamente). En la costa se llevan a cabo diversas actividades económicas, sobresaliendo las pesquerías ribereñas, turismo, ganadería, agricultura y extracción de petróleo.

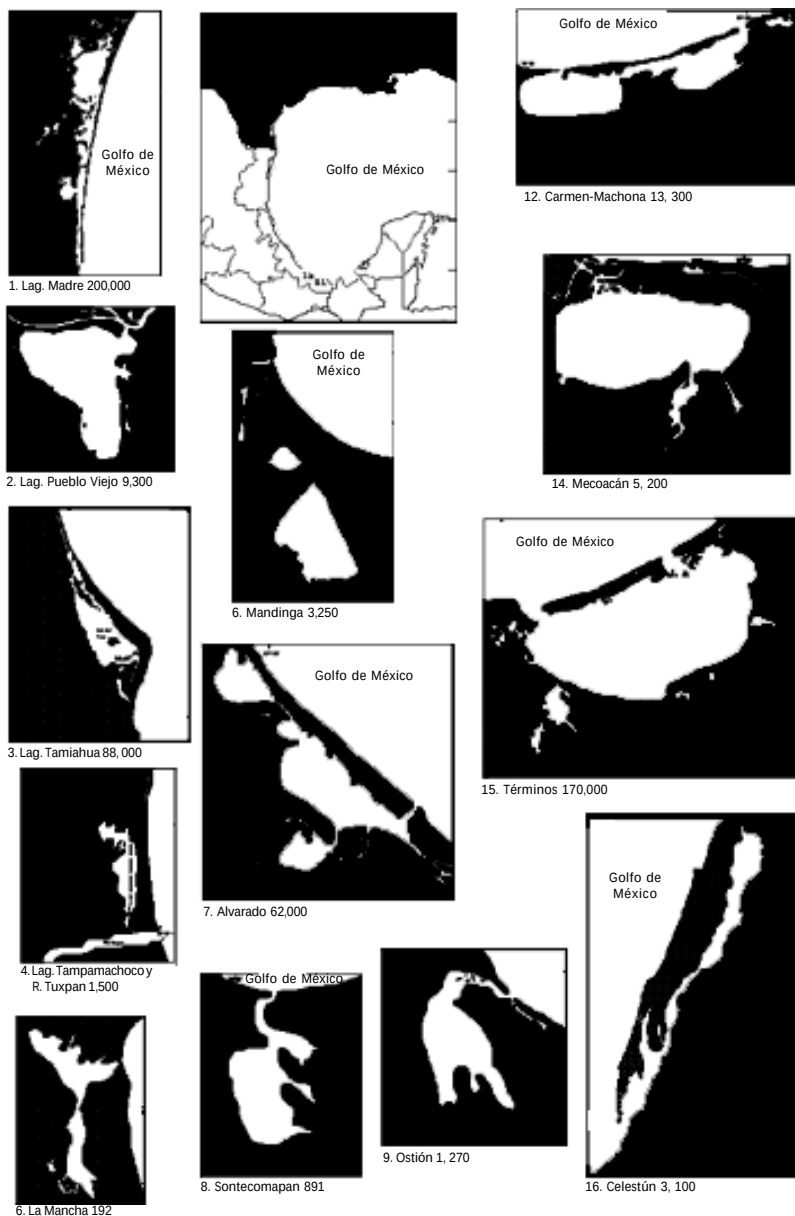
El origen geológico del litoral del Golfo de México da como resultado la presencia de planicies costeras y plataformas continentales extensas que alcanzan de 170 a 269 km en la sonda de Campeche y la Plataforma Yucateca. A excepción de la porción norte de Tamulipas y parte de la Península de Yucatán, la evaporación y precipitación son similares, además de los importantes aportes dulceacuícolas de los numerosos ríos, lo que hace que los cuerpos acuáticos manifiesten tendencias a la estuarinidad y en algunos casos a la oligohalinidad, como en los pantanos de Centla en Tabasco.

ALGUNAS CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS LAGUNAS Y ESTUARIOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Desde la perspectiva biológica, las lagunas costeras del Golfo (figura 1) poseen características propias y con diversidades diferentes propiciadas por factores hidrológicos y por la tasa de recambio de agua, así como de la influencia dominante, ya sea la marina o la dulceacuícola, debido a la estacionalidad (Nixon 1981, Knoppers *et al.* 1991, Knoppers y Kjerfve 1999, Alber 2002). Sin embargo, hay algunos componentes que son compartidos, como la presencia de bosques de manglar constituido por las especies conocidas (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus*), aunque no en todas coexisten las cuatro. También en la mayoría hay presencia importante de pastos marinos, en especial hacia la región de Yucatán. El fitoplancton es dominado por diatomeas y en el zooplancton la presencia de copépodos es preponderante. La frecuencia de *Acartia tonsa* es común en todas; de la misma forma, por ejemplo, la existencia de peces como *Mugil cephalus* y *M. curema* es común. El número de especies de crustáceos, moluscos y peces varía de una laguna a otra y frecuentemente se debe a las características propias, aunque en otras ocasiones se explica por el método de muestreo empleado por el investigador. El cuadro 1 presenta un inventario resumido de las lagunas del Golfo de México.

LAGUNA MADRE. Es la laguna costera mas grande de México con una extensión de 200,000 ha. En áreas con elevada salinidad, la vegetación circundante es dominada por la asociación *Suaeda nigra*- *Salicornia ambigua*; ésta

FIGURA 1. PRINCIPALES LAGUNAS COSTERAS DEL GOLFO DE MÉXICO



CUADRO 1. INVENTARIO RESUMIDO DE LAS LAGUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO

	HA	LAT. N	Lon. W		HA	LAT. N	Lon. W
<i>Tamaulipas</i>				<i>Tabasco</i>			
Lag. Madre	200,000	25° 48'	97° 54'	Lag. El Carmen	8,800	18° 18'	93° 53'
Lag. El Catán	24° 01'	97° 23'		Lag. La Machona	6,500	18° 14'	93° 45'
Lag. Morales	3,200	23° 46'	97° 47'	Lag. Tupilco	800	18° 26'	93° 27'
Lag. San Andrés	9,700	22° 47'	97° 54'			18° 24'	93° 25'
		22° 32'	97° 41'	Lag. Mecoacán	5,200	18° 28'	93° 14'
Lag. El Chairel	4,200	22° 10'	97° 51'			18° 16'	93° 04'
Est. río Pánuco		22° 28'	98° 38'	Pantanos de Centla	300,000	18° 39'	92° 47'
						17° 57'	92° 06'
Total de ecosistemas: 19				Total de ecosistemas: 37			
<i>Veracruz</i>				<i>Campeche</i>			
Lag. Pueblo Viejo	9,300	22° 13'	97° 57'	Lag. Atasta	3,600	18° 40'	92° 14'
		22° 05'	97° 50'	Lag. Porn	5,200	18° 33'	92° 01'
Lag. Tamiahua	88,000	22° 06'	97° 46'	Lag. Términos	170,000	19° 00'	92° 00'
		21° 15'	97° 23'			18° 20'	91° 10'
Lag. Tampamachoco	1,500	21° 02'	97° 22'				
		20° 18'	97° 19'	Total de ecosistemas: 12			
<i>Estuario Tecolutla</i>				<i>Yucatán</i>			
		20° 29'	97° 04'	Lag. Celestún	3,100	20° 59'	90° 28'
Lag. Casitas-Naufla		20° 27'	97° 00'			20° 46'	90° 19'
		20° 15'	97° 00'	E. Yucalpetén		21° 19'	89° 47'
Lag. Grande	2,250	20° 06'	96° 00'	Lag. Chelém		21° 15'	89° 40'
		20° 06'	96° 41'	Dzilam de Bravo	400	21° 22'	88° 59'
Lag. San Agustín	172	20° 02'	96° 38'	Ria Lagartos	10,000	21° 34'	88° 15'
		19° 56'	96° 35'			21° 32'	87° 35'
		19° 55'	96° 30'	Total de ecosistemas 5			
Lag. Verde	110	19° 43'	96° 25'				
Lag. El Llano	2,360	19° 43'	96° 25'				
Lag. El Farallón	800	19° 36'	96° 21'				
Lag. La Mancha	192	19° 38'	96° 24'	Total Sist. Golfo: 174			
		19° 42'	96° 32'				
		19° 34'	96° 27'				
Est. La Antigua	270	19° 29'	96° 18'				
Lag. Mandinga	3,250	19° 06'	96° 06'				
		19° 00'	96° 02'				
Lag. Alvarado	6,200	18° 59'	95° 57'				
Lag. Camaronera	3,900	18° 59'	95° 57'				
		18° 43'	95° 42'				
Lag. Sontecomapan	891	18° 34'	95° 04'				

(Continúa)

CUADRO 1. INVENTARIO RESUMIDO DE LAS LAGUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO

HA	LAT. N	Lon. W	HA	LAT. N	Lon. W
	18° 30'	95° 00'			
Lag. El Ostión	1,270	18° 15'	94° 42'		
	900	18° 07'	94° 37'		
Est. río		18° 10'	94° 25'		
Coatzacoalcos					
Est. río Tonalá		18° 14'	94° 08'		
Total de ecosistemas: 101					

Nota: Por total de ecosistemas se entiende el número total de cuerpos lagunares asociados.

última con frecuencia es sustituida por *Batis maritima* y en ocasiones por un pastizal halófito de *Distichlis spicata* y *Monanthochloe littoralis*. En las llanuras ligeramente mejor drenadas, sobre dichas asociaciones se establecen *Spartina spartinae* y *Spartina desinflora*. En el ictioplancton se determinaron 17 familias, 25 géneros y 29 especies, y la mayor abundancia la presentaron las familias Engraulidae, Gobiidae y Sparidae (Ocaña y Sánchez 1991). Los carideos se incluyen en seis géneros y nueve especies, dominando *Hippolyte pleurocantharus* y *Tozeuma carolinense* (Barba *et al.* 1993). Se identificaron 38 especies de moluscos. El conjunto faunístico dominante en la laguna está formado por los pecicípodos *Mulinia lateralis*, *Anomalocardia auberiana* y el gasterópodo *Acteon punctostriatus*, que son muy abundantes (García Cubas 1978). Se reportan 78 especies de peces, entre las que sobresalen: *Lagodon rhomboides*, *Anchoa mitchilli*, *Leiostomus xanthurus*, *Membras martinica*, *Micropogonias undulatus*, *Gobiosoma robustum*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Eucinostomus argenteus* (Gómez y Contreras 1991, Barba *et al.* 1991). La avifauna se compone de un total de 11, 430 individuos y 27 especies, de las cuales seis son residentes permanentes, 19 son visitantes invernales y dos transeúntes migratorias. Cabe mencionar que el 86% de los individuos registrados presentan un estatus migratorio. La mayor tendencia observada fue para la zona norte y centro respecto del número de especies e individuos, con 23 y 8,734; 24 y 1,518, respectivamente. Por su parte, la zona sur

presentó los valores más bajos; 13 especies con 1,178 individuos: entre las que sobresalen las especies *Calidris mauri*, *Calidris alpina*, *Charadrius montanus*, *Haematopus palliatus*, *Himantopus mexicanus*, *Charadrius alexandrinus* y *Charadrius wilsonia* (González et al. 2001). La hidrología de la Laguna Madre se muestra en el cuadro 2.

CUADRO 2. HIDROLOGÍA E LA LAGUNA MADRE, TAMPS.

L. MADRE	Mín.	Máx.	Med.	D Sta.	n
Salinidad	33.5	63.0	41.2	5.2	52
Temperatura	14.6	28.0	25.9	5.3	52
O. Disuelto	4.0	9.2	5.0	1.4	51
% Sat.	72	164	106	24.6	51
pH	7.90	9.40	8.90	4.4	28
Clor. a	0.01	54.7	5.3	13.2	39
Prod. Prim.	2.1	603.1	81.0	158.9	33
N-NH ₄	0.8	20.7	3.6	4.1	51
N-NO ₃ +NO ₂	0.4	5.9	2.4	1.4	52
N Tot.	2.9	22.9	6.8	4.1	51
NH ₄ /N Tot.	21	98	62	19.5	51
P-PO ₄	0.1	7.6	2.1	2.3	52
P Tot.	0.9	29.5	6.9	7.6	43
P Org.	0.0	27.7	1.4	7.5	43
Relación N:P	0.5	18.8	2.7	3.6	50
Índice trófico	25.2	69.8	48.2	10.4	36
C/Cl	0.3	63.0	7.3	19.0	18

LAGUNA MORALES. No hay información publicada.

LAGUNA SAN ANDRÉS. El elenco de moluscos está integrado por 35 especies de gasterópodos y 25 de bivalvos; las especies con mayor abundancia relativa y distribución en el sistema son: *Diastoma varium*, *Anomalocardia auberiana*, *Cerithidea pliculosa*, *Mulinia lateralis*, *Acteocina canaliculata*, *Rangia flexuosa*, *Odostomia weberi*, *Laevicardium mortoni*, *Neritina virginea* y *Acteon punctostriatus* (García Cubas et al. 1990).

ESTUARIO DEL RÍO PÁNUCO. Está asociado a las lagunas del Chairel, Pueblo

Viejo, Cerro Pez, Dulce, Tortugas, Chila Marlano, Los Moros, Quimin Camalote, Herradura y Tancoco. La cuenca hidrológica cubre aproximadamente 107,200 km². Su longitud es de 510 km. Nace en el estado de México, corre de suroeste a noreste, por los estados de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Querétaro, Guanajuato y Veracruz. En todas estas entidades recibe cauces para su formación.

LAGUNA DE PUEBLO VIEJO. Se han identificado 35 especies de moluscos (Reguero y García Cubas 1992) y 67 de peces. Las especies de mayor dominancia fueron: *Bairdiella chrysoura*, *Anchoa mitchilli*, *Cathorops melanopus*, *Mugil curema*, *Opsanus beta*, *Brevoortia patronus*, *Ariopsis felis*, *Bairdiella ronchus* y *Dorosoma cepedianum* (Kobelkowsky 1991). La laguna ha resentido la influencia del río Pánuco y de los desechos industriales y domésticos que acaorean sus aguas, cuyo impacto ha sido tal que la producción de ostión des-

CUADRO 3. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE PUEBLO VIEJO, VER. (1995)

L. MADRE	Mín.	Máx.	Med.	D Sta.	n
Salinidad	0.7	38.1	13.4	7.7	34
Temperatura	19.0	34.0	28.0	4.1	35
O. Disuelto	3.5	9.2	7.2	1.5	35
% Sat.	73	235	127	33.0	34
pH	7.80	8.75	8.10	0.2	32
Clor. a	0.01	64.1	5.9	16.3	21
Prod. Prim.	2.1	552.1	127.6	237.3	12
N-NH ₄	1.3	31.3	5.6	7.1	31
N-NO ₃ +NO ₂	0.3	18.0	3.6	3.3	34
N Tot.	3.1	38.0	10.9	7.8	32
NH ₄ /N Tot.	12	92	67	25.5	31
P-PO ₄	1.0	9.1	2.3	1.8	34
P Tot.	2.5	16.1	5.2	2.6	33
P Org.	0.4	14.3	2.5	2.8	31
Relación N:P	0.9	15.7	5.2	4.6	31
Indice trofico	30.0	71.4	49.7	11.5	16
C/Cl	0.0	87.6	34.6	29.8	10

cendió considerablemente. El cuadro 3 muestra la hidrología de esta laguna.

LAGUNA DE TAMIAHUA. En la vegetación sumergida domina *Ruppia maritima*, pero hay una importante presencia de *Halodule beaudetti*. Por lo que respecta al ictioplancton, se encontraron 15 familias y 26 especies de las cuales sobresalen *A. mitchilli*, *B. chrysura*, *C. nebulosus*, *G. bosci*, *M. gulosus*, *M. Vagrans*, *A. linaetus*, *S. louisianae* y *S. scovelli* (Barba y Sánchez 1981). Las especies zooplanctónicas detectadas incuyen a: *Acartia tonsa*, *Labidocera aestiva*, *Oithona plumifera*, *Corycaeus flaccus*, *C. speciosus*, *Caligus* sp. y *Labidocera aestiva* (Alvarez y Gómez 1993). Se han identificado 62 especies de moluscos *Littoridina* (*Texadina*) *sphinctostoma* y *Retusa canaliculata*, y los bivalvos *Rangia* (*Rangianella*) *flexuosa* y *Mulinia lateralis* (Bravo et al. 1987), 26 de crustáceos (Raz Guzmán et al. 1991), 64 de poliquetos cuya dominancia fue: *Spio pettibonae*, *Pectinaria gouldi*, *Capitella capitata*, *Malacoceros vanderhorsti*, *Glycinde solitaria*, *Mediomastus californiensis* y *Sigambra bassi* (Nava et al. 1989) y 56 de otros organismos. Se conocen 120 especies de peces, las más sobresalientes son: *Bairdiella chrysoura*, *Anchoa mitchilli*, *Anchoa hepsetus*, *Cynoscion nebulosus*, *Oligoplites saurus*, *Diapterus olisthostomus*, *Menidia beryllina*, *Hyporhamphus unifasciatus*, *Membras vagrans*, *Ariopsis felis*, *Strongylura notata*, *Mugil curema*, *Bairdiella chrysoura*, *Cynoscion nebulosus*, *Hyporhamphus unifasciatus* y *Sphoeroides greeleyi*. A partir de los resultados obtenidos hasta el momento, se han incluido seis nuevas especies a la lista ictiofaunística que se tenía de estudios anteriores, que son: *Lutjanus griseus*, *Porichthys porosissimus*, *Fundulus grandis*, *Menticirrhus litoralis*, *Harengula pensacolatae* y *Lutjanus apodus* (De la Cruz et al. 1985). Es notoria la presencia de bacterias coliformes relacionadas con

CUADRO 4. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. (1996)

L. TAMIAHUA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad	14.4	37.5	18.1	6.2	52
Temperatura	23.0	34.0	29.5	2.8	52
O. Disuelto	2.1	8.1	6.0	1.6	51
% Sat.	43	155	124	31.7	51
pH	7.51	9.41	8.41	2.6	47
Clor. a	0.02	64.1	10.1	14.8	38

(Continúa)

CUADRO 4. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMIAHUA, VER. (1996)

L. TAMIAHUA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Prod. Prim.	7.1	360.6	21.3	52.1	15
N-NH ₄	0.7	32.0	6.7	10.1	48
N-NO ₃ +NO ₂	0.7	12.3	2.6	2.3	52
N Tot.	1.5	35.2	10.3	10.1	48
NH ₄ /N Tot.	7	97	74	26.5	48
P-PO ₄	0.1	7.0	2.5	1.8	51
P Tot.	1.9	9.3	4.3	1.9	49
P Org.	0.1	5.0	1.6	1.2	49
Relación N:P	0.5	35.3	3.2	8.5	40
Indice trofico	3.0	71.4	53.5	17.5	36
C/Cl	0.5	17.7	1.2	6.4	12

los asentamientos humanos ribereños (Barrera 1995).

LAGUNA DE TAMPAMACHOCO. Un total de 23 especies de macroalgas fueron identificadas: 9 Chlorophyceae, 2 Phaeophyceae y 12 Rhodophyceae. La riqueza algal por área es relativamente alta (60 a 100 veces) en comparación con otras lagunas costeras (Laguna Madre y Tamiahua con 29 y 22 especies, respectivamente) (Dreckmann y Pérez 1994). Con respecto al zooplancton, dominan los copépodos, *Acartia paracalanus* y *Temora* sp. Asimismo, se registraron ambientes lagunares propios de determinados zooplanctones como las medusas *Blackfordia virginica*, *Bougainvillia niobe*, *Aurelia aurita* y *Dactylometra* y los ctenóforos, *Beröe ovata* y *Mnemiopsis leidyi*, entre otros. Se han identificado 66 especies de moluscos entre los que destacan: *Cerithidea pliculosa*, *Acteocina canaliculata*, *Mulinia lateralis*, *Littoridina sphinctostoma*, *Mytilopsis leucophaeata* y *Neritina reclinata* (Reguero et al. 1991); 14 de crustáceos (Chávez 1967) y 53 de otros organismos (Mendez 1989). Las especies de peces más comunes son *Diapterus auratus*, *Bairdiella ronchus*, *Citharichthys spilopterus*, *Arius melanopus*, *Gobionellus hastatus*, *Centropomus parallelus*, *Centropomus undecimalis*, *Mugil curema*, *Dormitator maculatus* y *Syngnathus scovelli* (Kobelkowsky 1991). El registro combinado de 171 especies ubica a la región de Tuxpan Tampamachoco como la segunda área estuarina lagunar del Golfo de México en cuanto a la riqueza específica, sólo por debajo de

la Laguna de Términos en Campeche. Se han obtenido 18 nuevos registros para el área, destacándose la presencia de una nueva familia (Cichlidae) con una especie autóctona y 10 nuevos géneros de familias ya reportadas (Pérez *et al.* 1994). Recibe descargas importantes de aguas residuales y son frecuentes las bacterias asociadas a coliformes como: *Shigella*, *Salmonella* y

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1980)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	28.6	38.5	34.0	8.0	36
Temperatura	20.7	34.0	28.6	7.2	36
O. Disuelto	2.2	6.6	4.1	1.5	36
% Sat.	42	155	86	35.1	36
pH	7.80	8.40	8.00	4.1	17
Clor. a	0.30	16.1	4.8	4.2	27
Prod. Prim.					
N-NH ₄	0.07	15.1	4.5	3.7	31
N-NO ₃ +NO ₂	0.2	4.5	0.6	0.8	32
N Tot.	0.5	15.6	5.7	3.9	29
NH ₄ /N Tot.	15	97	87	22.8	29
P-PO ₄	0.1	1.4	0.6	0.4	33
P Tot.	0.8	9.9	1.6	2.7	32
P Org.	0.2	8.5	1.0	2.4	32
Relación N:P	1.0	26.1	10.0	6.9	25
Indice trofico	18.8	57.8	45.9	9.6	27

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1990)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D Sta.	n
Salinidad	8.9	44.5	29.4	10.3	113
Temperatura	17.0	34.5	29.6	6.3	117
O. Disuelto	1.8	9.0	4.5	1.9	114

(Continúa)

CUADRO 5. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TAMPAMACHOCO, VER. (CICLO 1990)

L. TAMPA	MIN	MAX	MED	D Sta.	n
% Sat.	11	196	100	46.9	100
pH	6.68	9.32	8.11	1.9	114
Clor. a	0.1	90.4	12.6	19.3	104
Prod. Prim.	9.4	527.0	104.0	115.9	88
N-NH ₄	0.04	39.4	5.3	8.4	119
N-NO ₃ +NO ₂	0.4	55.6	2.7	7.5	120
N Tot.	0.8	74.7	8.4	11.9	119
NH ₄ /N Tot.	1	93	63	27.3	119
P-PO ₄	0.1	37.2	6.9	8.3	118
P Tot.	0.3	99.6	13.8	14.8	104
P Org.	0.0	63.1	3.6	8.5	104
Relación N:P	0.1	36.3	1.7	9.4	113
Indice trofico	1.2	74.8	55.4	15.4	93
C/Cl	0.5	75.5	7.1	14.8	60

Vibrium. Su hidrología se muestra en el cuadro 5.

ESTUARIO TUXPAN. Se forma al unirse el río Vinazco con el Pantepec, que bajan de la Sierra Madre Oriental. Corre de oeste a este por la llanura costera del Golfo de México; recibe por el sur los arroyos de Mequetla y de Cañas; por el norte al río Buenavista que viene de la Sierra de Otontepec, al arroyo Hondo y las aguas de la laguna de Tampamachoco. Desemboca en el Golfo de México formando la barra de Tuxpan. Es navegable en 67 km. Presenta una circulación estuarina típica la mayoría del año (Contreras 1983)

ESTUARIO TECOLUTLA. Nace en la Sierra de Puebla, formado por la confluencia de los ríos Necaxa, Axacal, Cempoala y San Pedro; cerca de su desembocadura recibe al arroyo de Chichicatzapa, formando la barra de Tecolutla. Las especies más frecuentes y abundantes de poliquetos fueron *Polyphthalmus* sp, *M. californiensis* y *C. candida*. De la ictiofauna como habitantes temporales del componente estuarino están: *Anchoa mitchilli mitchilli*, *Mugil cephalus*, *Mugil curema*, *Centropomus undecimalis*, *Bagre marinus* y *Erotelis smaragdus*; como habitantes permanentes del componente estuarino solamente *Gobionellus hastatus*, y como especies eurihalinas del

CUADRO 6. HIDROLOGÍA DEL ESTUARIO TUXPAN, VER. (1980)

R. TUXPAN	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad	1.5	36.0	16.6	8.3	68
Temperatura	16.5	32.5	27.7	4.4	82
O. Disuelto	2.3	7.6	5.3	1.0	61
% Sat.	45	145	102	19.8	54
pH	7.30	8.90	8.2	0.4	33
Clor. a	0.4	76.5	4.7	15.7	46
N-NH ₄	0.2	16.0	3.4	4.2	42
N-NO ₃ +NO ₂	0.1	15.9	0.5	3.7	41
N Tot.	0.7	27.6	3.5	7.3	34
NH ₄ /N Tot.	10	97	80	27.6	34
P-PO ₄	0.1	1.5	0.3	0.4	41
P Tot.	0.2	7.9	1.5	2.0	31
P Org.	0.0	6.7	1.1	1.6	31
Relación N:P	1.3	96.5	8.3	19.0	33
Indice trofico	21.6	73.1	45.8	10.4	46

componente marino, *Diapterus olisthostomus*, *Arius felis*, *Oostethus lineatus*, *Strongylura marina*, *Caranx hippos*, *Gobiomorus dormitator* y *Opsanus beta* (Rodríguez 1990). El total de especies de peces es de 57 (Martínez 1993). Se presentan 106 especies de aves incluidas en 77 géneros y 39 familias pertenecientes a 15 órdenes (Moreno 1986, De Sucre *et al.* 1985). La hidrología de este estuario se muestra en el cuadro 6.

ESTUARIO CASITAS-NAUTLA. El río Nautla mantiene una conexión libre con el mar abierto por medio de una abertura en la Barra de Nautla, que es una franja de tierra frente a la costa. La boca del río comunica simultáneamente al estero Tres Bocas de Casitas. El río Nautla nace en la Sierra de Teziutlán con el nombre Altotonga o Alsesecá; corre de sur a norte y recoge por su margen derecha al río Bobos que descende del Cofre de Perote; gira al noreste y recibe al río Quila; ya en la llanura costera recibe por la izquierda las aguas del río María Martínez de la Torre y a la derecha al Chapachapa. En el ictioplancton dominan *Syngnathus* sp., *Anchoa mitchilli*, la familia Engraulidae, *Hypsoblennius hentzi*, *Cynoscion* sp., *Gobiosoma* sp., *Haemulon plumieri*, *Gobionellus boleosoma*, *Bairdiella chrysura*, *Trinechtes maculatus* y *Orthopristis chrysoptera*. Se han identificado 34

especies de peces ,entre las cuales las más abundantes son: *Arius melanopus*, *Mugil curema* y *Polydactilus octonemus* y 17 de crustáceos (Franco *et al.* 1982).

LAGUNA GRANDE. Se ha identificado un total de 37 especies de moluscos, entre los que las especies más abundantes fueron *Littoridina* (Texadina) *sphinctostoma*, *Cyrenoida floridina*, *Neritina* (Vitta) *virginea* (García Cubas *et al.* 1992) y 36 de crustáceos con la frecuencia de *Macrobrachium acanthurus*, *Penaeus setiferus*, *Callinectes exasperatus*, *C. danae*, *Cardisoma guanhumi*, *Octonema cuadrata*, *Pilumnus pannosus* y *Uca mordax* (González *et al.* 1985). Hay 39 especies de peces siendo las dominantes *Bathygobios soparator*, *Dormitator maculatus*, *Eleotris abacurus*, *Eleotris pisonis*, *Eleotris smaragdus*, *Gobioides broussonneti*, *Gobionellus boleosoma*, *Gobionellus hastatus*, *Gobiomorus dormitator* y *Dormitator maculatus* (De la Cruz *et al.* 1985).

LAGUNA SAN AGUSTÍN. Se han identificado 33 especies de peces, siendo las mejor representadas *Anchoa mitchilli* y *Diapterus rhombeus* (Sánchez 1989).

LAGUNA VERDE. No hay información publicada.

EL LLANO (CAMARÓN). Se identificaron 26 especies de crustáceos (Oliva 1991) y 46 de peces, las especies más abundantes son: *Anchoa mitchilli*, *Gobionellus boleosoma*, *Diapterus olisthostomus* *Gobionellus hastatus*, *Eucinostomus melanopterus* y *Poecilia latipunctata* (Morales 1984).

EL FARALLÓN. En la ictiofauna sobresalen los cíclidos *Tilapia rendalli* (mojarra) y *Cichlasoma gadovii*, (guapote); el caracínido *Astyanax fasciatus*, (sardinita plateada); el poecílido *Poecilia latipunctata*, (topote) y el clupeido *Dorosoma petenense*, (doradita) (Serrano y Juárez 1988).

LA MANCHA. Del zooplankton se identificaron las siguientes especies: *Paracalanus aculeatus*, *Pseudodiaptomus coronatus*, *Temora turbinata*, *Centropages furcatus*, *Labidocera aestiva*, *Acartia tonsa*, *A. lilljeborgii*, *Tortanus setacaudatus*, *Euterpina acutifrons*, *Diosaccus tenuicornis*, *Corcycaeus lautus*, *Ergasilus* sp. y *Cymbasoma* sp. El grupo más numeroso fue el de los copépodos calanoides, siendo *Acartia tonsa* y *Tortanus setacaudatus* las especies dominantes (Alvarez 1988). Se han detectado 44 especies de moluscos, las de importancia comercial en el área son: *Crassostrea virginica*, *Isognomon alatus* y *Melongena melongena*, *Mytilopsis leucophaeata*, *Ischadium recurvum*, *Crassostrea virginica* y diversos gasterópodos, característicos de áreas lagunares mesohalinas (5 a 18 ppm); *Melongena melongena*, *Cerithidea pliculosa*, *Mulinia lateralis* y algunas otras especies características de áreas lagunares polihalinas (18 a 30 ppm); *Odostomia impresa* y *Nassarius vibex* son especies características de áreas lagunares polihalinas o eurihalinas (25 a 40 ppm) (Flores *et al.* 1988) y 24 de otros organismos (Reyes 1986). Se han

identificado 43 especies de peces, y la comunidad íctica se encontró tipificada por: *Eucinostomus melanopterus*, *Gobionellus boleosoma*, *Bathygobios*

CUADRO 7. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE LA MANCHA, VER. (2002)

LA MANCHA	MIN	MAX	MedD	D Sta.	n
Salinidad	1.0	35.0	19.7	9.4	84
Temperatura	21.0	36.5	28.7	3.6	84
O. Disuelto	0.3	5.8	3.4	1.4	84
% Sat.	7	128	71	30.2	84
pH	6.82	8.07	7.48	0.4	60
Clor. a	0.0	38.7	3.9	7.3	82
Prod. Prim.	5.9	313.4	45.3	79.0	68
N-NH ₄	1.4	44.6	7.0	6.3	72
N-NO ₃ +NO ₂	0.0	19.0	1.5	2.6	71
N Tot.	2.5	50.0	8.6	6.9	72
NH ₄ /N Tot.	7	100	84	19.5	72
P-PO ₄	2.3	27.4	5.7	5.7	71
Relación N:P	0.2	10.8	1.3	1.6	71
Indice trofico	23.3	66.4	48.4	9.0	68
C/Cl	0.8	88.7	10.6	22.2	52

soporator, *Gobionellus boleosoma* y *Eucinostomus melanopterus* (Ramírez *et al.* 1993). La hidrología de la laguna de la Mancha se muestra en el cuadro 7.

LA ANTIGUA. Nace en la vertiente este de la Sierra Madre Oriental al norte del Pico de Orizaba, con el nombre de río Chichiquila; corre por una barranca profunda, se le unen numerosos ríos que bajan del Cofre de Perote y cambia su nombre por el de río Jacumulco o Pescados; continúa de oeste a este; por su margen derecha recibe a los ríos Santa María, Paso de Ovejas y San Juan desembocando en el Golfo de México en donde forma la barra de la Antigua. En el estuario existen: *Cardisoma guanhumi*, *Gecarcinus lateralis*, *Uca pugilator*, *Sesarma cinereum* y *Ocypode* sp., de estos *Sesarma cinereum*, es la más frecuente (Díaz y Chávez 1987). El género de cangrejos violinistas está representado por tres especies y una subespecie: *Uca rapax*, *Uca*

CUADRO 8. HIDROLOGÍA DEL ESTUARIO DE LA ANTIGÜA, VER. (1982)

LA ANTIGÜA	MIN	MAX	Med	D Sta.	n
Salinidad					
Temperatura	28.2	29.5	29.0	0.5	8
O. Disuelto	2.9	5.0	3.5	0.8	8
pH	5.9	7.1	6.2	0.6	6
Clor. a	0.0	18.7	6.7	5.7	19
N-NH ₄	3.2	16.4	7.4	3.4	19
N-NO ₃ +NO ₂	1.1	49.6	10.6	12.3	19
N Tot.	7.1	56.5	19.2	11.2	19
NH ₄ /N Tot.	12	91	48	26.2	19
P-PO ₄	1.8	4.7	4.0	0.9	8
P Tot.	1.8	3.0	2.7	0.4	8
Relación N:P	4.8	13.4	7.6	2.7	8
Indice trofico	15.4	59.3	49.6	10.5	18

marguerita, *Uca spinicarpa* y *Uca vocator vocator* (Díaz 1992). Se han identificado 37 especies de peces sobresalen: *Diapterus rhombeus*, *Caranx latus*, *Mugil curema*, *Cichlasoma ellioti* y *Arius melanopus* (Cubillas *et al.* 1987). La hidrología de este estuario se muestra en el cuadro 8.

LAGUNA DE MANDINGA. La laguna está asociada al río Jamapa, el cual nace con los deshielos del Pico de Orizaba, y recorre 150 km; corre de oeste a este y recibe varios afluentes de los ríos Huatusco, Cotaxtla, Totolapan, desemboca en el Golfo de México, en el lugar conocido como Boca del Río próximo a la ciudad de Veracruz. Se han identificado 32 especies de moluscos (Reguero y García Cubas 1993) y 40 especies de peces, siendo las más comunes: *Diapterus olithostomus*, *Diapterus rhombeus*, *Arius melanopus*, *Mugil curema*, *Anchoa hepsetus*, *Arius felis* y *Anchoa mitchilli* (De la Cruz *et al.* 1985), 185 de aves y 25 de otros organismos. Se obtuvo el registro de 18 órdenes, 42 familias, 131 géneros y 185 especies de aves, de las cuales aproximadamente 60 ocupan la vegetación acuática y subacuática, el resto corresponden manglar y a otros tipos de vegetación, habiendo especies comunes para ellos (Alafita y Martínez 1993).

LAGUNA DE ALVARADO. Está formada por la Laguna de Alvarado propiamente dicha, Buen País, Camaronera y Tlalixcoyan, principalmente, aun-

CUADRO 9. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MANDINGA, VER. (1996)

L. MANDINGA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	4.4	32.9	23.5	9.25	42
Temperatura	26.2	33.0	29.0	2.0	42
O. Disuelto	2.6	6.7	4.5	1.00	41
% Sat.	59	133	97	18	41
pH	6.63	8.75	8.32	0.45	41
Clor. a	7.2	65.3	18.2	15.7	41
PN	1.4	391.7	69.8	94.2	40
N-NH4	1.0	14.9	5.6	3.4	42
N-NO3+NO2	0.7	13.3	3.0	3.5	42
N Tot.	3.7	21.7	10.6	4.7	42
NH4/N Tot.	25	87	62	19	42
P-PO4	0.1	3.4	0.9	0.7	42
P Tot.	0.2	10.2	2.2	2.2	42
P Org.	0.1	9.9	1.5	2.0	42
Relación N:P	3.6	42.8	8.9	7.1	36
Indice trofico	49.9	96.1	59.2	8.3	42
C/Cl	0.2	21.1	4.5	3.9	39

que presenta un gran número de otros pequeños cuerpos acuáticos y zonas inundables. El sistema lagunar está asociado con el río Papaloapan, cuya cuenca cubre una extensión aproximada de 39,189 km², se extiende por los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz y recorre un total de 445 km. La vegetación sumergida es fundamentalmente *Ruppia maritima*, la cual forma algunas praderas de pequeña extensión en las cercanías de Barra Vieja. Se han identificado 62 especies de moluscos destacando por su valor de importancia relativa *Rangia flexuosa*, *Neritina reclivata*, *Mulinia lateralis* y *Littoridina sphinctostoma* (Reguero y García Cubas 1990, 1991). El catálogo de anomuros y braquiuros de la laguna comprenden a: *Clibanarius vittatus*, *Callinectes similis*, *Callinectes rathbunae*, *Callinectes sapidus*, *Eurypanopeus depressus*, *Hexapanopeus* sp., *Dyspanopeus texanus*, *Panopeus lacustris*, *Rhithropanopeus harrisii*, *Cardisoma guanhumi*, *Pachygrapsus gracilis*, *Sesarma (Holometopus) ricordi*, *Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii*, *Pinnotheres ostreum*, *Uca (Minuca) rapax rapax*, *Uca (Minuca) vocator vocator*

y *Uca marguerita* (Raz Guzmán *et al.* 1991). Se han identificado mas de 100 especies de peces y sobresalen: *Dormitator maculatus*, *Diapterus rhombeus* y *Cichlasoma urophthalmus*, en tanto que para la boca artificial, cinco fueron las más abundantes: *Ulaema lefroyi*, *Evorthodus lyricus*, *Gobionellus*

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1984)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.1	39.0	9.3	8.4	87
Temperatura	22.5	33.0	29.5	2.1	88
O. Disuelto	2.0	7.4	5.2	1.0	81
% Sat.	38	160	103	20.7	81
pH	7.00	9.00	8.30	0.4	76
Clor. a	0.0	174.5	13.7	45.4	81
Prod. Prim.	8.5	437.5	64.8	112.7	24
N-NH4	0.2	84.2	8.9	12.5	72
N-NO3+NO2	0.3	61.7	1.8	10.7	80
N Tot.	0.3	123.2	13.9	20.8	80
NH4/N Tot.	28	97	78	22.3	72
P-PO4	0.2	25.3	2.0	3.0	78
P Tot.	0.1	16.4	2.8	3.6	47
P Org.	0.0	7.0	1.4	1.5	23
Relación N:P	0.2	45.5	6.6	10.7	73
Indice trofico	32.0	81.2	56.5	13.7	76
C/Cl	0.4	25.9	3.5	7.5	20

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1996)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.3	33.6	5.0	6.8	50
Temperatura	25.0	33.0	27.6	2.1	51
O. Disuelto	2.7	7.9	5.5	1.1	51

(Continúa)

CUADRO 10. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE ALVARADO, VER. (CICLO 1996)

L. ALVARADO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
% Sat.	52	147	108	20.8	51
pH	6.93	8.80	8.25	1.2	50
Clor. a	4.9	138.8	15.2	23.2	46
Prod. Prim.	0.6	183.3	51.3	47.7	42
N-NH ₄	1.2	44.8	10.0	10.1	51
N-NO ₃ +NO ₂	0.5	20.1	5.2	4.1	51
N Tot.	4.9	45.8	15.6	10.0	51
NH ₄ /N Tot.	13	98	57	25.7	51
P-PO ₄	0.01	13.4	1.4	2.3	51
P Tot.	0.17	14.0	4.4	2.9	51
P Org.	0.04	7.2	2.9	1.9	51
Relación N:P	0.89	35.2	8.3	9.6	42
Índice trófico	46.2	83.5	57.7	7.7	47
C/Cl	0.1	23.9	3.3	5.0	39

boleosoma, *Dormitator maculatus* y *Bathygobios soporator* (Cruz y Rodríguez 1991, Chávez y Franco 1992). Se han identificado 154 especies de aves (Carmona *et al.* 1987) y 18 de otros organismos acuáticos. Se ha detectado la presencia de 13 plaguicidas como Endosulfan II, Endrín y Aldrín, entre otros. La hidrología de la Laguna de Alvarado se muestra en el cuadro 10.

LAGUNA DE SONTECOMAPAN. En total se detectaron siete fanerógamas: *Ruppia maritima*, *Najas guadalupensis*, *Pistia statiotes*, *Lemna* sp, *Potamogeton interruptus* y *Potamogeton foliosus*; a excepción de la primera, las otras especies se encontraron sólo en algunas épocas del año. En estudios sobre el ictioplancton, se determinaron 14 familias, 17 géneros y 16 especies; la mayor abundancia relativa corresponde a la familia Gobiidae con el 82.78 %, seguida de la familia Engraulidae con el 12.37 % y de la familia Sciaenidae con el 3.74 %. Se registró un total de 60 especies de moluscos, por su distribución y abundancia relativa las especies representativas son: *Neritina reclinata*, *Neritina virginea*, *Mulinia lateralis* y *Mytilopsis leucophaeata* (García Cubas y Reguero 1995). Se han identificado 68 especies de peces, y las de mayor frecuencia fueron *Anchoa hepsetus*, *Cathorops aquadulce*, *Gobionellus hastatus* y *Achirus lineatus* (De la Cruz *et al.* 1985). El cuadro 11 resume su

CUADRO 11. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE SONTECOMAPAN, VER. (1992)

L. SONTECOMAPAN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.26	37.76	12.31	12.5	36
Temperatura	25.0	34.8	30.5	2.3	36
O. Disuelto	3.51	8.53	5.99	1.2	36
% Sat.	75	175	124	22.2	36
pH	6.84	8.70	8.00	0.4	36
Clor. a	0.08	50.40	13.00	15.0	28
Prod. Prim.	1.1	409.1	106.8	109.9	13
N-NH ₄	1.75	32.70	6.85	8.0	35
N-NO ₃ +NO ₂	0.72	14.80	3.12	4.4	36
N Tot.	3.53	47.50	11.13	11.2	35
NH ₄ /N Tot.	29	92	72	15.8	35
P-PO ₄	0.96	5.25	2.30	1.3	36
P Tot.	1.85	9.29	3.86	1.6	36
P Org.	0.07	4.82	1.19	1.0	36
Relación N:P	0.74	28.44	5.67	7.9	35
Índice trófico	5.79	69.03	55.73	16.5	27
C/Cl	0.34	5.93	3.16	1.9	10

hidrología.

LAGUNA DEL OSTIÓN. Se han identificado 7 especies de crustáceos y 36 de peces entre las que sobresalen: *Brevoortia patronus*, *Anchoa lamprotaenia*, *Anchoa mitchilli*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus*, *Oligoplites saurus*, *Lutjanus apodus*, *Eucinostomus melanopterus*, *Eucinostomus gula*, *Diapterus rhombeus*, *Archosargus probatocephalus*, *Bathygobius soporator* y *Citharichthys spilopterus* (García 1988). Su ubicación dentro de una de las zonas industriales petroleras más importantes de México trajo como consecuencia que sus características ecológicas fueran alteradas sensiblemente. Su hidrología se muestra en el cuadro 12.

ESTUARIO COATZACOALCOS. Nace en la Sierra Atravesada y después de correr hacia el oeste gira hacia el norte y luego al noreste, para desembocar al Golfo de México. Es navegable por 222 km. Sus principales afluentes son los ríos de Jaltepec, que baja de la Sierra de los Mijes y que se une en la margen izquierda y el río Uxpanapa que nace en la vertiente norte de la Sierra Atra-

CUADRO 12. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DEL OSTIÓN, VER. (1985)

L. OSTIÓN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	0.16	33.90	12.96	12.95	45
Temperatura	20.5	30.8	28.3	3.7	45
O. Disuelto	3.19	5.73	5.00	0.60	45
% Sat.	59	122	100	14.9	45
pH	6.70	9.30	7.95	0.74	45
Clor. a	0.01	38.15	5.53	8.77	45
Prod. Prim.	2.1	133.3	27.0	36.7	35
N-NH4	6.25	40.06	11.13	10.71	45
N-NO3+NO2	0.25	13.71	1.51	3.11	45
N Tot.	1.47	43.29	12.53	11.47	45
NH4/N Tot.	40	98	92	14.6	45
P-PO4	0.35	37.25	4.52	13.11	3
Relación N:P	0.08	30.53	2.13	7.02	30
Índice trófico	35.8	66.3	50.3	8.7	45
C/Cl	0.16	17.66	1.81	5.30	30

vesada y se une en la margen derecha antes de su desembocadura. Se determinaron 58 especies de larvas de peces, incluidos en 91 géneros y 58 familias (León 1990). Se reconocieron 51 especies de crustáceos, entre las que las dominantes fueron *Penaeus* (*Farfantepenaeus*) *aztecus* y la jaiba *Portunus spinicarpus*. En la zona costera se reconocen a *Callinectes similis*, *Gecarcinus lateralis*, *Cardisoma guanhumi* y *Ucides cordatus* y 22 de otros organismos acuáticos (Bozada y Páez 1986). Se reportan 46 especies de peces sobresaliendo: *Dorosoma anale*, *Ictalurus meridionalis*, *Bagre marinus*, *Arius felis*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus*, *Selene vomer*, *Diapterus rhombeus*, *Stellifer lanceolatus*, *Bairdiella chrysura*, *Citharichthys spilopterus*, *Trinectes maculatus* y *Achirus lineatus*. Los resultados de varias investigaciones destacan la importancia de los humedales de Coatzacoalcos para aves residentes y migratorias (Herzig 1986). Esta región es el área con la mayor concentración industrial vinculada a la refinación de hidrocarburos, la producción de petroquímicos y al transporte de estos productos en las costas mexicanas del Golfo de México.

ESTUARIO TONALÁ. Está formado por los ríos Tancochapa y Zanapa, el pri-

mero está formado por la unión de los ríos Playas y Pedregal que nacen en la Sierra Atravesada y el segundo, que viene del este, está formado por el arroyo de San Juan, el río Costijapa y las aguas de la laguna del Rosario. En el río Tonalá se han identificado 50 especies de peces, las especies *Arius melanopus*, *Diapterus rhombeus* y *Achirus lineatus* tipifican la comunidad íctica pues representan la mayor abundancia del total de organismos capturados. Se reportan además *Dorosoma anale*, *Bagre marinus*, *Arius felis*, *Arius melanopus*, *Centropomus parallelus*, *Bairdiella ronchus*, *Chaetodipterus faber*, *Citharichthys spilopterus*, *Trinectes maculatus* y *Monacanthus hispidus*. ocho de crustáceos, 202 de aves (Herzig 1986) y 22 especies de otros organismos acuáticos (Bozada y Páez 1986). Navegable por 200 km.

LAGUNA DEL CARMEN MACHONA. Se han identificado 95 especies de moluscos (Antolí y García Cubas 1985), y los gasterópodos más abundantes fueron *Cerithidae pliculosa*, *Neritina virginea*, *Crepidula plana*, *Nassarius vibex* y *Nassarius acutus*; de los bivalvos fueron: *Rangia flexuosa*, *Donax variabilis texasiana*, *Rangia cuneata*, *Crassostrea virginica* y *Ostrea equestris*. Ocho especies de crustáceos fueron capturadas, de las cuales *Callinectes similis*, *Callinectes rathbunae*, *Callinectes sapidus* y *Penaeus setiferus* fueron los más abundantes (Granados *et al.* 1991). En relación con la fauna carcinológica, Urbina (1996) identificó trece familias y diecinueve géneros, que agrupan a veinticinco especies, de las cuales seis son de importancia comercial, tres de la familia Portunidae, *Callinectes sapidus*, *Callinectes rathbunae* y *Callinectes similis* y tres de la familia Penaeidae, *Penaeus aztecus*, *Penaeus duorarum* y *Penaeus setiferus*. La especie que presentó mayor abundancia y distribución más amplia fue *Clibanarius vittatus*, que se encontró en casi todo el sistema. Cabe notar que del total de las especies, dos (*Heterocrypta granulata* y *Pinnixa cristata*) resultan de gran interés, por ser los primeros reportes para el Golfo de México y por ende para el estado de Tabasco. Reséndez (1980) enlistaba a *Aetobatus marinari*, *Peprilus paru*, *Ophichthus pomesii*, *Callechelys perryae*, *Myrophis punctatus*, *Anchoa hepsetus*, *Mugil curema* y *Diapterus olisthostomus*, como las especies de peces más comunes. Años después, a fin de conocer el impacto que ha causado el notable ensanchamiento de la barra de Alacranes sobre la composición de la fauna íctica en esta área, se realizó un trabajo en un ciclo anual encontrándose hasta la fecha 54 especies que corresponden a 43 géneros y 28 familias, de las cuales sólo 40 especies coinciden con las anteriores. Entre las especies encontradas por Reséndez no capturadas cabe destacar aquellas que viven en aguas menos salinas como *Gambusia yucatana*, *Cichlasoma urophthalmus* y *Gobionellus boleosoma*, entre otras (Granados

CUADRO 13. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CARMEN Y MACHONA, TAB. (1985)

CARMEN-MACHONA	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	27.2	35.0	32.6	2.5	17
Temperatura	26.1	29.9	28.9	0.8	17
O. Disuelto	3.2	5.3	4.5	0.5	16
% Sat.	70	118	100	11	16
Clor. a	6.2	135.9	14.0	32.1	15
Prod. Prim.	8.3	239.9	59.3	67.3	12
N-NH4	1.3	13.4	3.7	4.1	17
N-NO3+NO2	0.5	2.3	1.2	0.5	15
N Tot.	2.3	14.6	4.3	4.1	17
NH4/N Tot.	42	100	83	18.5	17
P-PO4	0.8	10.3	3.4	2.6	17
P Tot.	2.4	21.6	6.3	4.5	17
P Org.	0.3	12.4	1.8	3.2	17
Relación N:P	0.3	7.1	1.6	2.1	17
Indice trofico	48.5	78.8	56.5	7.7	15
C/Cl	0.4	14.8	4.0	5.0	12

CUADRO 14. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TUPILCO, TAB. (1987)

TUPILCO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	8.9	41.2	17.7	11.9	12
Temperatura	30.5	36.6	32.7	1.9	12
O. Disuelto	1.6	4.6	3.9	1.0	12
% Sat.	38	106	89	21	12
pH	7.1	7.8	7.5	0.3	6
Clor. a	2.1	35.6	10.7	13.0	12
Prod. Prim.	21.9	469.1	96.9	176.0	5
N-NH4	2.7	22.2	5.5	5.9	11
N-NO3+NO2	0.6	2.6	0.9	0.6	12
N Tot.	3.4	83.0	6.8	22.1	12
NH4/N Tot.	56	98	87	11.1	12
P-PO4	6.3	19.0	14.3	3.4	12

CUADRO 14. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TUPILCO, TAB. (1987)

TUPILCO	MIN	MAX	MED	D STA.	N
P Tot.	8.1	22.1	14.8	4.1	9
P Org.	0.1	3.4	1.9	1.3	7
Relación N:P	0.3	7.0	0.6	1.9	12
Índice trófico	37.8	65.6	53.3	9.9	12
C/Cl	4.0	20.5	10.5	6.5	5

et al. 1991). La hidrología de esta laguna se muestra en el cuadro 13.

LAGUNA TUPILCO. Hábitat de 62 especies de moluscos, entre los que destacan por su abundancia, frecuencia y densidad relativas *Mytilopsis leucophaeata*, *Rangia flexuosa*, *Acteocina canaliculata* y *Littoridina sphinctostoma* (García Cubas y Reguero 1990). Su hidrología se resume en el cuadro 14.

LAGUNA DE MECOACÁN. Se localizan 42 especies de moluscos, 20 de ellas

CUADRO 15. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MECOACÁN, TAB. (1985)

MECOACÁN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	22.3	34.0	31.8	5.3	6
Temperatura	26.2	29.0	27.8	1.2	6
O. Disuelto	4.1	4.5	4.2	0.2	6
% Sat.	89	97	92	4	6
Clor. a	0.9	4.6	2.3	1.3	6
Prod. Prim.	3.1	105.2	49.0	44.5	4.0
N-NH ₄	4.4	10.3	5.3	2.6	6
N-NO ₃ +NO ₂	0.5	1.7	1.1	0.4	5
N Tot.	4.4	11.4	6.7	2.6	6
NH ₄ /N Tot.	75	100	87	9.7	6

(Continúa)

CUADRO 15. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE MECOACÁN, TAB. (1985)

MECOACÁN	MIN	MAX	MED	D STA.	N
P-PO4	1.1	3.2	2.5	0.8	6
P Tot.	2.4	3.8	3.3	0.5	6
P Org.	0.2	1.7	0.6	0.6	6
Relación N:P	1.5	5.4	3.3	1.6	6
Índice trófico	29.5	45.5	38.8	5.7	6
C/Cl	3.5	29.3	22.2	11.1	4

correspondientes a la clase Gasteropoda y 22 a la clase Bivalvia. Sobresalen *Littoridina sphinctostoma*, *Acteocina canaliculata*, *Odostomia impressa*, *Mytilopsis leucophaeata*, *Rangia flexuosa* y *Mulinia lateralis* (García Cubas *et al.* 1990). Granados (1992) afirma que de los crustáceos se obtuvieron 26 especies, entre las que se hallan: *Callinectes similis*, *C. sapidus*, *C. rathbunae*, *C. vittatus* y *Penaeus setiferus*. Se identificaron 49 especies de peces, de las cuales las más importantes fueron: *Diapterus rhombeus*, *Eucinostomus gula*, *Arius melanopus*, *Diapterus auratus*, *Anchoa hepsetus*, *Lutjanus griseus* y *Bairdiella ronchus* (Granados *et al.* 1991). El cuadro 15 resume su hidrología.

PANTANOS DE CENTLA. Representa una importante reserva de la biosfera y sitio Ramsar con una extensión total de 302,706 ha. Predominantemente es una llanura fluvio deltáica con sistemas acuáticos que ocupan extensas depresiones entre llanuras fluviales, con características tales como acumulación de agua permanente, escasa profundidad, bordes irregulares, sustrato de sedimentos finos y de origen aluvial, acumulación de capas orgánicas desde unos centímetros hasta más de 1 m de espesor, sin acumulación de sales de origen marino y con varias comunidades hidrófitas emergentes. Según varias fuentes se han reportado por lo menos 52 especies de peces, 68 de reptiles, 27 de anfibios, 104 de mamíferos y 255 de aves (Castañeda y Contreras 2001).

LAGUNA DE TÉRMINOS. Se halla en la zona de transición entre las calizas de la Península de Yucatán y los terrenos aluviales del Golfo de México. Se identificaron un total de 173 especies de moluscos, entre las que sobresalen por su abundancia y distribución generalizada los gasterópodos (95), entre los

que dominan número y frecuencia *Diastoma varium*, *Turbonilla* (*Chemitzia*) *aequalis*, *Acteocina canaliculata*, *Rissoina catesbyana*, *Caecum* (*Micranellum*) *pulchellum*, *Mitrella* (*Astyris*) *lunata*, *Triphora melanura*, *Melanella* (*Balcis*) *conoidea* y *Vitrinella multistriata*. Entre los bivalvos dominan *Nuculana* (*Sacella*) *acuta*, *Mulinia lateralis*, *Laevicardium mortoni*, *Corbula* (*Caryocorbula*) *contracta*, *Anadara* (*Lunarca*) *ovalis*, *Abra aequalis*, *Anadara* (*Larkinia*) *transversa*, *Macoma* (*Austromacoma*) *constricta*, *Macoma* (*Rexithaerus*) *mittelli* y *Brachiodontes* (*Hormomya*) *exustus* (García Cubas 1981). Cabe destacar la macrofauna bentónica asociada a las praderas de *Thalassia testudinum* en donde fueron identificadas 123 especies de poliquetos, 57 de moluscos y 68 de crustáceos (Reveles y Escobar 1987); los poliquetos resultaron el grupo dominante. *Capitella capitata*, *Mediomastus californiensis*, *Laonereis culveri*, *Streblospio benedicti*, *Lembos* sp., *Lucina pectinata*, *Palaemonetes vulgaris*, *Melinna maculata*, *Tellina lineata*, *Xenanthura* sp., *Tellina alternata tayloriana* y *Parandalia vivianneae* fueron las especies más abundantes, (Hernández y Solís 1995). En las comunidades de peces hay 5 especies residentes permanentes: *Orthopristis chrysopterus*, *Haemulon plumieri*, *Archosargus rhomboidalis*, *Corvula sanctae-luciae* y

CUADRO 16. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMP. (1974)

L. TÉRMINOS	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Sal.	27.7	33.5	30.1	2.4	95
Temp.	27.4	29.4	29.0	0.9	95
O. Dis.	4.6	5.0	4.7	0.2	95
% Sat.	96	105	98	4.2	95
pH	8.2	8.3	8.2	0.0	95
NH ₄	4.3	25.7	5.2	10.4	95
NO ₃ +NO ₂	0.1	1.4	0.2	0.6	95
N Tot.	5.3	25.9	5.6	10.2	95
NH ₄ /N Tot.	76	99	96	10.5	95
PO ₄	0.3	0.7	0.5	0.2	95
N:P	8.4	16.5	10.2	4.2	95

Sphoeroides testudineus. Se han detectado 150 especies (Yañez Arancibia y Zarate 1999). Ayala *et al.* (2000) reporta 107 especies de las cuales 18 son consideradas como dominantes: *Arius melanopus*, *Diapterus rhombeus*, *Eucinostomus gula*, *Bairdiella chrysura*, *Archosargus rhomboidalis*, *Bagre marinus*, *Cetengraulis edentulus*, *Eugerres plumieri*, *Arius felis*, *Stellifer lanceolatus*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Anchoa mitchilli*, *Cynoscion arenarius*, *Chaetodipterus faber*, *Bairdiella ronchus*, *Sphoeroides nephelus*, *Dasyatis sabina*, e *Himantura schmardae*. Se reportan 138 especies de aves (Rico Gray *et al.* 1988). La única hidrología completa proviene de Botello (1978), y se muestra en el cuadro 16.

LAGUNA DE CELESTÚN. La vegetación subacuática está constituida por 28 especies, principalmente por las algas *Chara fibrosa*, *Bathophora oerstedii* y *Chaetomorpha linum* en la porción norte. En la porción centro y sur las especies que sobresalen son: *Diplantera (Halodule) wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Ruppia cirrhosa* y el alga *Chaetomorpha linum*, que se encuentran en los márgenes de la laguna formando densas alfombras (Herrera 1988). Cerca de la boca y en aguas litorales el pasto dominante es *Thalassia testudinum*. Cabe destacar que las macroalgas dominan (en más del 70 % de la biomasa) sobre los pastos marinos. Los gasterópodos estuvieron representados por 20 especies agrupados en 17 géneros y 14 familias; los bivalvos por 13 especies, agrupados en 11 géneros y 7 familias (Lizárraga y Ardisson 1995). Hay 41 especies en la ictiofauna: *Eucinostomus gula*, *Eucinostomus argenteus*, *Archosargus rhomboidalis*, *Sphoeroides testudineus*, *Serranus atrobranchus*, *Sparisoma radians*, *Lutjanus griseus*, *Monocanthus hispidus*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Caranx hippos*, *Chilomycterus schaeffi*, *Syngnatus*

CUADRO 17. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CELESTÚN, YUC. (1985)

CELESTÚN, YUC	MIN	MAX	MED	D STA.	N
Salinidad	5.5	32.0	16.5	7.6	17
Temperatura	23.0	30.2	27.9	2.3	17
% Sat.	44	139	95	27.5	17
Clor. a	1.1	56.2	2.3	14.8	15
Prod. Prim.	14.8	338.0	121.0	99.4	11

(Continúa)

CUADRO 17. HIDROLOGÍA DE LA LAGUNA DE CELESTÚN, YUC. (1985)

CELESTÚN, YUC	MIN	MAX	MED	D STA.	N
N-NH ₄	3.0	10.2	5.1	2.1	15
N-NO ₃ +NO ₂	1.8	9.8	3.5	2.5	15
N Tot.	2.3	18.4	9.8	3.6	15
NH ₄ /N Tot.	30	78	57	15.6	14
P-PO ₄	0.3	7.1	2.7	1.9	14
Relación N:P	1.3	26.4	4.6	7.7	14
Indice trofico	33.1	70.1	39.3	12.0	14
C/Cl	5.1	49.7	13.3	19.4	6

louisianae, *Orthopristis chrysoptera*, *Arius melanopus*, y *Lagodon rhomboides* (Mena y De la Cruz 1993). Se han registrado 304 especies de aves y 179 géneros pertenecientes a 45 familias y 20 órdenes de aves y se considera como un hábitat importante, tanto para residentes como migratorias. Entre las aves nidificantes están *Phalacrocorax olivaceus* y *Dendrocygna autumnalis* (Correa y García 1993). Otras especies comunes son *Anas discors*, *Aythya affinis*, *Nareca americana*, *Anas acuta*, *Spatula clypeata*, *Aythya collaris*, *Fulica americana*, *Bucephala alveola*, *Oxyura jamaicensis*, *Mergus serrator*, *Cairina moschata*, *Anas carolinensis*, *Anas cyanoptera* y *Aix sponsa*. La hidrología proviene de Batllori (1988). La hidrología de la laguna de Celestún se resume en el cuadro 17.

YUCALPETÉN. En la fauna macrobentónica que habita las praderas de *Thalassia testudinum*, se encontraron organismos pertenecientes a 7 phylla, 12 clases, 29 órdenes, 37 familias, 61 géneros y 60 especies identificadas. La fauna encontrada en estas praderas es muy abundante y diversa y está representada principalmente por el phylum Arthropodaa, siguiendo en abundancia los phylla Echinodermata, Mollusca, Vertebrata y Annelida. Los phylla Nematoda y Cnidaria constituyen los grupos más escasos. Las especies importantes son *Cladonema radiatum*, *Sabella microphthalma*, *Cerithidea costata* y *Crepidula maculosa* (Hernández y May 1990).

DZILÁM DE BRAVO. Es área natural protegida estatal. Presenta una franja de esteros que abarca unos 20 km e incluye los esteros de El Paso, Yolbe y El Islote. Cubren el 90 % del fondo *Ruppia maritima* y *Halodule wrightii*. Entre

las algas destacan *Bryothamnium seafortii*, *Chaetomorpha linum*, *Bathophora oerstedii* y *Polisiphonia* sp. Se han registrado 31 especies de peces, entre las que dominan *Lagodon rhomboides*, *Eucinostomus guia*, *Sphoeroides testudinus*, *Eucinostomus argenteus*, *Orthopristis chrysoptera* y *Sphyraena barracuda* (Chumba y Barrientos 2000).

RÍA LAGARTOS. Es una reserva de la biosfera (RB) y un sitio Ramsar. El sistema se divide en tres porciones, la primera abarca de la boca de San Felipe a la boca del canal; la segunda va de los vasos de evaporación de la salinera a la Angostura y la tercera de la Angostura al extremo oriental del estero. Se determinó un total de 46 taxa, que incluyeron 26 especies de la división Rhodophyta, 18 de la Chlorophyta y 2 de la Phaeophyta, en un estudio ficoflorístico realizado por Ortegón *et al.* (2001). En el bentos existen *Cerithidae pliculosa*, *Anomalocardia auberiana*, *Tellina tampaensis*, *Carditamera floridana* y *Limulus polyphemus*. Sobresalen, desde la perspectiva comercial, la presencia de *Panulirus argus*, *Octopus maya*, *Octopus vulgaris* y *Penaeus aztecus*. Se identificaron 84 especies de invertebrados megabentónicos marinos en la reserva, de las cuales 8 eran poríferos (2 esponjas costrosas, 2 esponjas ramificadas y 4 esponjas masivas), 11 cnidarios (3 hexacorales masivos, 3 hexacorales ramificados, 4 octocorales y 1 anémona), 49 moluscos (25 gasterópodos, 22 bivalvos, 1 cefalópodo, 1 opistobránquio), 6 crustáceos y 9 equinodermos (4 estrellas de mar, 2 galletas de mar, 2 erizos y un pepino) (Maldonado *et al.* 2000). De la ictiofauna hay 49 especies (69 según Vega *et al.* 1998), 40 géneros y 30 familias. Las especies más abundantes fueron: *Floridichthys carpio*, *Eucinostomus argenteus*, *Strongylura notata*, *Sphoeroides testudineus* y *Elops saurus* (De la Cruz 1997).

LA BASE DE DATOS

	PARÁMETRO 1	PARÁMETRO 2	... PARÁMETRO 17	PARÁMETROS
Laguna 1				1 Salinidad
Estaciones				2 Temperatura
1				3 Oxígeno Dis.
2				4 % Sat.
3				5 pH
4				6 Clor. a

(Continúa)

PARÁMETRO 1	PARÁMETRO 2	... PARÁMETRO 17	PARÁMETROS
Laguna 2		7	
Productividad Prim.			
1		8	N-NH4
2		9	N
NO3+NO2			-
3		10	N Tot.
4		11	NH4/NT.
... Laguna 19		12	P-PO4
		13	P Tot.
Min		14	P Org.
Max		15	Relación N:P
Mediana		16	Índice trófico
Desv. Sta.		17	C/Cl
n			

El Laboratorio de ecosistemas costeros de la UAM Iztapalapa comenzó sus actividades de muestreo en lagunas costeras en el año 1979, y a la fecha se

RESUMEN DE LA MATRIZ DE DATOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	MIN	MAX	MEDIANA	D STA.	N
Salinidad	0.0	63.0	22.6	12.2	933
Temperatura	14.6	36.8	28.7	5.1	990
O. Disuelto	0.3	12.7	5.0	1.7	915
% Sat.	7	235	101	37.6	868
pH	5.10	9.50	8.11	2.74	709
Clor. a	0.01	174.5	9.5	21.7	759
Prod. Prim.	0.39	603.1	64.3	100.8	416
N-NH4	0.04	39.4	6.2	6.7	904
N-NO3+NO2	0.05	55.6	2.1	5.5	929

CUADRO 18. RESUMEN DE LA MATRIZ DE DATOS DEL GOLFO DE MÉXICO

	Min	Max	Mediana	D Sta.	n
N Tot.	0.07	75.6	9.0	9.5	913
NH ₄ /N Tot.	1	100	75	24.3	891
P-PO ₄	0.01	37.3	2.0	5.3	906
P Tot.	0.06	99.6	3.7	7.7	630
P Org.	0.00	63.1	1.5	5.0	574
Relación N:P	0.02	42.8	4.0	8.0	831
Índice trófico	1.18	81.2	53.2	12.8	726
C/Cl	0.04	39.8	4.3	7.7	299

Unidades: Salinidad en partes por mil; oxígeno disuelto en ml/L; nutrientes en $\mu\text{g-at/L}$; productividad primaria en $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}$; clorofila *a* en mgm^{-3} ; la relación C/Cl (carbono/clorofila) es $\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}:\text{mg.clor.m}^{-3}$, el índice trófico fue calculado según Carlson (1977) y aplicado con anterioridad (Contreras 1994).

han realizado ciclos anuales de muestreo básico hidrológico en 41 ecosistemas (17 del Golfo y 24 del Pacífico) a lo largo del país.

En el caso del Golfo de México, y con base en la información proveniente de 19 sistemas lagunares diferentes y, en algunos casos, con ciclos realizados en distintos años, como sucede con las lagunas de Tampamachoco, La Mancha, Tamiahua y Mandinga (algunos de estos ciclos se presentan en las diagnósis lagunares previas), se realizó una matriz de datos con las siguientes características:

La matriz de datos resumida para el Golfo de México con sus valores mínimo, máximo, mediana y el número de datos total (n) para cada parámetro se muestra en el cuadro 18.

La matriz de datos anterior permite obtener un valor medio para cada característica y acercarse así al valor *normal* para las lagunas. Por otro lado, los valores de las medianas de cada uno de los parámetros abióticos y para cada laguna costera propician un acercamiento para fines de clasificación, ya que estos resultados permiten conocer las tendencias de cada ecosistema con respecto a alguna característica en particular; por ejemplo, el valor de la mediana de la salinidad para laguna Madre es de 41.2 ppm y refleja la tendencia a la hipersalinidad, comparado con el valor medio de la laguna

de Alvarado de 9.3 ppm que indica la permanencia de la oligohalinidad. En ambos casos existen variaciones considerables asociadas a la temporalidad climática (lluvias y secas), pero conservan al final tendencias hacia un valor propio. De este modo, el manejo de los datos para otras características como los fosfatos o la clorofila mostrarían tendencias a la oligotrofia o contrariamente a la eutroficación.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS. Los ecosistemas costeros del Golfo de México, con base en el número de determinaciones realizadas, reflejan valores que son considerados normales para áreas estuarinas. Así, la salinidad, cuyo promedio es de 22.9 ppm, muestra la permanencia de la estuarinidad como rasgo fundamental; las salinidades elevadas corresponden principalmente a la laguna Madre. El cálculo de la mediana para el oxígeno disuelto refleja aguas con elevada cantidad del gas (5 ml/L); la variación del pH (cuyo valor mediano es de 8.11) es causada por variantes estacionales, ya que los valores cercanos a 7.0 están asociados al agua continental proveniente de los ríos y lluvias, contrariamente al agua de mar, que posee valores de 8.20 en promedio. Cabe destacar la homogeneidad (basado en el cálculo de la desviación estándar) en la medición de estos dos últimos parámetros, 1.8 y 2.8, respectivamente.

NUTRIENTES. A pesar de que muchos investigadores han insistido en la *amplia variación* de los nutrientes en lagunas costeras y ecosistemas similares, resulta interesante observar que con base en la cantidad de datos recabados y su desviación estándar no sean tan variables como se podría esperar, a pesar de los valores detectados como mínimos y máximos que, principalmente en las fuentes de nitrógeno, son contrastantes. Esta particularidad podría indicar que estos valores extremos son ocasionales y ubicados en tiempos y espacios determinados, pero no permanentes.

La principal forma de nitrógeno es la de N-NH_4 , que constituye una forma reducida y relacionada con condiciones reductoras (bajos valores de oxígeno y pH), es considerada como un indicativo de nitrógeno renovado, usado o proveniente de actividades humanas, ya que su presencia se incrementa en la medida de un uso más ganadero que agrícola de los suelos adyacentes (Paerl *et al.* 2002). Lo anterior se infiere al calcular la proporción porcentual $\text{NH}_4/\text{N}_{\text{tot}}$, y cuyo valor mediano es de 76%.

Sin embargo, en áreas costeras no es tanto la presencia sino la relación entre nutrientes lo que adquiere relevancia (Redfield 1958; Redfield *et al.* 1963). De esta forma, una relación N:P menor a 5 es interpretada como una limitación de nitrógeno, una mayor a 10 se considera como indicativa de

una limitación de fósforo y se establece que de 5 a 10 es indiferente (Rinaldi *et al.* 1992). El índice N:P en los ecosistemas costeros del Golfo de México tiende a ser bajo (4.0), esto es, manifiesta una relativa limitación de formas nitrogenadas. Cabe destacar que valores elevados de N:P (mayores a 10) se dan usualmente en ecosistemas asociados a la dominancia de aguas marinas sobre los aportes dulceacuícolas.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA. La productividad primaria constituye el proceso fundamental de los sistemas acuáticos. En el caso de las lagunas costeras tropicales, este proceso está conformado por varios componentes básicos: el fitoplancton (Grindley 1981, Boynton *et al.* 1982, Knoppers 1994, Cloern 1996), el microfitobentos (Hargrave y Conolly 1978, Webster 2002), los pastos marinos (Zieman 1982, Ibarra y Ríos 1993, Kaldy *et al.* 2002), la vegetación de macrofitas (Den Hartog 1982, Moreno Casasola *et al.* 2001), la quimiosíntesis (Odum y Heald 1975, Klump y Martens 1981) y eventualmente las macroalgas (Dreckmann y Pérez 1994). Sin embargo, la cuantificación de la producción primaria fitoplanctónica, exclusiva en la columna de agua, sigue siendo un parámetro fundamental en la interpretación de la salud de un sistema acuático.

Por otro lado, la presencia de clorofila *a* en el agua ha sido tomada como un índice de biomasa fitoplanctónica y es medida rutinariamente en los estudios relacionados con la productividad primaria en la columna de agua (Contreras 1994). Aunque no exista una relación directamente proporcional entre estos dos elementos debido, entre otras causas, al estado fisiológico del fitoplancton o al momento de sucesión temporal, a la variabilidad ambiental, a la presencia proporcional y significativa de formas muy pequeñas como el nanofitoplancton ($< 22 \mu$), todo parece indicar una mayor eficiencia fotosintética (Malone 1971; Mc Carthy *et al.* 1974). Sin embargo, la clorofila *a* está relacionada con la cantidad de nutrientes, especialmente de fosfatos (Vollenweider y Kerekes 1982, Contreras y Kerekes 1992). De hecho con base en estas dos características se estableció una clasificación trófica (Carlson 1977, Contreras *et al.* 1994b). Esta conceptualización de causa efecto ha sido utilizada inclusive para detectar problemas de eutroficación, ya que este fenómeno es, en primera instancia, una respuesta de la biomasa algal a insumos adicionales de nutrientes (Giovanardi y Tromellini 1992).

En la matriz de datos, resalta la heterogeneidad de la productividad primaria en la columna de agua. De hecho, la desviación estándar calculada rutinariamente para cada sistema es siempre elevada, generalmente por arri-

ba de 100, aún en sistemas pequeños. Lo anterior indica la extrema particularidad, tanto temporal como espacial, de este proceso. Bajo esta perspectiva, resalta el comportamiento de la clorofila *a*, que no sigue el mismo patrón con respecto a la heterogeneidad de la productividad primaria, siendo este pigmento, al menos en teoría, causante fundamental de este proceso.

A pesar de estas diferencias, la relación C/Cl ($\text{mgCm}^{-3}\text{hr}^{-1}.\text{mg.clor.m}^{-3}$) ha sido empleada como un índice del potencial fotosintético (Beerman y Pollinger 1974), y podría ser considerada como una medida de la eficiencia ecológica por parte del fitoplancton (Strickland 1960, Cloern 1996, Banse 1974, 1977), ya que como puede deducirse, un valor alto significa una optimización de las condiciones abióticas en el desarrollo de los productores primarios; sin embargo, valores bajos estarían relacionados con diversas limitaciones como nutrientes, luz o algún otro factor. El seguimiento de esta relación dentro de los datos generados en un solo sistema ofrece información útil y clave de algunos aspectos. Aunque existe gran cantidad de datos de C/Cl en México, son locales e incidentales y se encuentran dispersos en numerosos trabajos de investigación. Sin embargo, Millán y Lara Lara (1995), en una excelente recopilación de información sobre productividad primaria, presentan valores del C/Cl para 20 lagunas costeras mexicanas, algunas tomadas de Gilmartin y Relevante (1978).

En la matriz de datos se tienen 242 determinaciones del índice C/Cl , y los valores son muy similares a los reportados por los autores mencionados; tanto el valor de la mediana como de la desviación estándar son aceptables, tratándose de un índice tan variable y dependiente de otras determinaciones. En relación con la temporalidad, los valores más altos están asociados a la época primaveral, cuando las condiciones abióticas son propicias para un óptimo desarrollo de formas fitoplanctónicas como las diatomeas y, espacialmente, están relacionados con áreas dentro del sistema lagunar con tiempos de renovación más rápidos y eficientes, contrariamente a los valores menores que usualmente se asocian con áreas aisladas y de un lento intercambio de sus aguas.

Finalmente, la información aquí presentada permite, por primera vez, un acercamiento estadístico a la comprensión del papel fundamental que juegan algunos parámetros considerados hasta ahora como poco confiables y muy relativos en relación al carácter ecológico de las lagunas costeras. Obviamente, hace falta una gran cantidad de información para un acercamiento más confiable y establecer una posible clasificación o jerarquización de los ecosistemas estuarinos de nuestro país, pero aquí se propone el primer paso para lograr este objetivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alafita V., H. y J. E. Martínez G. 1993. La avifauna de Arroyo Moreno, Veracruz, México. Res. XII Congr. Nal. Zool. 120. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Alber, M. 2002. A conceptual model of estuarine freshwater inflow management. *Estuaries* 25 (6b):1246-1261.
- Alvarez S., C. 1988. Contribución al estudio de los copépodos de la laguna de La Mancha, Ver., México (1981-1982). Mem. IX Congr. Nal. Zool. 165-175. (res. 112). En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Alvarez S., C. y Gómez, A., S. 1993. Seasonal behavior of *Labidocera* spp in Tamiahua lagoon, Veracruz, Mexico. Fifth International Conference on Copepoda. Baltimor, Maryland. Junio 6-12. Cartel pp. 49. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Antolí F., A. y A. García-Cubas. 1985. Sistemática y ecología de moluscos en las lagunas costeras Carmen y Machona, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* 12 (1): 145-198.
- Ayala P., L. A., B. A., Gómez M., J. Ramos M. y D. Flores H. 2000. Los peces dominantes de la laguna de Términos, Campeche, México. Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr. 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Banase, K. 1974. On the interpretation of data for the carbon-to-Chlorophyll ratio of phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 19: 695-699.
- 1977. Determining the Carbon-to-Chlorophyll ratio of natural phytoplankton. *Marine Biology* 41: 199-212
- Barba M., E., J. A. Sánchez y A. Raz-Guzmán. 1991. Peces asociados a vegetación sumergida de la región sur-central, laguna Madre, Tamaulipas. Res. II Congr. Nal. Ictiol. 1-29. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Barba, M., E. A. Raz-Guzmán, y A. J. Sánchez. 1993. Patrones de distribución de los carideos de laguna Madre, Tamaulipas y laguna de Términos, Campeche. Res. XII Congr. Nal. Zool. 43. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Barba T., J. F. y J. Sánchez, R. 1981. Abundancia, distribución y estructura de la comunidad ictiplanctónica, en la laguna de Tamiahua, Veracruz a través de un ciclo anual. Tesis profesional. Fac. Ciencias. 57 pp.

- Barrera E., G. 1995. Contaminación exógena de origen fecal en la laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de importancia comercial. Tesis de maestría. Fac. de Ciencias, UNAM. 60 pp.
- Batllore S., E. A. 1988. Producción secundaria en el estero de Celestúm, Yuc. Tesis de maestría. IPN. 140 pp.
- Beerman, T. y U. Pollinger. 1974. Annual and seasonal variations of phytoplankton, chlorophyll, and photosynthesis in lake Kinneret. *Limnol. and Oceanogr.*, 19 (1): 31-53.
- Botello V., A. 1978. Variación de parámetros hidrológicos en las épocas de sequías y lluvias (mayo y noviembre de 1974) en la laguna de Términos, Campeche, México. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 5 (1): 159-177.
- Boynton, W. R., W. M. Kemp y C. W. Keeke. 1982. A comparative analysis of nutrient and other factors influencing estuarine phytoplankton production. En: Kennedy, V. S. (ed.). *Estuarine Comparison*. Academic Press. Nueva York.
- Bozada, L. y M. Páez. 1986. *La fauna acuática del río Coatzacoalcas*. Ser. Med. Amb. Coatz. 8. CECODES, México. 162 pp.
- Bozada, L. y M. Páez. 1986. *La fauna acuática del río Tonalá*. Ser. Med. Amb. Coatz. 7. CECODES, México. 172 pp.
- Bravo B., C., Bringas, S., C., Duarte R., M. A., Durán T., L., Monroy R., Y., Rodríguez N., J. y Soyano F., L. A. 1987. Abundancia y distribución malacológica en relación con el tipo de sedimento de dos sistemas costeros del estado de Veracruz. Mem. XI Simp. Biol. de Campo. ENEP-Iztacala. 31. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. and Oceanogr.* 22 (2): 361-368.
- Carmona M., R., M. Guzmán M., G. Ibáñez H., A. López Q., L. Rivera R. y R. Sánchez A., 1987. Aspectos generales de la biología de las aves de Alvarado, Ver. Mem. XI Simp. Biol. de Campo. ENEP-Iztacala. 14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- CECODES 1981. *Las lagunas costeras de Tabasco*. Centro de Ecodesarrollo, México. 109 pp.
- Cloern, J. E. 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34 (2): 127-168.
- Contreras B., A. J. 1993a. Avifauna de Laguna Madre, Tamaulipas. En: Salazar V., S. I. y N. E. González (Eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. 553-558. Conabio y CIQRO, México, 865 p.
- Contreras E., F. 1981. Algunos índices y relaciones de la productividad primaria en la laguna

- de Tamiahua, Ver., México. *Mem. VII Simp. Latinoamer. Oceanogr. Biol.* 183-200.
- 1983. Variación en la hidrología y las concentraciones de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpam-Tampamachoco, Ver., México. *Biótica* 8 (2): 201-213.
- 1993b. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CONABIO-UAMI. México. 415 p.
- 1994. Producción primaria fitoplanctónica en lagunas costeras. *Rev. Investigaciones Marinas* 16 (1): 11-21.
- Contreras E., F., O. Castañeda L., y A. García N. 1994. La clorofila *a*, como base para un índice trófico en lagunas costeras. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 21 (1-2): 55-66.
- Contreras, E. F. y L. Zabalegui M. 1988. *Aprovechamiento del litoral mexicano*. CECODES-SEPESCA. 132 pp.
- Contreras E., F. y J. Kerekes. 1992. Total phosphorus-chlorophyll relationships in tropical coastal lagoons in Mexico. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25 : 448-451.
- Correa S., J. y J. García B. 1993. Avifauna de Ría Celestún y Ría Lagartos. En: Salazar V., S. I. y N. E. González (eds.). *Biodiversidad marina y costera de México*. 641-649. CONABIO y CIQRO, México, 865 p.
- Cruz G., A. y A. Rodríguez V. 1991. Estructura y composición de la ictiofauna inmadura del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Res. II Congr. Nal. Ictiol. I-35. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Cubillas H., L. F. E. Arce, C., G. Benítez, R. y Z. Chávez, R. 1987. Aspectos ecológicos de la ictiofauna del río La Antigua, Veracruz, México. Resúmenes IX Congr. Nal. Zool. 54. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chávez O., E. A. 1967. Estudio ecológico parcial de un sistema estuarino en la costa oriental de México. Res. III Congr. Nal. Oceanogr. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chávez L., R. y J. Franco, L. 1992. Ecología de la comunidad de peces asociada a pastos sumergidos de la laguna de Alvarado, Veracruz. Res. III Congr. Nal. Ictiol. 62. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Chumba S., L. y R. C. Barrientos M. 2000. Patrones espaciales en la composición de la comunidad de peces costeros de la reserva estatal de Dzilám de Bravo, Yucatán. Res. del XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oax. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- De la Cruz A., J. J. Franco, L. y L. G. Abarca, A. 1985. Caracterización ictiofaunística de los sistemas estuarinos del estado de Ver., México. *Mem. VIII Congr. Nal. Zool.* 175-187.

- De la Cruz, A., J y J. K Mena, A. 1997. Composición y abundancia de la comunidad de peces de la laguna de Celestún, Yucatán. Res. V Congr. Nal. de Ictiol. 56. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- De Sucre M., A., E., C. Carmona, M. y J. Montiel T. 1985. Notas sobre la avifauna de Tecolutla, Ver. Mem. VIII Congr Nal. Zool. 771-781. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Den Hartog, C. 1982. Architecture of macrophyte-dominated aquatic communities. En: J. J. Symoens, S. S. Hooper y P. Compre (Eds.). *Studies on aquatic vascular plants*. R. Bot. Soc. Belgium, Brussels: 222-234.
- Díaz R., R. 1992. Revisión taxonómica de los cangrejos violinistas (Familia Ocypodide: Género *Uca* Leach, 1814) de la zona estuarina del río "La Antigua", Veracruz. Res. IX Congr. Nal. Oceanogr. 194. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Díaz R., R. y Z. Chávez A. 1987. Etapas del desarrollo embrionario y el primer estadio de zoea en *Sesarma* (Holometopus) cinereum. Res. VII Congr. Nal. Oceanogr. pag. 199. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Dreckmann, K. M. y M. A. Pérez H. 1994. Macroalgas bentónicas de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Rev. Biol. Trop.* 42 (3): 715-717.
- Flores A., F. A. García-Cubas y A. Toledano, G. 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la laguna de La Mancha, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 15 (2): 235-258.
- Franco L., J. M. A. Jiménez, V., C. Pérez, B., M. A. Galván, H. y A. Rodríguez, V. 1982. Estudio de las comunidades neotónicas y bentónicas del estero de Casitas, Ver. Res. VI Cong. Nal. Zool. 72. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García N., J. A. 1988. Determinar la composición de la ictiofauna y sus relaciones tróficas representativas de la laguna del Ostión, Veracruz, México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 37 pp.
- García-Cubas, A. 1978. Ecología y distribución de los micromoluscos de tres lagunas litorales del Golfo de México. Tesis doctoral. Depto. de Biología. Fac. de Cienc. UNAM. 256 pp.
- 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el sur del Golfo de México (laguna de Términos, Campeche). *Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. Pub. Esp. 5.: 1-182.
- García-Cubas, A., A. Covarrubias y M. Reguero. 1990. Aspectos ecológicos de moluscos marino-salobres de la laguna litoral de San Andrés, Tamaulipas. Res. IV Reunión sobre Malacología y Conquiliología. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001.

- Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García-Cubas, A, F. Escobar, L., L. V. González, A. y M. Reguero. 1990. Moluscos de la laguna Mecoacán, Tabasco, México: sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 17 (1): 1-30.
- García-Cubas, A. y M. Reguero. 1990. Moluscos del sistema lagunar Tupilco-Ostión, Tabasco, México: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM. 17 (2): 309-343.
- García-Cubas, A., A. Covarrubias, y M. Reguero. 1990. Aspectos ecológicos de moluscos marino-salobres de la laguna litoral de San Andrés, Tamaulipas. Res. IV Reunión sobre Malacología y Conquiliología. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- García-Cubas, A, M. Reguero y R. Elizarrarás. 1992. Moluscos del sistema lagunar Chica-Grande, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar. y Limnol.* UNAM 19 (1): 71-121.
- García-Cubas, A y M. Reguero. 1995. Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: sistemática y ecología. *Hidrobiológica* 5 (1-2): 1-24.
- Gilmartin, M. y N. Relevante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Est. Coast. Mar. Sci.* 7: 29-47.
- Giovanardi, G. y E. Tromellini. 1992. Interrelationships between phytoplankton biomass and nutrients in the eutrophicated areas of the north-western Adriatic Sea. En: R. A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 211-234.
- Gómez S., A. y S. Contreras B. 1991. Comparación ictiogeográfica de la laguna Madre y sus nuevos registros. Res. II Congr. Nal. Ictiol. 1-43. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- González V., N., R. M. Torres y J. Franco L. 1985. Contribución al conocimiento de las comunidades bentónicas de la laguna Grande Ver. Mem. VIII Congr. Zool. 323-332. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- González R., J. I., A. Olalla K., I. Ruvalcaba O. y A. J. Contreras B. 2001. Aves playeras de la laguna Madre, Tamaulipas, México. Res. XVI Congreso Nacional de Zoología. 28 de Oct. al 1ro. de Nov., Zacatecas, Zac. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Granados B., A, J. L. Ramos, P., J. Priego, M., J. Alvarado, A., I. Madrigal, D. y N. Alfaro, S. 1991. Composición faunística de las lagunas Del Carmen, Pajonal y La Machona, del estado de Tabasco, México. Res. XI Congr. Nal. Zool. Cartel 119. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Granados B., A. A. 1992. Composición faunística de la laguna de Mecoacán, Tabasco.

- Res. III Reunión Alejandro Villalobos. 10. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Grindley, J. R. 1981. Estuarine plankton. En: Day, J. J. (Ed.). *Estuarine ecology with particular reference to Southern Africa*. A. A. Balkem, Rotterdam, 117.
- Hargrave, B. T. y G. F. Conolly. 1978. A device to collect supernatant water for measurement of the flux of dissolved compound across sediment surface. *Limnol. and Oceanogr.* 23: 1005-1010.
- Hernández S., J. M. y E. V. May, A. 1990. Algunos aspectos ecológicos de la macrofauna bentónica de las praderas de *Thalassia testudinum* (König, 1805) del estero de Yucalpetén, Yucatán. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 73 pp.
- Hernández A., P y V. Solís W. 1995. Algunas comunidades de macrobénticas asociadas al manglar (*Rhizophora mangle*) en laguna de Términos, Golfo de México. *Rev. Biol. Trop.* 43 (1-3): 117-129.
- Herzig, M. 1986. *Las aves*. Ser. Med. Amb. Coatzacoalcos. 4. CECODES. 230 pp.
- Herrera S., J. A., 1988. Productividad primaria fitoplanctónica de la laguna de Celestún, Yucatán. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN. Mérida
- Ibarra O., S. E. y R. Ríos. 1993. Ecosistemas de fanerógamas marinas. En: Salazar V., S. I. y N. E. Gonzalez (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. 54-65. CONABIO y CIQRO, México, 865 pp.
- Kaldy, J. E., C. P. Onuf, P. M. Eldridge y L. A. Cifuentes. 2002. Carbon budget for a subtropical seagrass dominated coastal lagoon: How important are seagrasses to total ecosystem net primary production?. *Estuaries* 25 (4a):528-539.
- Klump, J. V. y C. S. Martens. 1981. Biochemical cycling in an organic-rich coastline marine basin 2. Nutrient sediment-water exchanges processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 101-121.
- Knoppers, B., B. Kjerfve y J. P. Carmouze. 1991. Trophic state and water turn-over time in six chooked coastal lagoons in Brazil. *Biogeochemistry* 14: 149-166.
- Knoppers B. 1994. Aquatic primary production in coastal lagoons 243-286. En: Kjerfve, B. (Ed.) 1994. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Oceanography Series, 60. 577 pp.
- Knoppers B. y B. Kjerfve. 1999. Coastal lagoons of southeastern Brazil: Physical and biochemical characteristics 35-66. En: Perillo y Piccolo (Eds.) *Estuaries of South America. Their Geomorphology and Dynamics*. Springer. 150 pp.
- Kobelkowsky, A. 1991. Ictiofauna de las lagunas costeras del estado de Veracruz. En: Figueroa, T. M. G., C. Alvarez, S., A. Esquivel, H. y M. E. Ponce, M. (eds.). *Fisicoquímica y biología de las lagunas costeras mexicanas*. UAM-I. 74-93.
- León A., C. A. 1990. Distribución y abundancia del ictioplancton en la zona nerítica bajo la influencia de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, Veracruz, México. Tesis profesional.

Universidad Veracruzana.

- Lizárraga V., J. A y P. L. Ardisson. 1995. Los gasterópodos y bivalvos de la Reserva Especial de la Biósfera «Ría Celestún», Yucatán. *Res. XIII Congr. Nal. de Zool.* 163. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Maldonado, A., N. Cárdenas, H. Cárdenas, O. Reyes, M. Cabrera, M. T. Zapata y E. Cuevas. 2000. Invertebrados megabentónicos marinos en la zona costera de la reserva de la biósfera de río Lagartos, Yucatán. *Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr.* 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Malone, T. C. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. *Limnol. and Oceanogr.* 16: 633-639.
- Martínez P., J. A. 1993. Estudio de la ictiofauna del sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz, México. *Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar.* 1. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- McCarthy, J. J., W. Rowland y M. E. Loftus. 1974. Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay Estuary and problems associated with the measurements of nanoplankton productivity. *Mar. Biol.* 24: 7-16.
- Mena A., J. K. y G. De la Cruz, A. 1993. Variaciones temporales en la estructura de la comunidad de peces de la laguna de Celestún, Yucatán, México. *Res. V Congr. Latinoamer. de Cienc. del Mar.* 5. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Méndez U., M. N. 1989. Anélidos poliquetos en sedimentos de la laguna de Tampamachoco, Ver., Méx. *Res. X Congr. Nal. Zool.* 83. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Millán N., R. y J. R. Lara-Lara. 1995. Productividad primaria del fitoplancton del Pacífico Mexicano: un diagnóstico. En: González-Farías, F y J. De la Rosa (Eds.): 31-60. *Temas de oceanografía biológica en México*. Vol II. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México.
- Morales A., P. 1984. Variación estacional de los componentes de la ictiofauna en la laguna del Llano, Veracruz, México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 40 pp.
- Moreno R., L. G. 1986. Descripción de algunas especies de poliquetos del sistema estuarino de Tecolutla, Ver. y su relación con el sustrato. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 75 pp.
- Moreno-Casasola, P. López, H. y S. Garza. 2001. La vegetación de los humedales mexicanos Cap. 7. En: Abarca, F. y M. Herzig (Eds.). *Manual para el manejo y la conservación de los humedales en México*. SWS/UFW/SEMARNAT/DUMAC/PRONATURA/

NAWCC/RAMSAR.

- Nava M., A. D. 1989. Los anélidos poliquetos de la laguna de Tamiahua, Ver. Tesis profesional. Fac. Ciencias. UNAM. 82 p.
- Nixon, S. W. 1981. Freshwater inputs and estuarine productivity. En: Cross, R. D. y D. L. Williams (Eds.). *Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries*. 31-57. U. S. Fish and Wildlife Service.
- Ocaña, A. y M. Sánchez, R. 1991. Abundancia y distribución del ictioplancton en la región central de la laguna Madre, Tamaulipas. Res. II Congr. Nal. Ictiol. I-14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Odum, E. P. y E. J. Heald. 1975. The detritus-based food webs of an estuarine mangrove community. En: Cronin, E. I. (ed.). *Estuarine Research I*: 265-286.
- Oliva R., J. J. 1991. Composición taxonómica, abundancia y distribución de los macrocrustáceos de la laguna de LLano, Ver. Tesis profesional. Universidad Veracruzana.
- Ortegón A., I., J. González G. y A. Senties G. 2001. Estudio ficroflorístico de la laguna de Río Lagartos, Yucatán, México. *Hidrobiológica* 11 (2): 97-104.
- Paerl, H. W., R. L. Dennis y D. R. Whitall. 2002. Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over-enrichment of coastal waters. *Estuaries* 25 (4b): 677-693.
- Pérez H., M. A. E. Peralta, A. y P. S. Cárdenas, L. 1994. Análisis comparativo de la composición de especies de la ictiofauna del sistema lagunar Tuxpam-Tampamachoco, Veracruz. Res. IV Congr. Nal. Ictiol. 86. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Ramírez L., B., C. Mora P. y F. Ramírez F. 1993. Composición y estructura espacio-temporal de la fauna ictiológica de la laguna de la Mancha, Veracruz. Res. XII Congr. Nal. Zool. 101. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Raz-Guzmán, A., A. J. Sánchez, F. Mondragón, G. y E. Macías, B. 1991. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros y anomuros de laguna de Tamiahua, Veracruz y laguna Madre, Tamaulipas (Crustacea: Brachyura, Anomura). Res. XI Congr. Nal. Zool. Cartel 14. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Redfield, A. C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 46: 206-221.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum y F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater. En: M. N. Hill (E.). *The sea*, 2: 26-77. Wiley-Interscience.
- Reguero, M. y A. García-Cubas, 1990. Estructura de la comunidad malacológica en el

- sistema lagunar Alvarado-Buen País, México. Res. II Congr. Cienc. del Mar. 126. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reguero, M. y A. García-Cubas. 1991. Moluscos de la laguna Camaronera, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 18 (1): 1-23.
- Reguero, M., A. García-Cubas y G. Zuñiga, 1991. Moluscos de la laguna Tampamachoco, Veracruz, México: Sistemática y ecología. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM 18 (2): 289-328.
- Reguero, M. y García-Cubas, A. 1992. Estructura comunitaria de moluscos bénticos en la laguna Pueblo Viejo, Veracruz. Res. V Reunión sobre Malacología y Conquiliología. 33. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reguero, M. y A. García-Cubas. 1993. Moluscos del complejo lagunar Larga-Redonda-Mandinga, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *Hidrobiológica* 3 (1 y 2): 41-70.
- Revels G., M. B. y Escobar B., E. 1987. Comunidades bénticas de *Thalassia testudinum* en la laguna de Términos, Campeche, Sur del Golfo de México. Res. VII Congr. Nal. Oceanogr. 249. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Reyes B., M. P. 1986. Estudio de la variación estacional de la fauna asociada al ceibadal de *Halodule beaudettei* (Den Harton) en la laguna de La Mancha, Mpio. Actopan, Ver., México. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 38 p.
- Rico-Gray, V., R. Domínguez y G. Cobb. 1988. Avifauna de la zona costera inundable del noroeste de Campeche, México: Lista de especies y su distribución con respecto a la vegetación. *Biótica* 13 (1 y 2): 81-92.
- Rinaldi A., G. Montanari, A. Ghetti., C.R. Ferrari y A. Ferrari. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon. En: Vollenweider, R. A., R. Marchetti y R. Viviani. (Eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci. Pub. 457-470.
- Rodríguez P., A. 1990. Estudio de la alimentación de la ictiofauna del sistema estuarino de Tecolutla, Veracruz, México. Tesis profesional. UNAM-ENEP-Iztacala. 101 p.
- Sánchez-Chávez, J. 1989. Estructura de la comunidad íctica de la laguna de San Agustín, Mpio. de Alto Lucero, Veracruz, México, período sept. 1985-nov. 1986. Tesis profesional. Fac. Biol. U. V. 49 pp.
- Serrano G., S. J. y A. Juárez E. 1988. La ictiofauna de la laguna El Farallón, Veracruz. Res. I Congr. Nal. Ictiol. 109. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Strickland, J. D. H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* 122: 1-172.
- Urbina C., A. 1996. Fauna carcinológica del sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona,

- Tabasco, México. Tesis de licenciatura. División Académica de Ciencias Biológicas, Unidad Sierra, UJAT.
- Vega C., M. E., Hernández, De S., J. M. y V. C. Castillo, E. 1998. Contribución al conocimiento de la estructura de la comunidad íctica en la reserva de la biosfera de Ría Lagartos, Yucatán. Res. VI Congreso Nacional de Ictiología. 21-24 de Octubre, Tuxpam, Ver. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Villalobos F., A., M. E. Zamora, R. De la Parra, V., O. Cacho R., V. Galván P. y M. A. Izaguirre, P. 1982. Estudio hidrobiológico en la laguna de La Mancha, Mpio. de Actopan, Ver. 1979-1980. *Inst. Nal. de Investigaciones sobre Rec. Bióticos*. 15: 51 pp.
- Vollenweider, R. A. y J. Kerekes. 1982. Eutrophication of waters, monitoring, assesment and control. Final report. OECD Coperative program on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD. Paris. 154 p.
- Webster, I. T., P. W. Ford y B. Hodgson. 2002. Mycrophytobenthos contribution to nutrient-phytoplankton dynamics in a shallow coastal lagoon. *Estuaries* 25 (4a): 540-551.
- Yáñez-Arancibia., A. y D. Zarate, L. 1999. The pattern of estuarine dynamics in the Southern Gulf of Mexico and the mexican caribbean. 15th Biennial International Conference Estuarine Research Federation '99, Conference Abstracts. New Orleans, September, 25-30. En: Castañeda L., O. y F. Contreras E. 2001. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CD ROM, UAM-I. México.
- Zieman, J. C. 1982. The ecology of the seagrass of south Florida: a community profile. USFWS, FWS/OBS-82/25. 158 p.

LOS IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN EN ZONAS COSTERAS. CASO DE ESTUDIO: ZONA CONURBADA ALTAMIRA- MADERO-TAMPICO, TAMAULIPAS, MÉXICO

Sergio Jiménez, Wilver Salinas y Jesús Campos

LA URBANIZACIÓN DE ZONAS COSTERAS

La conquista urbana de las zonas costeras se dio desde los inicios de la humanidad y a raíz de la consolidación de sus actividades sustantivas, como la pesca y la agricultura ribereña, entre otras (Ducci 1995).

Las regiones que el hombre fue colonizando para establecer sus comunidades siempre han estado asociadas al agua, directa o indirectamente, siendo éste uno de los elementos vitales para la subsistencia de sus pobladores. Debido a este vínculo vital, las sociedades humanas fueron aprendiendo a obtener más beneficios, como la explotación de sus recursos bióticos mediante la pesca y los abióticos con la navegación, entre otros.

A medida que las necesidades de las comunidades se fueron incrementando y aumentaron los niveles de conocimiento que la humanidad adquirió de su medio natural, las zonas costeras representaron un excelente medio natural para el establecimiento de algunos de los más importantes desarrollos culturales de la humanidad: mayas, egipcios, incas, entre otros (Ceruti 2002).

Desde su concepción intuitiva hasta el modernismo, la urbanización de las zonas costeras ha sido un reto para la gente, ya que si bien las regiones costeras son ricas en recursos naturales, también representan un alto riesgo para las comunidades que en éstas se establecen (riesgos de salud, riesgos por eventos climatológicos extremos como huracanes, marejadas, inundaciones, etc.).

Las tendencias mundiales indican que la gente se está mudando a las grandes ciudades y a las costas. Timmerman (1997), estableció que a partir del año 2000, por primera vez en la historia, más del 50% de la población del mundo estaría viviendo en ciudades, y el 50% de esta población lo haría en ciudades costeras, lo cual se ha cumplido.

Como región, la zona costera (ZC) es una delgada franja territorial que acopla los ecosistemas marinos con los continentales, donde las desembocaduras de los ríos al mar representan su rasgo biológico más característico por la gran biodiversidad que inducen. En el contexto de transferencia de contaminantes de zonas continentales a la costa, los ríos son la principal vía de transportación, aunados por supuesto al que se da por la vía atmosférica. Tan sólo en la cuenca del Río Bravo-Río Grande (en la frontera de México y los Estados Unidos) se descargan cada año más de 2.6 millones de kilogramos de sustancias activas que van a dar, directa o indirectamente, al Golfo de México. Las principales fuentes de estos desechos plaguicidas son, en orden de importancia los cultivos de sorgo, caña de azúcar, maíz, arroz y piña, y las campañas de fumigación contra el paludismo.

Entre los ríos Bravo y Pánuco (que enmarcan la zona costera de Tamaulipas), se da un gran manejo de plaguicidas agrícolas tanto en volumen como en intensidad de aplicación (promedio de 219 kg/1,000 ha). La mayoría de estos compuestos son insecticidas y, en menor grado, fungicidas.

La exploración y las intensas actividades petroleras en el frente marino de Tamaulipas (sobre todo las de producción y transporte), y las actividades portuarias de refinación y petroquímicas en los litorales y las planicies de inundación, han ocasionado profundas tensiones ecológicas y sociales en la zona costera de dicha entidad.

En el Golfo de México tienen lugar las principales actividades petroleras del país; en sus aguas se localizan la mayoría de sus pozos de extracción, monoboyas de suministro, oleoductos, terminales de carga y descarga, centros de recepción, refinerías e industrias petroquímicas. Las entidades que tienen mayor número de estas instalaciones e infraestructura industrial petrolera son Veracruz, Tabasco y Campeche, por lo que resisten los efectos de derrames petroleros accidentales.

INDICADORES DE URBANIZACIÓN DE ZONAS COSTERAS

México tienen más de 11 mil kilómetros de litorales, distribuidos en 17 estados costeros, 11 sobre el Pacífico y 6 sobre el Golfo de México, que ocupan

una superficie total de 1,113,442 km² (el 56.6% del territorio nacional). Además, se tiene una concentración de población de 44,652,896 habitantes (ver cuadro 1).

Para identificar, bajo una primera aproximación, la vocación costera, se estableció el Índice costero de frente litoral (I_C), que se obtiene al dividir la longitud de costa entre la extensión territorial de una región asociada (por 100). De esta manera, de acuerdo con los datos presentados en el cuadro 1, se tiene que a nivel nacional, Baja California Sur, Colima y Baja California tienen la mayor vocación costera con un $I_C = 3.68$, 2.68 y 2.22, respectivamente. Los estados con menor I_C son Chiapas, Michoacán, Jalisco y Tamaulipas, con un valor de 0.34, 0.41, 0.43 y 0.58, respectivamente. Destaca el caso de Baja California, que presenta uno de los porcentajes menores de cobertura vegetal natural con una alta densidad poblacional.

La densidad de habitantes por km² en los estados costeros de México es en promedio, de 46.2 hab/km². Es contrastante, el análisis de I_C en relación con la densidad de población muestra que el estado de Baja California Sur presenta la menor densidad de pobladores (6 hab/km²) y el mayor valor para el $I_C = 3.68$, mientras que la mayor densidad poblacional la presenta el estado de Colima (105 hab/km²) con el segundo valor más alto de $I_C = 2.68$. Jalisco, Michoacán, Tamaulipas y Veracruz presentan el mayor déficit costero al soportar una mayor densidad de población con menor índice de vocación costera (ver cuadro 1).

Tomando como referencia las estrategias plasmadas en el *Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006*, se establece un indicador costero relativo a la relación agua-bosque. En el cuadro 2, se presentan las relaciones de cobertura vegetal, selva, cuerpos de agua y asentamientos humanos para cada uno de los 17 estados costeros de México. En el ámbito nacional se tiene una cobertura de 32.4% de bosques y selvas, porcentaje que se incrementa a 36.6% para los estados costeros. La condición crítica en este indicador costero de cobertura de vegetación natural es para Michoacán, Baja California, Baja California Sur, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz (2.55%, 2.93%, 5.66%, 7.42%, 16.48% y 16.94%, respectivamente). Los estados con mayor índice de cobertura vegetal natural son: Campeche, Oaxaca y Guerrero (77.8, 65 y 64.4%, respectivamente). Destaca el caso de Baja California, que presenta uno de los porcentajes de cobertura vegetal natural menores con una alta densidad poblacional.

La definición de un indicador bosque-selva-agua presenta resultados muy interesantes. A nivel nacional este indicador muestra que cada km² de cuer-

CUADRO 1. INDICADORES COSTEROS DE MÉXICO

ESTADO COSTERO DE MÉXICO	LONGITUD DE CORDÓN LITORAL ¹ [km]	SUPERFICIE ESTATAL [km ²]	POBLACIÓN [INEGI, 2000]	ÍNDICE COSTERO DE FRENTE LITORAL (LITORAL / SUPERFICIE)*100 [km ⁻¹]	HABITANTES POR KM ²
<i>Pacífico</i>	1,555	69,921	2,487,367	2.22	36
Baja California	2,705	73,475	424,041	3.68	6
Baja California Sur	1,208	180,723	2,216,969	0.67	12
Sonora	640	58,328	2,536,844	1.10	43
Sinaloa	300	27,621	920,185	1.09	33
Nayarit	342	80,836	6,322,002	0.42	
Jalisco	139	5,191	542,627	2.68	78
Colima	247	59,928	3,985,667	0.41	105
Michoacán	485	64,281	3,079,649	0.75	67
Guerrero	598	95,364	3,438,765	0.63	48
Oaxaca	256	75,634	3,920,892	0.34	36
Chiapas					52
<i>Golfo de México</i>	458	79,384	2,753,222	0.58	35
Tamaulipas	745	72,815	6,908,975	1.02	95
Veracruz	184	25,267	1,891,829	0.73	75
Tabasco	523	50,812	874,963	1.03	17
Campeche	342	43,379	690,689	0.79	16
Yucatán	865	50,483	1,658,210	1.71	33
Quintana Roo	11,593	1'113,442	44'652,896	1.2	46.2
Totales					

¹ Extensión litoral y superficies estuarinas de México (INEGI 1984).

pos de agua es soportado por 58 km² de cobertura vegetal natural; para los estados costeros este indicador se eleva a 73 km². Igualmente aquí, los casos extremos son críticos: Baja California, Baja California Sur, Tabasco y Tamaulipas soportan cada km² de cuerpos de agua que poseen con menos de 10 km² de bosques y selva. Por otro lado, los estados de Campeche, Yucatán, Michoacán, Sonora, Quintana Roo y Oaxaca soportan cada km² de cuerpos de agua que poseen con más de 100 km² de bosques y selvas.

Los estados con mayor cobertura espacial de asentamientos humanos son Jalisco, Veracruz, Tamaulipas, Sonora y Baja California, con más de 550 km², mientras que los que presentan menores asentamientos humanos son Colima, Tabasco, Campeche, Baja California Sur y Michoacán con menos de 200 km². Resulta ilustrativo aquí establecer la carga de agua, bosque y selva que se dispone actualmente para sustentar los asentamientos humanos en zonas costera. El caso crítico, extremo, lo presenta Baja California, con tan sólo 4 km² de agua, bosque o selva por cada km² de asentamientos humanos, le siguen Michoacán, Veracruz, Tabasco y Tamaulipas. La condición más favorable la presentan los estados de Campeche, Guerrero, Quintana Roo, Oaxaca y Chiapas, con 310, 176, 161, 142 y 131 km² de agua, bosque y selva por cada km² de asentamientos humanos, respectivamente (ver cuadro 2).

En el balance agua-bosque y soporte de asentamientos humanos, el estado de Campeche presenta la condición ambiental más favorable para sustentar el desarrollo costero, contra la condición crítica que manifiestan los estados de Baja California, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.

RIQUEZA Y RIESGO AMBIENTAL EN LAS ZONAS COSTERAS

Es indudable el papel estratégico que han representado los recursos naturales para sustentar los más de 6,000 mil años de la colonización de la zona costera por el hombre. El conocimiento cada vez más claro de su medio y los avances tecnológicos han llevado de una explotación rudimentaria a una explotación extensiva e intensiva de los recursos costeros (bióticos y abióticos).

Los servicios ambientales que los humedales costeros representan son considerables y vitales: riqueza biológica (mayor biodiversidad); barrera contra efectos de huracanes y marejadas (disminuyen los riesgos por inundaciones); retención y exportación de sedimentos y nutrientes; su conservación y protección ayudan a proteger las costas de los cambios climáticos globales (principalmente a los incrementos del nivel medio del mar).

Los humedales costeros, de acuerdo con Costanza *et al.* (1997) pueden valorarse en un 45% del costo monetario que representan el total de los ecosistemas del mundo (equivalente a 14.9 billones de dólares americanos). Este marco de referencia tiene necesariamente que establecerse como referente de lo que representa perder una hectárea de humedales. Por ejemplo, una hectárea de estuarios está valuada, según estos autores, en 22,382 dólares americanos por año mientras que las marismas y manglares en 19,004 dólares

CUADRO 2. RELACIÓN DE COBERTURAS AGUA-BOSQUE Y ASENTAMIENTOS HUMANOS POR ESTADO COSTERO EN MÉXICO

ENTIDAD FEDERATIVA	SUPERFICIE TERRITORIAL	BOSQUES	SELVAS	BOSQUE+SELVA
Estados Unidos Mexicanos	1,964,382	328,510	307,005	635,515
<i>Pacífico</i>				
Baja California	69,921	2,050	0	2,050
Baja California Sur	73,475	782	3,374	4,156
Sonora	180,723	19,977	32,722	52,699
Sinaloa	58,328	8,635	20,193	28,828
Nayarit	27,621	8,342	7,327	15,669
Jalisco	80,836	22,527	17,684	40,211
Colima	5,191	532	2,274	2,806
Michoacán	59,928	472	1,058	1,530
Guerrero	64,281	21,692	19,731	41,423
Oaxaca	95,364	33,844	28,175	62,019
Chiapas	75,634	17,711	20,316	38,027
<i>Golfo de México</i>				
Tamaulipas	79,384	6,046	7,038	13,084
Veracruz	72,815	3,148	9,185	12,333
Tabasco	25,267	25	1,850	1,875
Campeche	50,812	0	39,526	39,526
Yucatán	43,379	0	19,551	19,551
Quintana Roo	50,483	0	31,973	31,973
Total por estados costeros	1,113,442	145,783	261,977	407,760

americanos por año. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio: www.conabio.gob.mx, 3 de julio de 2001), existen 32,406 hectáreas de humedales prioritarios en los estados costeros de México, lo que representa, tomando lo expuesto por Costanza et

RELACIÓN BOSQUE+SELVA / CUERPO DE AGUA
RELACIÓN BOSQUE+SELVA+AGUA / ASENT. HUMANO

ASENTAMIENTOS HUMANOS	CUERPOS DE AGUA	RELACIÓN BOSQUE+SELVA / SUPERFICIE TERRITORIAL	RELACIÓN BOSQUE+SELVA / CUERPO DE AGUA	RELACIÓN BOSQUE+SELVA + AGUA/ ASENT. HUMANOS
12,459	10,997	32.35%	58	52
560	277	2.93%	7	4
151	398	5.66%	10	30
600	435	29.16%	121	89
492	732	49.42%	39	60
163	234	56.73%	67	98
765	1,205	49.74%	33	54
92	79	54.06%	36	31
188	11	2.55%	139	8
238	428	64.44%	97	176
440	584	65.03%	106	142
298	926	50.28%	41	131
709	1,264	16.48%	10	20
732	415	16.94%	30	17
126	432	7.42%	4	18
128	172	77.79%	230	310
447	126	45.07%	155	44
200	298	63.33%	107	161
6,329	8,016	36.62%	73	82
			[promedio]	[promedio]

al. (1997), que se tiene un capital ambiental anual de 680 millones de dólares americanos, aproximadamente 7,485 millones de pesos mexicanos.

La sobreexplotación de los recursos costeros y los diversos agentes de contaminación del agua, aire y suelo, que se manifiestan ya con consecuen-

cias globales, ponen en riesgo la sustentabilidad del desarrollo integral de las zonas costeras. De seguir así, por ejemplo, la tasa de deforestación reportada por la Semarnat en diciembre de 2001, de 600,000 hectáreas por año, implicará que algunos estados costeros pierdan una parte importante de su cubierta vegetal natural. Tal fue el caso del estado de Campeche que perdió el 100% de sus bosques (200 mil hectáreas), Yucatán el 35% (272 mil hectáreas) y Veracruz el 22% (270 mil hectáreas). De mantenerse esta tendencia, las selvas, que cubren una superficie de 30.8 millones de hectáreas a nivel nacional, desaparecerán en 58 años, mientras los bosques, que actualmente suman 32.9 millones de hectáreas, bajarán a 26 millones en 25 años y se acabarán en 127 años.

El papel que juegan la atmósfera y el océano en la regulación del clima mundial es determinante. Los cambios climáticos globales están generando modificaciones a los balances energéticos a escala mundial, aunque es muy difícil predecir cuáles son o serán sus verdaderas manifestaciones y sobre todo, sus consecuencias. Sin duda, las zonas costeras y sus ecosistemas son y serán importantes elementos moduladores de los cambios ambientales que se den.

Los cambios (incrementos) del nivel medio de mar a causa de los deshielos y la expansión térmica de los océanos, como consecuencia del calentamiento global, se manifestarán de manera gradual. En los próximos 45 años, el nivel del mar podría aumentar lo suficiente como para inundar ciudades costeras en zonas bajas y deltas de ríos. También alteraría drásticamente la producción agrícola internacional y los sistemas de intercambio, y al parecer, aunque frenáramos totalmente los agentes antropogénicos que están generando los cambios globales, éstos ya no se detendrán, al menos en sus primeras manifestaciones. En este sentido, se prevé una elevación del nivel del mar de entre 15 cm y 95 cm para el año 2100, teniendo presente que una crecida de sólo 15 cm tendría consecuencias devastadoras en muchas zonas costeras, las cuales son extremadamente vulnerables a este cambio físico. Se estima que el aumento de un metro en el nivel del mar puede causar pérdidas de tierras de 0.05% en Uruguay, 1% en Egipto, 6% en los Países Bajos, 17.5% en Bangladesh, y hasta de un 80% en el Atolón Majuro de las Islas Marshall (Gallardo 1997). En el caso de la zona costera de Tamaulipas, mucha de la actual infraestructura portuaria quedaría bajo condiciones inoperantes ante este escenario.

Otros efectos del incremento del nivel de mar en zonas costeras serían: inundaciones y erosión costera de mayores proporciones, daño a sectores económicos clave, riesgo a la salud humana, pérdida de valiosos ecosistemas

costeros como matorrales de manglares, arrecifes de coral y extinción de especies marinas.

CASO DE ESTUDIO: ZONAS COSTERAS DEL SUR DE TAMAULIPAS, MÉXICO

La Zona costera tamaulipeca (ZCT) está integrada por un litoral de 430 km de longitud aproximadamente, conformada por importantes cuerpos de agua costeros como son: Laguna Madre, Laguna de Morales, Laguna de San Andrés, Marismas de Altamira y por el Sistema Lagunario de la Desembocadura del río Tamesí y del río Pánuco. La costa está constituida en su mayoría por playas arenosas y dunas antiguas, con una plataforma continental muy extendida y suave, característica de la zona central del Golfo de México. La parte continental de la ZCT está conformada básicamente por tierras bajas modeladas principalmente por los ríos Bravo (al norte de ZCT), Soto La Marina (en la parte central de la ZCT) y Pánuco (al sur de ZCT). Las tierras bajas que conforman la porción sur de la ZCT están principalmente influidas por el litoral marino, conformando extensas planicies costeras y marismas.

La parte norte de la ZCT es frontera con Estados Unidos de Norteamérica, en particular, con el estado de Texas –franja delimitada por el río Bravo-, y al sur colinda con el estado de Veracruz –frontera delimitada el río Pánuco-. La ZCT queda bajo la jurisdicción de siete municipios del estado de Tamaulipas que son, de norte a sur: Matamoros, San Fernando, Soto La Marina, Aldama, Altamira, Cd. Madero y Tampico (éste último, ribereño), (ver figura 1).

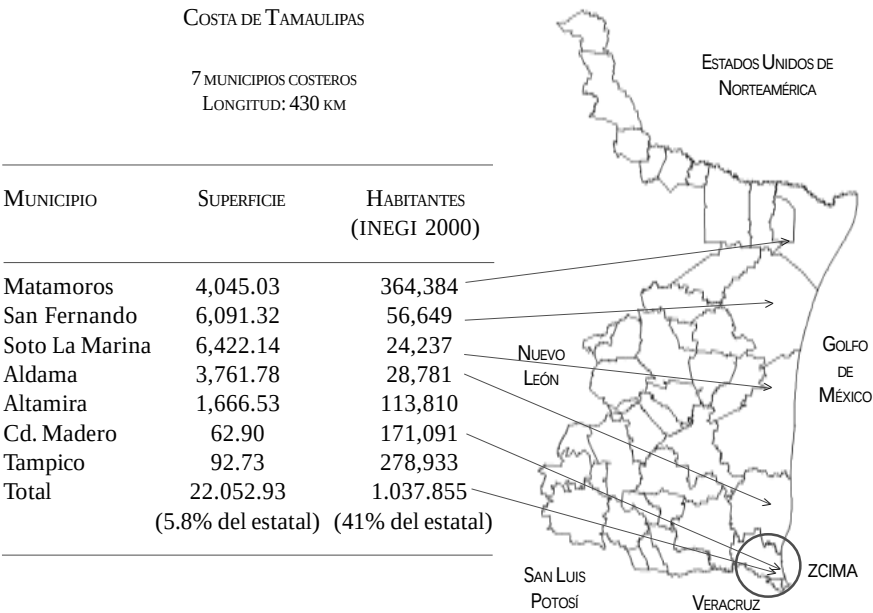
REGIÓN ZONA CONURBADA TAMPICO-MADERO-ALTAMIRA

Actualmente, en el sur de Tamaulipas se da la segunda concentración de población y desarrollo urbano más importante del estado, integrada por tres municipios que dan nombre a la zona conurbada: Tampico, Madero y Altamira (ZCTMA). De acuerdo con los resultados preliminares de XII Censo General de Población y Vivienda 2000, la ZCTMA cuenta con el 22% de la población estatal, equivalente a 604,291 habitantes. Igualmente, la ZCTAM alberga el segundo desarrollo industrial del estado, concentrado principalmente en el municipio de Altamira y Cd. Madero.

El desarrollo industrial y portuario que se ha dado durante los últimos 15 años en el sur de Tamaulipas ha tenido asociado un crecimiento econó-

mico, urbano, poblacional, turístico y comercial que convierte a esta región en un polo de desarrollo de proyección nacional e internacional.

FIGURA 1. MUNICIPIOS COSTEROS DE TAMAULIPAS



Un aspecto importante en el desarrollo de la ZCTMA son los puertos comerciales de Tampico e industrial de Altamira, que operan desde principios de siglo el primero, y desde 1985, el segundo.

Sin duda, la acción que más ha contribuido al desarrollo y proyección actual de la ZCTMA es el complejo industrial y portuario inducido por el Puerto Industrial de Altamira (PIA), actualmente denominado Complejo Industrial Portuario Altamira (CIPA).

El panorama político de la ZCTMA es complejo, pues los tres municipios, que la integran pueden estar gobernados por presidentes municipales

de distintos partidos políticos (como lo es en la actualidad). Lo anterior ha generado, por ejemplo, que acciones en beneficio del desarrollo social y económico de la ZCTMA se vean frenadas. Un caso concreto es el relleno sanitario conurbano, proyecto urgente en la zona y que lleva más de nueve años en su gestión, por lo que no hay acuerdo entre las autoridades de los tres municipios. El principal vector de presión y deterioro ambiental en la ZCTMA es, sin duda, la actividad industrial y el desarrollo urbano anárquico asociado (Jiménez *et al.* 2001).

Actualmente, es el municipio de Altamira el que resiente la mayor presión y el ambiental más serio de la ZCTMA. Esto se debe, entre otras cosas, al agotamiento de la reserva territorial del municipio de Tampico (94%) y de Cd. Madero (89%) (INEGI 2000).

El municipio de Altamira ha tenido un incremento poblacional de 1980 al 2000 de 350%, mientras que Tampico y Madero sólo de 10% y 37% durante el mismo periodo, respectivamente. Altamira mantiene una de las tasas de crecimiento poblacional más altas del país (5.8%), lo que ha generado que cerca del 80% de sus asentamientos urbanos no cuenten con servicios públicos básicos como son agua potable y drenaje, principalmente (INEGI 2000).

El municipio de Altamira cuenta con un territorio de 1,657 km² y con una reserva territorial para la promoción de su desarrollo equivalente al 70% de su superficie (INEGI 2000). Además, posee recursos naturales valiosos para esto, como lo es la disponibilidad de agua, línea de costa, infraestructura de comunicaciones y un polo de desarrollo industrial y portuario de gran relevancia nacional, como es el Complejo Industrial Portuario Altamira (CIPA).

Las unidades económicas del tipo industrial, manufacturero, turístico, comercial y financieros son las actividades predominantes en la ZCTMA. La infraestructura con que cuenta la ZCTMA favorece el desarrollo económico y comercial, y también el acceso a los centros turísticos y la facilidad de comunicarse al interior del país y a otros países. La red carretera, como elemento de integración regional, ha permitido que más del 50% del tráfico comercial entre México y Estados Unidos se realice a través de los puentes internacionales. La zona conurbada cuenta con la carretera federal No. 180 que comunica la ciudad de Tampico hacia el norte con Matamoros, pasando por Altamira, Estación Manuel, Aldama, Soto la Marina, San Fernando, y al sur con el estado de Veracruz. La carretera interestatal No. 81 comunica con Cd. Victoria, y la carretera federal No. 70 con Cd. Valles S.L.P. Hay un aeropuerto internacional en Tampico así

como dos puertos de altura, Tampico y Altamira.

Esta región se localiza en la parte sur de la franja costera, que es la de mayor importancia económica ya que cuenta con un corredor industrial muy extenso, y posee toda una infraestructura comercial y de servicios para satisfacer las necesidades prioritarias del corredor. Este desarrollo industrial, comercial y turístico ha generado un crecimiento de la tasa de crecimiento poblacional en los últimos años. Se considera también como una ventana comercial hacia el *hinterland* extranjero y nacional, ya que cuenta con dos puertos de altura, uno de tipo comercial y el otro de tipo industrial, así como con todos los servicios de transporte terrestres y aéreos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los indicadores de desarrollo para la zona costera de México presentan situaciones contrastantes y algunas de ellas son críticas. El estado de Baja California tiene la menor capacidad de soporte de su desarrollo costero por un déficit de sustentabilidad de sus fuentes de agua respecto a su disponibilidad de bosques. Campeche presenta el caso contrario, con mayor capacidad de sustentar sus recursos de agua al tener mayor cobertura de selvas, pero desafortunadamente es uno de los estados con elevados índices de deforestación.

Respecto a las consecuencias que trae consigo el incremento del nivel del mar para las costas tamaulipecas y en general para las costas mexicanas, pueden implementarse acciones para asimilar el aumento del nivel del mar, como políticas de adecuación de infraestructura portuaria y de seguridad ante peligros por inundación, que deberán ser acciones prioritarias que los gobernantes en turno (de aquí y para los próximos 50 años) les corresponderán ir implementando sistemáticamente para minimizar estas condiciones de riesgo ambiental.

El valor de los servicios ambientales que prestan los ecosistemas costeros tendrá que ser garantizados a través de acciones de control del deterioro y pérdida de su calidad ambiental, sobre todo ante externalidades e impactos ambientales sinérgicos y acumulativos.

El manejo integral de la zona costera, bajo el marco de planificación de un ordenamiento ecológico, puede ofrecer una excelente alternativa para enfrentar las expectativas de desarrollo sustentable de las costas mexicanas. Puede ser un marco de referencia para dar solución a los actuales conflictos ambientales al considerar acciones y medidas sociales, culturales, legales, estructurales, financieras, económicas e institucionales.

La ZCTMA enfrenta problemáticas ambientales que, en algunos casos

(basura y aguas residuales, principalmente), han superado la capacidad de atención de las autoridades gubernamentales correspondientes en sus tres niveles (federal, estatal y municipal). El aumento natural de la población, aunado al acelerado flujo de la inmigración producto del crecimiento económico, industrial y portuario, hace necesaria la formulación y aplicación de acciones derivadas de políticas ambientales normativas. Solo así, se podrán enfrentar con éxito los múltiples problemas derivados de las deficiencias en la dotación de suelo urbano, infraestructura, vivienda, equipamiento y servicios en general, en el marco de una planificación ambiental que promueva el desarrollo integral y sustentable de la región.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro profundo aprecio a la L.C.C. Gabriela Hernández Mendoza, a la Dra. Esperanza Martínez Cano y al P.I. Aarón Martínez por su ayuda y comentarios en la edición y revisión de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ceruti, C.N. (2002). *Ríos y praderas; los pueblos del litoral*. Argentina: Sudamérica 2002. 48 pp.
- Costanza, R., Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farber, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Sutton y Marjan van den Belt (1997). The value of the world's ecosystem services and nature capital. *Nature* 387: 253-260.
- Ducci, Maria Elena 1995. *Introducción al urbanismo. Conceptos básicos*. Ed. Trillas México. 94 pp.
- Gallardo, M. 1997. *Cambio Climático Global*. Tesis de doctorado. Universidad de Concepción, Centro Eula-Chile, Chile. 27 pp.
- INEGI 2000 «XII Censo General de Población y Vivienda. Tabulados Básicos». Tamaulipas, México.
- Jiménez, S., H. Worbis, M. Cervantes y J. Reynoso 2001. Plan Parcial de Ordenamiento Ecológico del Puerto Industrial de Altamira, Tam. Informe Técnico Final. Administración Portuaria Integral de Altamira, Tamaulipas, México. 324 pp.
- Timmerman, P. 1997. Ciudades costeras: una nueva agenda. Simposio de Ciudades Costeras del Cono Sur, June 26-28, 1997. Instituto de Estudios Ambientales, Federación Internacional de Institutos de Estudios Avanzados (IFIAS), Universidad de Toronto, Canadá.

INTERACCIONES ECOLÓGICAS ESTUARIO-MAR: MARCO CONCEPTUAL PARA EL MANEJO AMBIENTAL COSTERO

*Alejandro Yáñez-Arancibia, Ana Laura Lara-Domínguez,
Patricia Sánchez-Gil y John W. Day*

INTRODUCCIÓN

La costa mexicana del Golfo de México soporta actividades humanas que se incrementan en variedad e intensidad. Esta costa es significativa en términos de sus valores económicos, sociales y ambientales, incluyendo: actividades portuarias, producción pesquera, agropecuaria e industrial petrolera, turismo, expansión urbano-comercial y ciclaje de contaminantes. Muchos de sus usos y recursos implican intereses en conflicto debido a su carácter de “propiedad común” y a que los efectos de las actividades humanas se resienten de preferencia en ecosistemas lagunares-estuarinos, que son ambientes de depósito previo a la intrusión al mar.

En muchos casos las prácticas de manejo costero están marcadas por algunas de estas actividades que son reactivas o coyunturales, *ad hoc* y por lo general no integradas con los diferentes niveles de gobierno o usuarios, dando como resultado propuestas de manejo fragmentado, particularmente a escalas subregionales (Cicin-Sain y Knecht 1998, Zárate Lomelí y Yáñez-Arancibia 2003). Con un enfoque de ecología funcional, el manejo exitoso del sistema lagunar-estuarino, ambientes clásticos de depósito costero, a la vez de “áreas de mezcla” de las aguas, comienza por la comprensión de las interacciones ecológicas estuario-mar, y requiere que la toma de decisiones se haga basado en sus características físicas y procesos biológicos, integran-

do “*pulsos ecológicos estacionales*” con el desarrollo social y económico de las costas.

En el caso de grandes extensiones latitudinales (ca. 3,200 km desde Tamaulipas hasta Quintana Roo) que contiene numerosos tipos de ambientes costeros, la gestión ambiental y planificación (*i.e.*, Semarnat, INE, Profepa, CNA) se enfrenta cotidianamente con el dilema de formular políticas y prácticas de manejo con datos ambientales fraccionados y de difícil acceso, o disponibles solamente para un número restringido de ecosistemas, al tiempo que no hay una comprensión integrada de macro/meso escala de la estructura funcional de las costas del Golfo, en sus interacciones estuario-mar y los procesos que modulan esas interacciones desde las cuencas hidrológicas hasta las plumas estuarinas sobre la plataforma continental nerítica en el mar (figura 1).

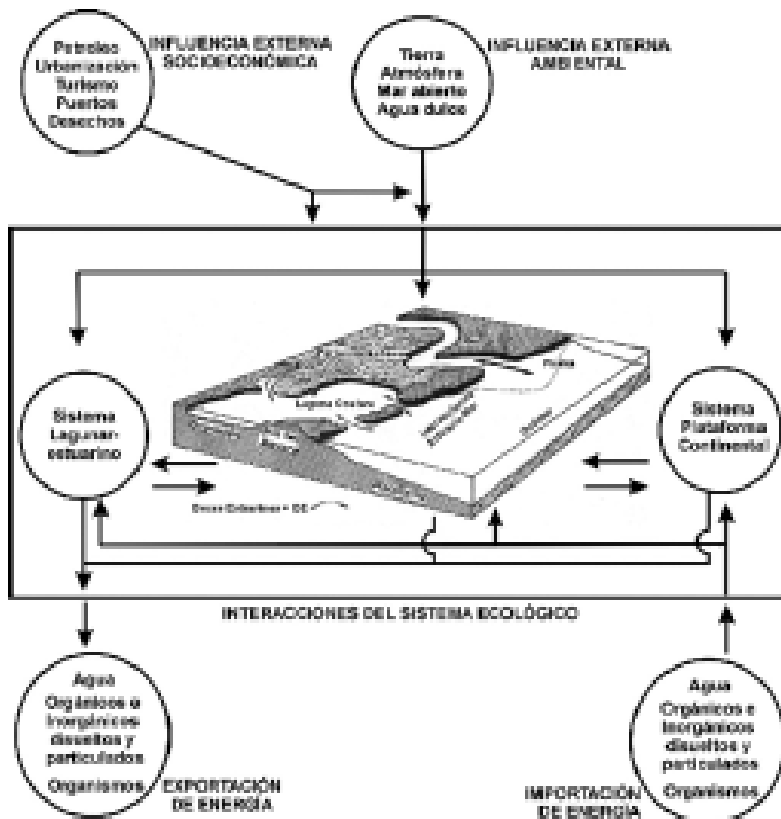
Por lo tanto, de acuerdo con la figura 1 y su explicación, hablar de interacciones ecológicas costeras implica hablar de conexiones entre la tierra, el mar, la atmósfera y las aguas epicontinentales; entender la estructura funcional e interdependencia recíproca entre los componentes principales de la zona costera; comprender el vínculo entre los humedales de la llanura costera y la plataforma continental a través de las bocas estuarinas e interpretar el sentido ecológico de la zona de mezcla y la magnitud de la exportación *versus* la importación de materiales y energía.

En este capítulo se mostrará el valor que tiene el entendimiento de la estructura funcional de la zona costera del Golfo de México a través de la comprensión geomorfológica, climático-meteorológica, hidrodinámica y biológica, de ecosistemas representativos pero contrastantes, lo cual es fundamental en lo que respecta a la gestión ambiental y las prácticas de manejo basadas tanto en los atributos físicos y biológicos integrados (por ejemplo, descarga fluvial, estacionalidad climática, biodiversidad, metabolismo estuarino, entre otros), como procesos ecológicos en pulsos estacionales, que condicionan la productividad natural de la zona costera (figura 2). El objetivo central es comparar procesos ecológicos en un gradiente latitudinal, entre humedales oligo y meso-halinos y la plataforma continental, destacando la función de las bocas estuarinas en las interacciones ecológicas estuario-mar.

DEFINICIONES COMPACTAS PARA COMPRENDER INTERACCIONES ECOLOGICAS ESTUARIO—MAR

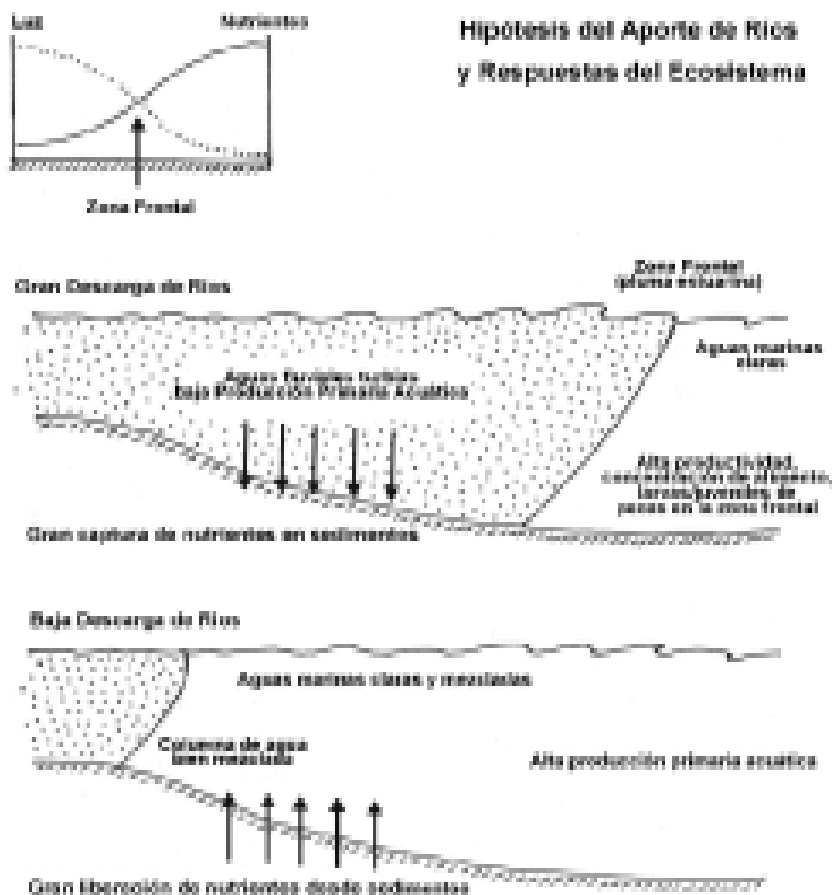
Para a) contar con un diagnóstico ambiental, y con fines de manejo dirigido al sector político y a los tomadores de decisiones, las fronteras de áreas

FIGURA 1. MODELO CONCEPTUAL QUE ILUSTR A LOS COMPONENTES QUE FORMAN PARTE DE LA ZONA COSTERA COMO ECOSISTEMA. LAS FLECHAS SEÑALAN EL SENTIDO DE LAS INTERACCIONES. LAS “BOCAS ESTUARINAS” TIENEN LA PRINCIPAL FUNCIÓN EN LAS INTERACCIONES ECOLÓGICAS ESTUARIO-MAR. LAS ISLAS DE BARRERA ESTÁN INTERRUMPIDAS POR BOCAS ESTUARINAS PERO TAMBIÉN EL ENCUENTRO DE LOS RÍOS Y EL MAR CONSTITUYE UNA BOCA ESTUARINA. EN ESTE SUBSISTEMA OCURRE ACTIVO INTERCAMBIO DE AGUA, CONTAMINANTES, NUTRIENTES, MATERIA ORGÁNICA, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS. LA CONECTIVIDAD INVOLUCRA PROCESOS DE TRANSPORTE Y MEZCLA, EXTENSIÓN DE LA PLUMA ESTUARINA, MOVIMIENTOS MIGRATORIOS, VARIACIONES EN BIODIVERSIDAD Y ABUNDANCIA, CAMBIOS ONTOGENÉTICOS EN CICLOS BIOLÓGICOS, DINÁMICA TRÓFICA, CAMBIOS FÍSICO-QUÍMICOS, CAMBIOS EN PRODUCTIVIDAD



Modificado de Yáñez-Arancibia (1986).

FIGURA 2. HIPÓTESIS DEL APORTE DE RÍOS Y RESPUESTA DEL ECOSISTEMA COSTERO. LARVAS, JUVENILES Y ADULTOS DE PECES Y MACROINVERTEBRADOS UTILIZAN EL SISTEMA DE AGUAS ABIERTAS Y PROTEGIDAS Y EL GRADIENTE DE LA ZONA FRONTAL EN LA PLUMA ESTUARINA, COMO HÁBITATS ESENCIAL, ANTES Y DESPUÉS DE SUS MOVIMIENTOS HACIA LOS HUMEDALES O HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL. LOS FACTORES DE FUERZA AMBIENTAL Y SUS EXTREMOS CONDICIONAN EL FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS SISTEMAS LAGUNARES-ESTUARINOS



costeras involucradas deben ser definidas idealmente por la extensión del área de interacciones relevantes, incluyendo factores físicos, biológicos, económicos, sociales, y jurídico-normativos, entre otros. Para los propósitos de este capítulo, se presentan definiciones muy compactas para comprender interacciones ecológicas estuario-mar: a) zona costera, b) estuario, c) laguna costera, d) sistema lagunar-estuarino, e) ambiente clástico de depósito, f) facies, g) pluma estuarina, y h) pulsos ambientales.

Zona costera. Debe establecerse un criterio funcional por lo tanto consideramos a la zona costera como una amplia ecoregión con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas donde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre el continente, el agua dulce, la atmósfera y el mar adyacente. Incluye por lo general la planicie costera, la cuenca baja de ríos, humedales hidrófitos, manglares, selva baja inundable, dunas, lagunas costeras, estuarios, playas y la pluma estuarina sobre la plataforma continental nerítica. En la práctica y para propósitos de manejo en un marco legal, tanto México como Estados Unidos incorporan municipios y condados como frontera geográfico-política hacia el continente, y la plataforma continental como extensión hacia el mar. En México la Zona Federal Marítimo Terrestre (Zofemat) de 20 m queda incluida como una pequeña franja dentro de este concepto de zona costera. (Chua y Pauly 1989, Chua y Scura 1992, Yáñez-Arancibia 1999, 2000, Yáñez-Arancibia y Day 2003).

Llanura costera. La llanura o planicie costera es el conjunto de atributos naturales a nivel de ecosistemas y recursos que se ubican geográficamente en las planicies próximas al litoral, adentrándose tierra adentro hasta donde la fisiografía plana y la vegetación palustre y lacustre están bien representada, su cobertura está modulada por el efecto de inundaciones naturales estacionales. Esta subregión costera: a) contiene importantes humedales, b) estructura diversos hábitats críticos de flora y fauna específicas, c) retiene el flujo de agua y recarga el manto freático, d) modula el balance entre humedales dulceacuícolas y salobres dependiendo del régimen de mareas y del volumen de descarga de agua dulce, e) amortigua la cuenca baja de los ríos antes de llegar al mar, f) actúa como filtro controlando la calidad del agua, reteniendo nutrientes, sedimentos, contaminantes y disminuyendo la eutroficación, y g) sostiene importantes actividades económicas en la zona costera. (Yáñez-Arancibia 1986; Day *et al.* 1989).

Estuario. Hidrodinámicamente, es una entrada de mar que inunda un valle de río, donde las aguas dulces y marinas se mezclan y diluyen. Es un

encuentro de aguas epicontinentales que genera “condiciones estuarinas”. Desde una perspectiva geológica es un ambiente clástico de depositación costera que recibe sedimentos fluviales y marinos, determinando facies influenciadas por la marea, el oleaje y la descarga de ríos. En la comprensión integrada de un estuario, los gradientes y los procesos de dilución y mezcla de aguas (hidrodinámica) se complementan con los gradientes de ambientes sedimentarios (facies de geología ambiental) (Harris *et al.* 2002, Harris y Heap 2003, Dalrymple *et al.* 1992, Boyd *et al.* 1992, Officer 1976, Kjerfve 1978, Dyer y Orth 1994, Yáñez-Arancibia 1987). Utilizando esta definición oceanográfica, los estuarios y los deltas no se diferencian unos de otros, aunque presentan variaciones evidentes respecto de sus procesos físicos (Lauff 1967, Yáñez-Arancibia 1987, David y Kjerfve 1998).

Laguna costera. Geomorfológicamente, es una depresión costera por debajo del nivel medio de las mareas más altas, comunicada con el mar de manera permanente o efímera y que presenta algún tipo de barrera; con o sin aporte fluvial y con facies sedimentarias condicionadas por la marea, el oleaje, las corrientes litorales y la descarga de ríos (Lankford 1977, Lasserre y Postma 1982, Bird 1968, Yáñez-Arancibia 1987, Boyd *et al.* 1992, Kjerfve 1994, David y Kjerfve 1998, Harris *et al.* 2002). Por el encuentro de aguas dulces y marinas, en esa depresión geomorfológica se presentan “condiciones estuarinas”.

Sistema lagunar-estuarino. Ecológicamente, es una depresión conectada con la llanura costera y el mar; zona de mezcla e interacciones hidrodinámicas y geomorfológicas, donde prevalecen gradientes de productividad primaria acuática, salinidad, turbidez, facies sedimentarias y biodiversidad, en presencia de gran variabilidad de “pulsos estacionales”, condicionados por vientos, descarga de ríos, mareas y corrientes litorales. La flora y la fauna están muy adaptadas morfofisiológicamente a la variabilidad ambiental y a la productividad natural, y se tipifican ciclos biológicos programados estacionalmente que interactúan entre los humedales oligohalinos y el océano adyacente (Day y Yáñez-Arancibia 1982, Yáñez-Arancibia 1987, Day *et al.* 1989, Kjerfve 1994).

Ambiente clástico de depósito costero. (ACDC) Se define como área de la costa donde se acumulan los sedimentos provenientes de fuentes terrestres o marinas (Kjerfve 1994, Harris y Heap 2002). En este capítulo se excluyen las costas rocosas, los acantilados erosivos, las playas y las dunas. Se reconocen dos tipos principales: ACDC-1 aquellos que reciben un gran aporte de sedimentos y progradan activamente hacia el mar (*i.e.*, deltas, llanuras de inundación, bajos de mareas), y ACDC-2, aquellos con pequeño suministro de

sedimentos que exhiben características geomórficas asociadas con el nivel del mar Holocénico y tienen completamente lleno su paleovalle (Bird 1968, Boyd *et al.* 1992, Harris *et al.* 2002). La variación del nivel medio del mar, la cantidad relativa de aporte sedimentario terrestre/marino, y el tamaño de la cuenca receptora condicionan la variabilidad y persistencia de las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia y Day 1982, 1988).

Facies. Se definen como un conjunto de atributos geomórficos y sedimentológicos que son elementos diagnósticos de un ambiente sedimentario y sus procesos físicos, químicos y biológicos. Por sí mismas, las facies individuales tienen poco valor interpretativo. Sin embargo, cuando se analizan en combinación con diferentes ambientes sedimentarios, en escalas laterales y verticales, su fuerza interpretativa es mucho mayor y el conjunto de facies sugiere generalizaciones para cierto tipo de ambientes de depósito (Yáñez-Arancibia y Day 1982), *i.e.*, llanuras de inundación intermareales, bancos de arena, marismas salobres, manglares y selvas inundables, humedales con pastizales, cuencas centrales lodosas, islas de barrera, bocas estuarinas y deltas de mareas flujo-reflujo. Más aún, desde una perspectiva de manejo, es importante enfatizar que el concepto de “facie” es utilizado en este capítulo como análogo del conjunto de factores en un “hábitat” ecológico, en la mayoría de los ambientes clásticos de depósito costero, en el sentido de Day *et al.* (1989, 1997) y Kjerfve (1994).

Pluma estuarina. Se define como el área de influencia de las “condiciones estuarinas”, extendida sobre la plataforma continental. Se caracteriza por salinidades menores a 35, alta turbidez, gran disponibilidad de orgánicos e inorgánicos disueltos y particulados, y en la zona frontal se genera la mayor producción primaria acuática de la plataforma continental. Su extensión y estacionalidad dependen de la amplitud y dinámica de las bocas estuarinas, descarga de ríos, mareas, corrientes litorales, y régimen de vientos (figuras 2 y 5A). Esta pluma tiene gran correlación con sistemas deltáicos y su productividad primaria es un indicador de la sustentabilidad ambiental de los deltas y su correlación con pesquerías demersales (Pauly 1986, Day *et al.* 1997, Cardoch *et al.* 2002).

Pulsos ambientales. Son eventos que tienen una distribución jerárquica expresada en la estacionalidad de aportes externos e internos tanto de energía como de materiales en la zona costera. Estos pulsos no son constantes, pero ocurren como aportes que tienen lugar a diferentes escalas temporales y espaciales (cuadro 1, figura 4). Estos eventos de pulsos producen beneficios sobre diferentes escalas ecológicas y están integrados a la estructura

funcional de la zona costera; por ello los *pulsos ambientales* son *pulsos ecológicos*. La mayor importancia de estos eventos es en las grandes depositaciones sedimentarias en sistemas costeros y los grandes cambios espaciales en geomorfología. Los eventos más frecuentes tienen un papel muy destacado para mantener el gradiente salino, aportar nutrientes, estabilizar los hábitats, regular procesos biológicos, y condicionar el reclutamiento de especies dependientes o asociadas a condiciones estuarinas (Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Yáñez-Arancibia *et al.* 1991, Day *et al.* 1997, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). Los sistemas lagunares-estuarinos siempre han estado frente a cambios naturales de pulsos diarios (*i.e.*, productividad), diarios (*i.e.*, mareas), decadales (v. gr. El Niño), o más largos (*i.e.*, ascenso del nivel del mar), y más recientemente la acción antrópica que induce una presión adicional con pulsos de sedimentos, enriquecimiento de nutrientes, hipoxia y efecto invernadero.

EL MOLDE DEL ESCENARIO AMBIENTAL

Las lagunas costeras y los estuarios han sido parte del registro geológico, al menos durante los últimos 200×10^6 años (Schroeder y Wiseman 1999). Sin embargo, los sistemas lagunares-estuarinos modernos son de perfiles recientes formados en los últimos 5,000 a 6,000 años durante la estabilización del periodo interglacial en el Holoceno medio, a lo cual siguió la extensa elevación del nivel del mar al final del Pleistoceno (Kjerfve 1978, 1994). La fisiografía e hidrodinámica de estos sistemas es muy variable, y el Golfo de México es una expresión clara de la organización biológica costera condicionada por la geomorfología (Bianchi *et al.* 1999; Kumpf *et al.* 1999; Yáñez-Arancibia 2003 a). La formación de la cuenca del Golfo de México se inició en el Triásico tardío (alrededor de 200×10^6 años).

Desde el Holoceno los sedimentos estuarinos se derivan de: a) fuentes fluviales, b) erosión de la línea de costa, c) fuentes marinas, d) fuentes eólicas, y e) fuentes biológicas. La composición y distribución de las facies sedimentarias está en función: a) del tipo y cantidad del material sedimentario disponible para depositación, b) procesos hidrodinámicos, y c) la geometría de la cuenca. El conjunto de estos ambientes sedimentarios, normalmente está asociado con las características de la barrera arenosa que los protege del mar, la boca estuarina que comunica las aguas estuarinas con el océano, la dinámica del influjo de ríos, normalmente localizados en la cabecera del sistema estuarino, y el borde somero a lo largo de la línea de costa

CUADRO 1. ESCALA TEMPORAL DE LOS EVENTOS Y PULSOS EN SISTEMAS DELTÁICOS, Y EFECTOS DE IMPACTOS ECOLÓGICOS EVIDENTES APLICADOS AL SISTEMA GRJALVA/USUMACINTA (PCdGU y LTdU) Y AL DELTA PAPALOAPAN (LAdP)

EVENTO	ESCALA DE TIEMPO	IMPACTOS
Cambios drásticos en el curso del río	1,000 años	Formación de lóbulos deltáicos. Avance neto de la masa continental deltáica.
Grandes inundaciones del río	50-100 años	Iniciación drástica de canales. Formación dispersa de hondonadas y fisuras. Grandes depositaciones sedimentarias.
Grandes tormentas	5-20 años	Grandes depositaciones sedimentarias. Erosión del litoral deltáico. Aumento de productividad acuática y de los humedales. Aumento de productividad acuática marina adyacente.
Flujo promedio del río	Anual	Aumento depositaciones sedimentarias Disminución de la salinidad. Balance hidráulico del delta. Aporte de nutrientes. Integridad ecológica de hábitats. Inmigración/emigración de fauna estuarina. Aumento de producción primaria y secundaria en el delta y mar adyacente.
Eventos normales de tormenta (frentes fríos y tormentas tropicales)	Semanal	Aumento de la depositación. Erosión de bordos y derrame del río. Erosión del litoral deltáico. Transporte de organismos. Transporte neto de materiales.
Mareas	Diarias	Drenaje de la productividad del humedal. Balance hidráulico del delta.

donde ocurre la erosión litoral.

Generalmente la circulación estuarina es el resultado de cuatro procesos dominantes: a) suministro neto de agua dulce al sistema, b) el *momentum* local transferido por los vientos, c) la variabilidad de la boca estuarina causada por procesos oceánicos costeros y d) las corrientes litorales combinado con mareas y oleaje (Kjerfve 1978, 1994).

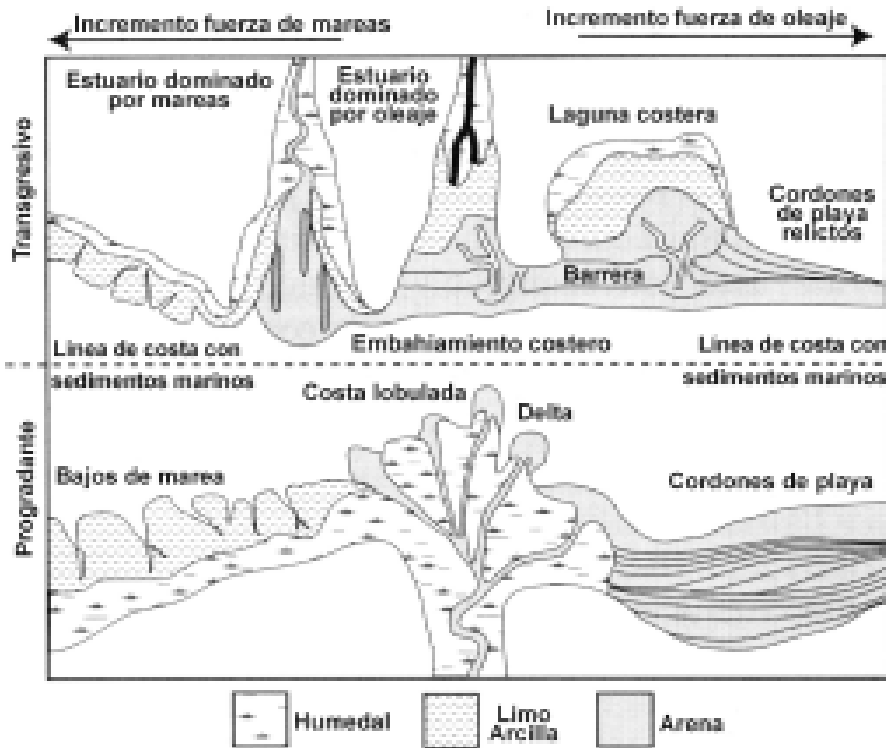
La geomorfología general de los ambientes clásticos de depósito costero resulta afectada por la importancia relativa del oleaje y las mareas, que controlan la cantidad, naturaleza, distribución y transporte de sedimentos a lo largo de la costa. Un tren de oleaje significativo genera transporte activo de sedimentos a lo largo de la costa, produciendo perfiles sedimentarios paralelos de tipo “*spits*”, barras arenosas o islas de barrera. En contraste, las mareas significativas asociadas con fuertes corrientes de mareas generalmente producen perfiles sedimentarios normales en la costa incluyendo bancos arenosos alargados, amplias bocas estuarinas, vigorosos canales distributarios deltáicos, y amplias llanuras de inundación intermareales. De esta forma, es posible distinguir entre costas dominadas por oleaje (i.e., deltas dominados por oleaje, estuarios dominados por oleaje, entrantes de mar hacia la planicie costera, y lagunas costeras); y costas dominadas por mareas; i.e., deltas dominados por mareas, estuarios dominados por mareas, y deltas mareales progradantes (figura 3).

DIAGNOSTICO Y PERFIL DE ECOSISTEMAS REPRESENTATIVOS

En el gradiente latitudinal en la costa atlántica de México, desde Tamaulipas (en la frontera con los EE.UU.) hasta Quintana Roo (en la frontera con Belice), se pueden observar contrastes geomorfológicos e hidrodinámicos los cuales están representados por ocho sistemas lagunares-estuarinos. De norte a sur: 1) Sistema Laguna Madre, Tamaulipas (LMT), 2) Sistema Laguna Tamiahua, Veracruz (LTV), 3) Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan, Veracruz (LAdP), 4) Sistema Pantanos de Centla delta Grijalva-Usumacinta, Tabasco (PCdGU), 5) Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta, Campeche (LTdU), 6) Sistema Laguna Celestún, Yucatán (LCY), 7) Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos, Quintana Roo (LAPQ), 8) Sistema Lagunar Sian Ka án, Quintana Roo (LSQ) (cuadro 2, figura 4).

En cuatro sistemas prevalece la corriente litoral como el mayor factor de fuerza ambiental (i.e., LMT, LTV, LAPQ y LSQ), lo cual se infiere por la configuración de la línea de costa, el sentido progradante de las islas de

FIGURA 3. DIAGRAMA DE AMBIENTES DE DEPÓSITO COSTERO. LA FUERZA AMBIENTAL DEL OLEAJE EROSIONA LOS CORDONES DE PLAYA. LA FUERZA AMBIENTAL DE LAS MAREAS EROSIONA LOS BAJOS DE MAREA. UNA COSTA DE DELTA LOBULADA ES LA IMAGEN CONTRARIA DEL EMBAHIAMIENTO DE UN ESTUARIO DOMINADO POR OLEAJE



Fuente: Según Boyd *et al.* 1992.

barrera en el caso de LMT y LTV, y la disposición paralela a la costa de las líneas batimétricas de la laguna arrecifal en el caso de LAPQ y LSQ, representado por la línea de puntos en los diagramas del cuadro 2. Hay tres integrantes claros de sistemas dominados por ríos (i.e., LAdP, PCdGU, y LtdU) y un sistema dominado por mareas (i.e., LCY). La distribución de facies en los sistemas dominados por mareas está organizada en bancos

arenosos mareales, dunas activas de poca altura, y llanuras intermareales arenosas colonizadas por halofitas. En los sistemas dominados por oleaje se reconocen al menos tres facies distintivas: **1)** barrera-boca mareal-delta mareal de flujo-reflujo; **2)** cuenca central-zona de baja energía, y **3)** bahía frontal del delta hacia la pluma estuarina. Solamente LTdU pudiera acercarse a este modelo en un momento restringido del año (*i.e.*, Nortes, según Yáñez-Arancibia y Day 1982, 1988). La extensión espacial relativa de cada una de estas facies varía entre sistemas, dependiendo de la tasa relativa del poder del oleaje sobre la marea y en función del aporte relativo de sedimentos marinos vs. fluviales, la forma y profundidad de la cuenca y su grado de asolve. Ninguno de los ocho sistemas diagnosticados en el cuadro 2 está dominado por el oleaje. Por el contrario, largos canales de marea a menudo contienen bancos de arena y dunas móviles, pero se distinguen de los dominados verdaderamente por mareas por la ausencia de distributarios.

El Sistema Laguna Madre Tamaulipas (LMT). Es característico por su extensa barrera arenosa con múltiples bocas de conexión y escurrimiento de ríos ausente o muy localizado y escaso. La forma y batimetría está modificada por la acción de la marea, la corriente litoral es una fuerza ambiental importante, su tasa de evaporación es muy alta, y la precipitación pluvial es baja, por tanto, es predominantemente hipersalino y de baja productividad primaria acuática (cuadro 2, figura 4). Su déficit de agua es de más de 500 mm/día, la trampa de sedimentos es baja y el tiempo de residencia de las aguas es largo, razón por la cual su interacción ecológica con el océano es muy limitada. Su origen geológico (Lankford 1977, Tunnell y Judd 2002) se debe a un frente de barrera en la plataforma interna somera modulada por la corriente litoral y los vientos (cuadro 2).

El Sistema Laguna Tamiahua Veracruz (LTV). Es característico por su origen de barrera cuspada en la plataforma interna formada por sedimentación de sus barras apoyadas en arrecifes coralinos relictos (Lankford 1977). Presenta dos bocas estuarinas, la del norte, influenciada de manera relativa por la cuenca baja del río Pánuco; y la del sur, por la cuenca baja del río Tuxpan (cuadro 2, figura 4). La forma y batimetría están moduladas por principalmente corrientes litorales, en efecto sinérgico con vientos y mareas. Su déficit diario de agua y rango de precipitación pluvial la acerca más a las condiciones de LMT, lo cual se refleja en el perfil de hábitats y modelo trófico (cuadro 2, figura 4). La trampa de sedimentos es de moderada a baja y el tiempo de residencia de las aguas es largo, por lo cual su interacción ecológica con el océano es limitada (cuadro 2).

Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan Veracruz (LAdP). Es característico en su formación por presentar sedimentación terrígena diferencial en una depresión marginal de carácter tectónico (Lankford 1977). Se conecta con el mar formando una boca estuarina; la barrera física y la cuenca central están modificadas en su forma y batimetría por lagunas deltáicas y sublagunas, reflejo de un delta progradante, modulado por ríos como la principal fuerza ambiental. Por su dinámica pluviométrica, descarga de agua dulce y evapotranspiración, se acerca bastante al perfil de ecosistema de PCdGU y LTdU. Esto se refleja claramente en el perfil de hábitats y modelo trófico (cuadro 2, figura 4). La trampa de nutrientes es muy eficiente y el tiempo de residencia de aguas es medio, pero por el pulso de descarga fluvial su interacción ecológica con el océano es muy alta (cuadro 2).

Sistema Pantanos de Centla delta Grijalva Usumacinta Tabasco (PCdGU). Comprende los principales sistemas deltáicos y estuarinos de la costa mexicana del Golfo. Conforman el área de humedales y llanura costera más extensa de Mesoamérica. Se conecta con el mar por la boca estuarina del Usumacinta (agregándose el Grijalva o viceversa) y la boca del San Pedro. Su formación de planicies deltáicas y llanuras de inundación son caracteres de una activa sedimentación terrígena diferencial en una amplia depresión de la llanura costera (Lankford 1977, Yáñez-Arancibia *et al.* 2002). En el cuadro 2 y figura 4, se observa que la precipitación pluvial excede a la evaporación y se parece mucho al perfil de hábitats y modelo trófico de LAdP y LTdU. La trampa de sedimentos es muy eficiente y el tiempo de residencia de las aguas es medio, por lo cual su interacción con el océano es muy alta (cuadro 2).

Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta Campeche (LTdU). Tiene dos componentes en su origen geológico: sedimentación terrígena diferencial y frente de barrera arenosa (Lankford 1977). La explicación es muy clara, puesto que LTdU se encuentra exactamente frente a donde se separa la provincia terrígena moldeada por el Usumacinta y la provincia carbonatada kárstica de la Península de Yucatán. La corriente litoral balancea la erosión-depósito de la barrera, pero la principal fuerza ambiental es la descarga de ríos y el efecto sinérgico con vientos. El sistema se comunica con el mar por dos bocas naturales (Puerto Real y El Carmen) y una menor artificial (Sabancuy). LTdU forma parte integral de los humedales del sistema PCdGU y es típico porque la precipitación excede a la evaporación (cuadro 2, figura 4). Por sus condiciones ambientales se parece al perfil de hábitat y modelo trófico de LAdP y PCdGU. La trampa de sedimentos es muy eficiente y el

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL



ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Espejo de agua (ha)	200,978	63,430	1,428	10,224
Plataforma continental y sedimentos	Estrecha. Arenas finas mezcladas	Estrecha. Arenas finas mezcladas	Estrecha. Terrígenos	Amplia. Terrígenos
Clima	Semiárido	Subhúmedo	Lluvioso húmedo	Lluvioso húmedo
Vientos predominantes	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb	SE Mar-Sep NO Oct-Feb
Precipitación (mm/año)	700	1,200	2,322	2,879
Ríos/ cuencas importantes	Bravo/Grande Sn Fernando Soto la Marina	Tuxpan Nautla	Papaloapan Blanco Sn Juan Limonero Jamapa	Usumacinta Grijalva
Descarga de agua dulce (Golfo)		146 x 109 m ³ /año		
Descarga de agua dulce (Yuc/Caribe)				
Evapotranspiración potencial (mm)	1,283	1327	1392	1401
Evapotranspiración actual (mm)	761	1209	1269	1356

7061	2113	nd	5281
260,000	nd	nd	nd
Amplia. Terrígenos/ calcáreos	Amplia. Calcáreos	Estrecha. Calcáreos	Estrecha. Calcáreos
Lluvioso húmedo	Árido subhúmedo	Seco subhúmedo	Seco subhúmedo
SE	SE	SE	SE
Mar-Sep	Mar-Sep	Mar-Sep	Mar-Sep
NO	NO	NO	NO
Oct-Feb	Oct-Feb	Oct-Feb	Oct-Feb
1,800	500	800	1,100
Usumacinta	Cuenca	Cenotes	Cenotes
Palizada	Subterránea	Litorales	Litorales
Candelaria			
Chumpan			
146 x 109 m ³ / año		9.0 x 10 ⁶ m ³ //km/año	
1586	1444	1502*	1502*
1471	466	898*	898*

(Continúa)

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO
Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA,
HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL

ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Déficit diario de agua (mm)	522	118	123	45
Ganancia diaria de agua (mm)	0	31	1053	1523
Salinidad	Hipersalino	Mesohalino	Oligo/Meso	Oligohalino
Micromareas	Diurnas	Diurnas	halino	Mixta diurna
Oleaje	Intermedio	Intermedio	Mixta diurna	Bajo
Factores de fuerza ambiental	Corrientes> Vientos> Mareas	Corrientes> Vientos> Mareas	Bajo Ríos> Mareas> Corrientes	Ríos> Mareas> Corrientes
Tiempo de residencia	Largo	Largo	Medio	Medio
Circulación	Bien mezclada	Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada
Turbidez	Baja	Moderada	Alta	Alta
Eficiencia trampa de sedimentos	Baja	Moderada	Alta	Alta
Alteración de hábitats por sedimentos	Alto riesgo	Alto riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo
Vegetación emergente (ha)	8461	908	56550	200000
Peces (spp/año)	65	80	90	62
Moluscos (spp/año)	76	67	49	nd
Crustáceos (spp/año)	42	32	36	nd
Productividad primaria acuática (mg Cm ³ /hr)	78	150	200	220

7061	2113	nd	5281
115	978	604*	604*
267	0	0	0
Oligo/Meso halino Mixta diurna Bajo Ríos> Mareas> Vientos> Corrientes Medio	Marino/Meso halino Semidiurna Intermedio a Bajo Mareas> Corrientes Corto	Marino Semidiurna Intermedio a Bajo Corrientes> Mareas Corto	Marino/Meso halino Semidiurna Intermedio a Bajo Corrientes> Mareas Corto
Cuña salina Parcial mezclada	Cuña salina Parcial mezclada	Bien mezclada	Bien mezclada
Alta Alta	Baja Baja a moderada	Baja Baja	Moderada Moderada
Bajo riesgo	Bajo riesgo	Bajo riesgo	Moderado riesgo
130000	3379	nd	nd
214	125	60	73
174	nd	nd	nd
60	nd	nd	nd
333	80	70	90

(Continúa)

CUADRO 2. PERFIL DE ECOSISTEMAS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE: DIMENSIONES, GEOMORFOLOGÍA, METEOROLOGÍA Y CLIMA, OCEANOGRAFÍA, HIDROLOGÍA, BIOLOGÍA, ECOLOGÍA, ESTRUCTURA FUNCIONAL

ÁREA (KM ²)	2450	880	150	3027
Modelo trófico ECOPATH-II (Figuras 7, 8, y 9)	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas largas vía detritus y macrobentos	nd
Perfil de Hábitats (Figura 5 A, B)	Golfo delta transgresivo selva seca y matorrales	Golfo delta transgresivo selva mediana	Golfo delta progradante humedales y selva	Golfo delta progradante humedales y selva

LMT Sistema Laguna Madre Tamaulipas; LTV Sistema Laguna Tamiahua Veracruz; LAdP Sistema Laguna Alvarado delta Papaloapan Veracruz; PCdGU Sistema Pantanos Centla delta Grijalva/Usumacinta Tabasco; LTdV Sistema Laguna de Términos delta Usumacinta Campeche; LCY Sistema Laguna Celestún Yucatán; LAPQ Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos Quintana Roo; LSQ Sistema Laguna Sian Ka'an Quintana Roo. Clima y cuencas según CNA México, SE Sur sureste; NO Nor noroeste. Línea de puntos frente de mareas y tendencia de circulación litoral. (*) Estimado de Bianchi *et al.* 1999. **(nd) No disponible. Tiempo de residencia en referencia a David y Kjerfve (1998). Trampa de sedimentos en referencia a Kjerfve et al (1988). Productividad primaria acuática J. W. Day datos no publicados. Clima, biodiversidad, cobertura vegetal, oceanografía estuarina A. Yáñez-Arancibia datos no publicados. Presupuesto climático de agua y áreas Deegan et al. (1986), Bianchi et al. (1999). Modelos tróficos Abarca y Valero (1993), Arreguín et al. (1993), Barba Macías (2003). Base de datos Programa de Recursos Costeros, Instituto de Ecología A.C. (CONACyT).**

tiempo de residencia de las aguas mezcladas es medio pero, por la enorme dinámica de sus bocas estuarinas (Yáñez-Arancibia y Day 1982 1988, Yáñez-Arancibia *et al.* 1983 y 1991, David y Kjerfve 1998), el sistema LTdU es el que presenta la mayor interacción ecológica estuario-mar en todo el litoral mexicano del Golfo (cuadro 2), y su producción primaria neta es mayormente exportada a la plataforma continental (Day *et al.* 1982, 1987, 1988; Moore y Wetzel 1988).

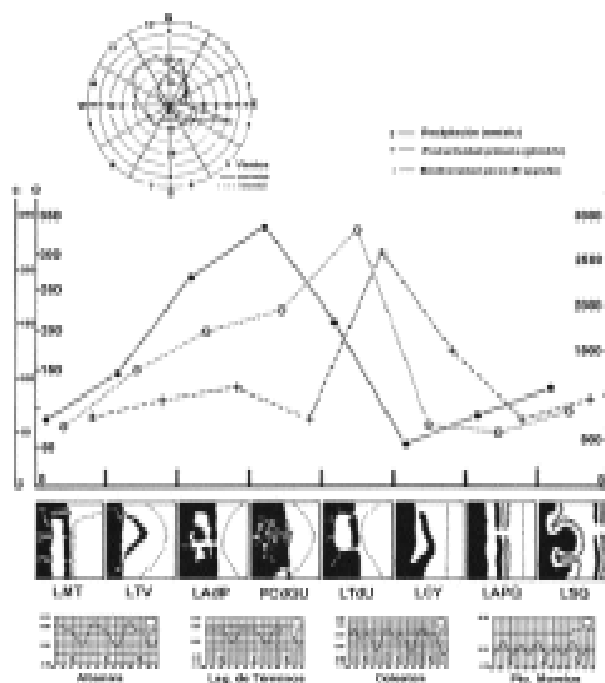
Sistema Laguna Celestún Yucatán (LCY). Se origina por una barrera arenosa en la plataforma interna moldeada por el transporte litoral (Lankford 1977). Se comunica con el mar por una boca estuarina y el relie-

7061	2113	nd	5281
Cadenas largas vía detritus y macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas cortas vía macrobentos	Cadenas moderadas vía detritus y macro-bentos
Golfo delta progradante humedales y selva	Caribe karstico selva seca. Cenotes	Caribe karstico corales selva seca y matorra- les. Cenotes	Caribe karstico selva mediana. Cenotes

ve periférico es muy bajo. En toda la Península de Yucatán no hay ríos superficiales, pero la descarga freática a través de cavernas calizas pleistocénicas es considerable (cuadro 2), por lo tanto, la cuenca hidrológica es interna en el subsuelo debido a la percolación de la topografía kárstica. La evaporación excede por mucho a la precipitación al igual que en el sistema LMT (cuadro 2, figura 4), y por el déficit sedimentario terrígeno su modelo trófico se asemeja a LTV y LMT. Aún cuando la marea y el oleaje son bajos, la circulación litoral es la principal fuerza ambiental. La trampa de sedimentos es de moderada a baja por el poco suministro sedimentario, pero por el corto tiempo de residencia de las aguas mezcladas, su interacción ecológica con el mar es muy dinámica, y es modulada por mareas y corrientes, lo cual se refleja en su ganancia diaria de agua. Por sus condiciones ambientales, su perfil de hábitats se asemeja a LAPQ y LSQ, sistemas representativos de la Península kárstica de Yucatán (cuadro 2).

Sistema Laguna Arrecifal Puerto Morelos Quintana Roo (LAPQ). Se ha formado por erosión diferencial en una depresión kárstica, en una sutil barrera arenosa submarina modulada por el oleaje y la marea, combinado con una barrera orgánica de *coralga* (Lankford 1977). La barrera arrecifal y el umbral arenoso entre la barrera de *coralga* y la línea de costa (cuadro 2) se disponen paralelos a la línea de costa. La comunicación de esta laguna que presenta pastos marinos, con los humedales efímeros continentales es por

FIGURA 4. GEOMORFOLOGÍA BÁSICA DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS: LMT LAGUNA MADRE TAMAULIPAS, LTV LAGUNA TAMIAHUA VERACRUZ, LAdP LAGUNA ALVARADO DELTA PAPALOAPAN VERACRUZ, PCdGU PANTANOS CENTLA DELTA GRIJALVA/USUMACINTA TABASCO, LTdU LAGUNA DE TÉRMINOS DELTA USUMACINTA CAMPECHE, LCY LAGUNA CELECTÚN YUCATÁN, LAPQ LAGUNA ARRECIFAL PUERTO MORELOS YUCATÁN, LSQ LAGUNAS SIAN KA'AN QUINTANA ROO. LA DISTRIBUCIÓN LATITUDINAL DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL, LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA Y LA BIODIVERSIDAD DE PECES, SE CORRELACIONAN CON MÁXIMOS VALORES EN LA REGIÓN DELTAICA DESDE LAdP HASTA LTdU. OTROS PARÁMETROS EN EL CUADRO 2 TAMBIÉN MUESTRAN ESTA TENDENCIA. EL VALOR DE PECES DE PCdGU ES ANÓMALO PROBABLEMENTE POR SUBMUESTREOS Y LA TENDENCIA DEBE DE SER MAYOR. LOS VIENTOS DEL SURESTE PREDOMINAN DE MARZO A SEPTIEMBRE, LOS DEL NOR NOROESTE DE OCTUBRE A FEBRERO (LA VELOCIDAD Y FRECUENCIA SE OBSERVA EN LA ROSA DE VIENTOS). SE ILUSTRAN CUATRO PUNTOS DE MAREAS PARA EL GOLFO Y CARIBE Y OTROS PARÁMETRO EN EL CUADRO 2



Fuente: Base de datos del Programa de Recursos Costeros, INECOL, A.C. (CONACYT).

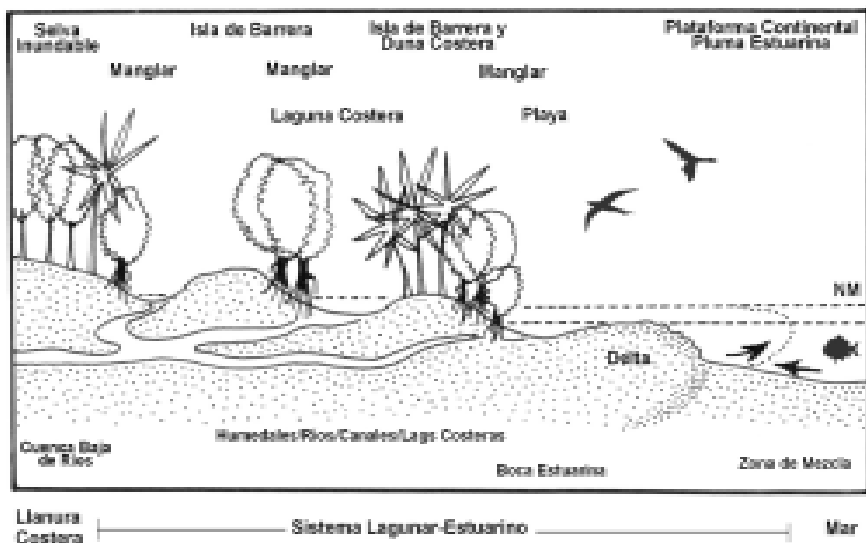
descarga del manto freático (Alvarez-Guillén *et al.* 1986). No hay una boca de conexión típica sino que la interacción con el mar se da a todo lo largo, condicionado principalmente por el ritmo de las mareas y la circulación litoral (cuadro 2).

Sistema Lagunar Sian Ka'an Quintana Roo (LSQ). Se formó como resultado de erosión diferencial en una depresión kárstica, colonizada por manglares achaparrados pero densos que actúan como barrera orgánica entre las aguas protegidas y el mar adyacente, además de la barrera arrecifal de *coralga* paralela a la línea de costa (Lankford 1977, López-Portillo *et al.* 1999). La laguna se halla también colonizada por pastos marinos hacia el mar y, al igual que LAPQ, presenta aporte de agua dulce a través de la cuenca freática. La planicie es calcárea asociada a cenotes. La comunicación con el mar condicionada por corrientes litorales y mareas es amplia. La trampa de nutrientes es moderada y se vincula con la actividad metabólica de sedimentos orgánicos provenientes del manglar. Por esta razón el modelo trófico es más complejo que LAPQ. En la figura 4 se observa un pulso mayor que en LCY y LAPQ para la pluviometría y la producción primaria acuática, lo cual lo hace distintivo de la costa de la Península de Yucatán y a través del litoral Caribe de México, aún cuando el perfil de hábitats es similar para todos los sistemas de la península. Sin duda la interacción ecológica manglar/pastos marinos/ corales, es el sello distintivo (cuadro 2).

PATRÓN LATITUDINAL, PERFIL DE HÁBITATS E HIPÓTESIS DE PROCESOS COSTEROS
Y FERTILIDAD ACUÁTICA

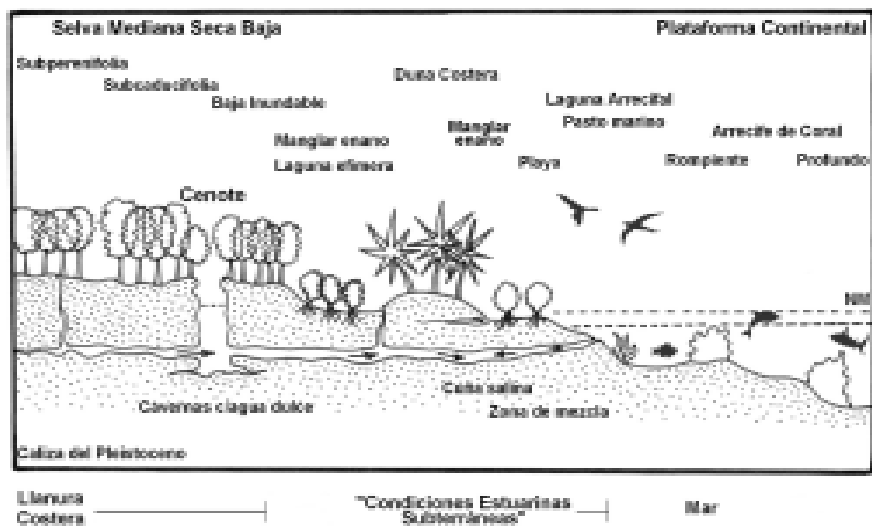
La figura 4, basada sólo en algunos de los parámetros de diagnóstico ambiental del cuadro 2 permite observar el “*pulso ecológico*” desde Tamaulipas hasta Quintana Roo, con: a) analogías entre Tamaulipas y Yucatán, b) la región de mayor interacción ecológica estuario-mar desde el delta del Papaloapan hasta el delta del Usumacinta, abarcando las costas de Veracruz, Tabasco y Campeche, y c) el perfil diferente desde Yucatán hasta Quintana Roo, mostrando la elevación de los pulsos, que podría incrementarse aún más frente al sistema Laguna de Chetumal (no estudiada en este capítulo). Las figuras 5 a y b ilustran y describen el perfil de hábitat para el Golfo y Caribe basado en los sistemas estudiados. Todos los sistemas del Golfo responden a este esquema (figura 5 A), con menor o mayor representatividad del sistema deltáico. Esto contrasta notablemente desde el norte de Yucatán y los arrecifes de coral del litoral del Caribe. El cuadro 2 muestra los valores estima-

FIGURA 5 A. PERFIL DE ECOSISTEMAS COSTERO EN LA COSTA ATLÁNTICA DE MÉXICO. A) EN EL GOLFO DE MÉXICO LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS ESTÁN ASOCIADOS A IMPORTANTE DESCARGA FLUVIAL Y EXTENSA LLANURA COSTERA. DESDE EL CONTINENTE HASTA EL MAR, LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS SON: SELVA BAJA, LLANURA COSTERA, CUENCA BAJA DE RÍOS, HUMEDALES, LAGUNAS COSTERAS Y MANGLARES DE MEDIANOS A BIEN DESARROLLADOS, ISLAS DE BARRERA, DUNAS/PLAYAS, Y DELTAS SIGNIFICATIVOS CONDICIONANDO UN FRENTE DE PLUMA ESTUARINA. LOS PRINCIPALES PROCESOS ECOLÓGICOS QUE CONDICIONAN LA PRODUCTIVIDAD SON COSTEROS: DESCARGA DE RÍOS, METABOLISMO DE LOS MANGLARES, APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS Y VIENTOS. NM= NIVEL DE MAREAS. VER CUADRO 2



dos de descarga de agua dulce para todo el litoral mexicano del Atlántico. Es sorprendente la descarga de cuencas subterráneas en la península kárstica de Yucatán (J.Herrera-Silveira, Cinvestav, comunicación personal). A su vez, la descarga de ríos en el litoral del Golfo es enorme. Yáñez-Arancibia *et al.* (2003) señalan entre 7 y 10 mil m³/seg, con la contribución de importantes ríos como el Bravo, 162 m³/seg, Cazones, 43 m³/seg, Candelaria, 45 m³/seg, Nautla, 55 m³/seg, Antigua, 60 m³/seg, Tuxpan, 80 m³/seg, Tecolutla, 200 m³/seg, Coatzacoalcos, 440 m³/seg, Pánuco, 630 m³/seg, Papaloapan,

FIGURA 5 B. PERFIL DE ECOSISTEMAS COSTEROS EN LA COSTA ATLÁNTICA DE MÉXICO. B) EN EL MAR CARIBE LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS ESTÁN ASOCIADOS A UNA FISIOGRAFÍA KÁRSTICA, CALIZAS DEL PLEISTOCENO Y CUENCA HIDROLÓGICA SUBTERRÁNEA. DESDE EL CONTINENTE HASTA EL MAR, LOS HÁBITATS CARACTERÍSTICOS SON: SELVA BAJA-SECA, CENOTES, MANGLARES ENANOS, LAGUNAS Y ACUÍFEROS ESTACIONALES, DUNAS/PLAYAS, LAGUNA ARRECIFAL CON PASTOS MARINOS Y ARRECIFE PROFUNDO. LAS CAVERNAS DE AGUA DULCE TRANSPARENTES DESCARGAN EN LA LAGUNA ARRECIFAL Y UNA CUÑA SALINA PUEDE PROVOCAR “CONDICIONES ESTUARINAS SUBTERRÁNEAS” LOS PRINCIPALES PROCESOS ECOLÓGICOS QUE CONDICIONAN LA PRODUCTIVIDAD SON MARINOS: VIENTOS, CORRIENTES LITORALES EN BALANCE CON DESCARGA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, Y METABOLISMO DE LOS PASTOS MARINOS Y CORALES. NM= NIVEL DE MAREAS. VER CUADRO 2

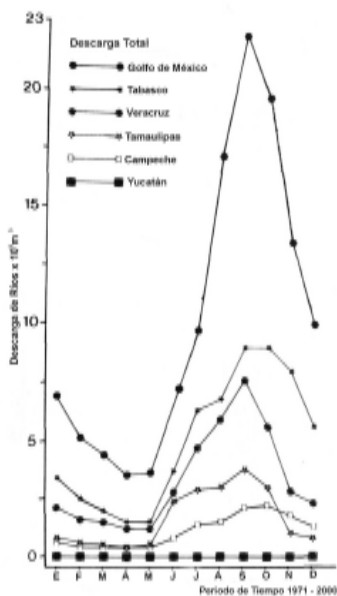


1360 m³/seg, Usumacinta/Grijalva, 4,400 m³/seg /datos redondeados), entre otros.

La figura 6 muestra el pulso estacional de la descarga de ríos al Golfo de México para cada entidad federativa y el total anual. En los meses de septiembre y octubre ocurre el pulso principal, después del noveno mes, que es el más lluvioso, en la vertiente del Golfo. Esto tiene un sentido ecológico muy importante porque en octubre se registran los valores más altos de produc-

tividad primaria acuática en la zona costera del sur del Golfo (J. W. Day, LSU, datos no publicados). Los pulsos de: a) vientos nortes que comienzan en octubre, b) vientos del sureste en verano durante la época de lluvias, c) el nivel del mar más bajo en mayo, época de secas extremas, d) el nivel del mar más alto en octubre al comienzo de los nortes, e) las lluvias de junio a septiembre, y f) la principal descarga de ríos en octubre, actúan integradamente como procesos ecológicos clave en las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia *et al.* 1991).

FIGURA 6. LA DESCARGA TOTAL EN EL LITORAL MEXICANO DEL GOLFO. DATOS CORTESÍA DE INEGI Y COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. SEPTIEMBRE Y OCTUBRE SON LOS MESES DE MAYOR DESCARGA, DESPUÉS DE LA PLUVIOMETRIA MÁXIMA DE JUNIO A SEPTIEMBRE. OCTUBRE TAMBIÉN ES EL MES DE MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN EL FRENTE DE LA PLUMA ESTUARINA SOBRE LA PLATAFORMA CONTINENTAL. EN LA FIGURA NO ESTÁ CONSIGNADA LA DESCARGA SUBTERRÁNEA DE YUCATÁN (VER CUADRO 2). ESTO CONTRASTA CON LA MAYOR DESCARGA FLUVIAL DE LAS COSTAS DE EUA PARA EL GOLFO, QUE OCURRE ENTRE ABRIL Y MAYO. ES DECIR TODO EL GOLFO PARECE MOSTRAR UNA PROGRAMACIÓN ESTACIONAL DE PULSOS SECUENCIALES.



Por ejemplo, en los sistemas donde prevalece un perfil de delta transgresivo (cuadro 2, figura 3), la organización de las comunidades está condicionada por la poca producción de detritus orgánico, lo cual condiciona que la comunidad ictiofaunística se sostenga vía macrobentos. Las cadenas tróficas normalmente son cortas y los consumidores de tercer orden pueden estar ausentes estacionalmente (figura 7). Esta figura de Abarca *et al.* (1993) muestra datos estimados de biomasa (g/m^2) y flujos ($\text{g}/\text{m}^2/\text{año}$) para el sistema Laguna de Tamiahua Veracruz, pero por el perfil integrado en el cuadro 2 y el pulso ecológico de la figura 4, se puede esperar una estructura análoga con el Sistema Laguna Madre Tamaulipas, y en el Sistema Laguna Celestún Yucatán. Sin embargo, por la dinámica de LTV, exporta menos ($11.4 \text{ g}/\text{m}^2/\text{año}$) que LCY ($1483 \text{ g}/\text{m}^2/\text{año}$) a través de sus respectivas bocas estuarinas hacia la plataforma continental. Barba Macías (2003) coincide en la analogía entre LMT con LTV y LCY basado en interacciones tróficas (figura 8), estimando una exportación de $250.8 \text{ gm}^2/\text{año}$ hacia el mar adyacente, valor intermedio entre LTV y LCY.

En contraste, en sistemas más productivos donde prevalece un perfil de delta progradante (cuadro 2, figura 3), la organización de las comunidades está condicionada por la gran producción de detritus orgánico, lo cual a su vez condiciona que la comunidad ictiofaunística se sostenga por la vía detritus, pero también consumiendo macrobentos. Las cadenas tróficas son largas y los consumidores de tercer orden nunca dejan de estar presentes aún cuando su abundancia estacional varía (figura 9). Esta figura de Arreguín *et al.* (1993) muestra datos estimados de biomasa ($\text{g peso seco}/\text{m}^2$) y flujos ($\text{g peso seco}/\text{m}^2/\text{año}$) mayores de 15% para la zona costera de Veracruz en afinidad con LAdP, LTdU y Sonda de Campeche, donde la exportación en $\text{gm}^2/\text{año}$ puede ser tres veces mayor (o más) que en los sistemas que importan detritus orgánico (D. Pauly, UBC, comunicación personal).

La complejidad de los modelos de las figuras 7 a 9 muestran una relación importante con la descarga de ríos, pluviometría, productividad acuática primaria y biodiversidad (cuadro 2, figura 4), observándose de manera evidente la región que incluye LTdP, PCdGU y LTdU y su separación de los otros sistemas estudiados (cuadro 2). El efecto ecológico de estos deltas hacia la plataforma continental es importante en estas interacciones ecológicas estuario-mar (figura 4).

La literatura ha comentado reiteradamente el sistema de surgencia en la plataforma continental noreste de Yucatán (Lohrenz *et al.* 1999), y de manera muy general se ha inferido su efecto fertilizador hacia el resto de la

FIGURA 7. MODELO DE ESTRUCTURA TROFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MENOR PRODUCTIVIDAD O QUE IMPORTAN DETRITOS ORGÁNICOS. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SISTEMA LTV (BIOMASAS G/M^2 Y FLUJOS $G/M^2/AÑO$), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LMT Y LCY. VER CUADRO 2, FIGURA 4, MODELO SEGÚN ÁBARCA Y VALERO (1993).

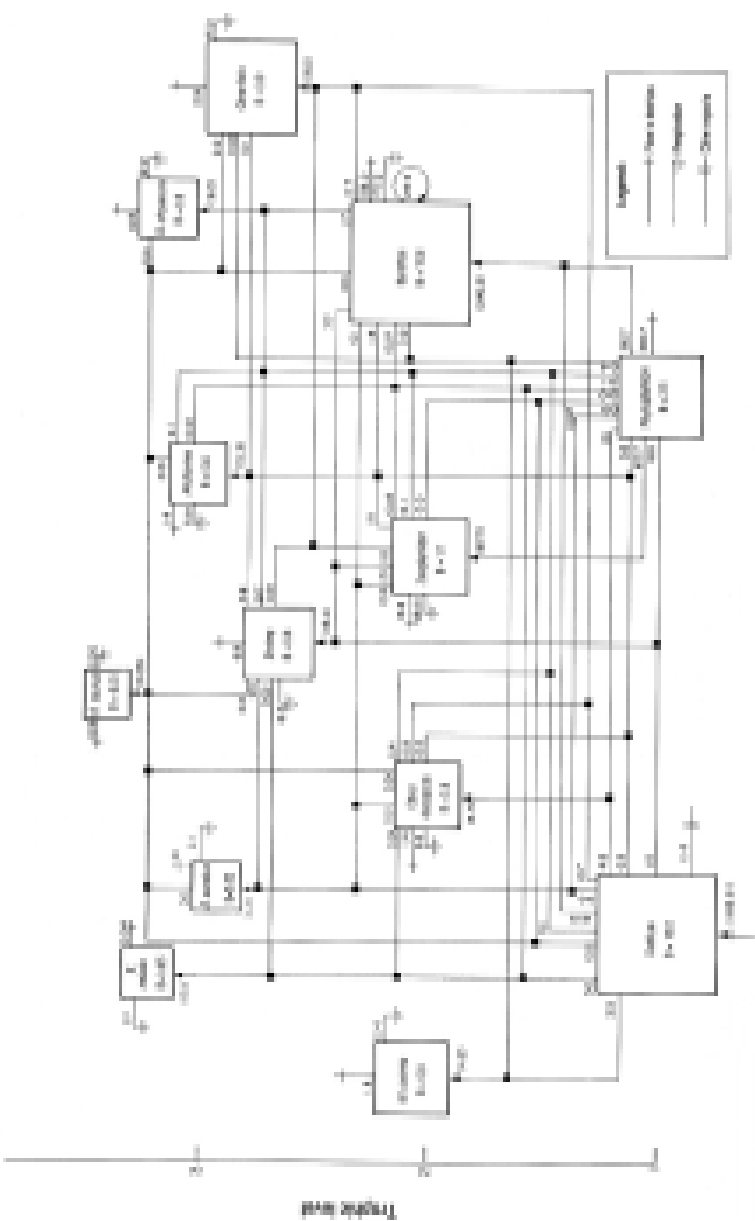


FIGURA 8. MODELO DE ESTRUCTURA TRÓFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MENOR PRODUCTIVIDAD O QUE IMPORTAN DETRITOS ORGÁNICOS. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SISTEMA LMT (BIOMASAS G/M^2 Y FLUJOS $\text{G}/\text{M}^2/\text{AÑO}$), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LTV Y LCY. VER CUADRO 2, FIGURA 4. MODELO SEGÚN BARBA MACÍAS (2003), SU INCLUSIÓN EN ESTE CAPÍTULO ES CORTESÍA DEL AUTOR.

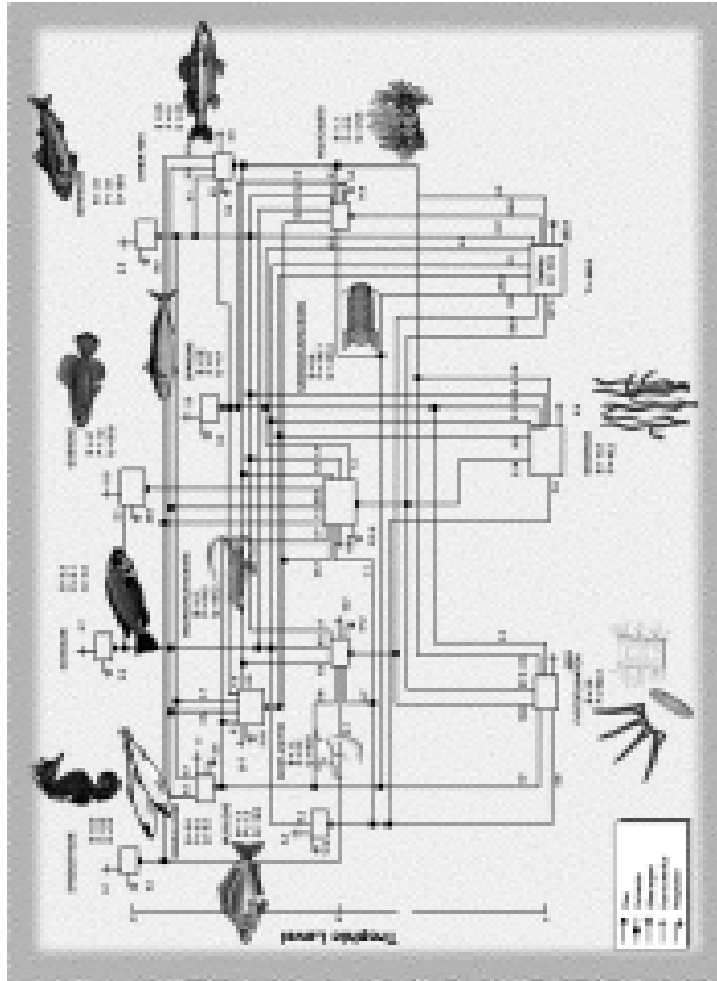
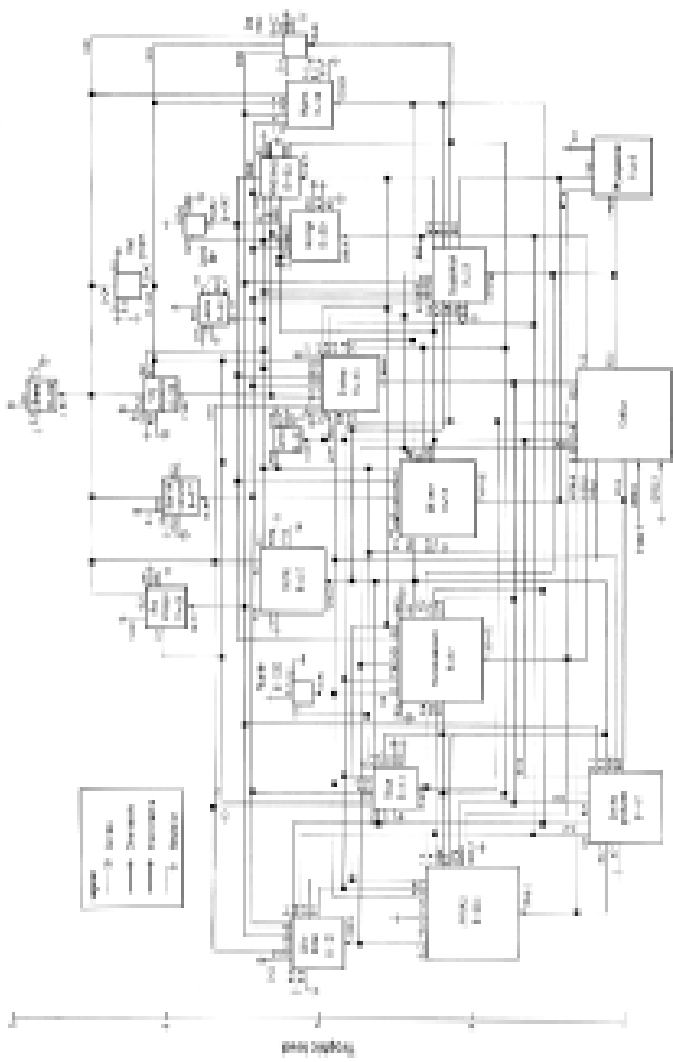


FIGURA 9. MODELO DE ESTRUCTURA TRÓFICA (ECOPATH-II) EN SISTEMAS DE MAYOR PRODUCTIVIDAD QUE EXPORTAN DETRITOS ORGÁNICOS. LOS DATOS CORRESPONDEN AL SUR DE VERACRUZ AFIN AL SISTEMA LAdP (FLUJOS > 15% G PSECO M²/AÑO, BIOMASAS G/M²), Y SU ANALOGÍA ES CON LOS SISTEMAS LAdP, LTdU Y SONDA DE CAMPECHE. VER CUADRO 2, FIGURA 4. MODELO SEGÚN ARREGUÍN ET AL. (1993).



superficie del Golfo. Sin embargo, en realidad, poco o nada se sabe de la interacción ecológica de ese afloramiento hacia la plataforma continental nerítica y zona costera mexicana del Golfo. Más aún, las imágenes de satélite de Lohrenz *et al.* (1999) no respaldan la idea primaria del efecto de esas surgencias sobre la costa nerítica, por ejemplo, de la Sonda de Campeche.

Por una parte, este capítulo refuerza la idea que la productividad acuática de la plataforma continental nerítica desde Yucatán hasta Quintana Roo sí está condicionada por procesos marinos (*i.e.*, corrientes, mareas, vientos) (cuadro 2, figura 5B), y esto se correlaciona con la provincia kárstica. Pero, por otra parte, este artículo plantea la *hipótesis* que por la dirección que toma la corriente del Lazo al cruzar por el canal de Yucatán e introducirse al Golfo, su vínculo ecológico debería ser mucho mayor con las costas del centro, pero sobre todo con el norte del Golfo de México (imagen de satélite en Lohrenz *et al.* 1999 y en Yáñez-Arancibia 2003 b), y su vínculo con la fertilidad acuática nerítica del sur del Golfo es débil (esto se refuerza con evidentes desconectividades biológicas existentes entre la costa Caribe de México y la plataforma nerítica del sur del Golfo). Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental, desde la Sonda del Misisipi y hasta la Sonda de Campeche está condicionada por procesos costeros (*i.e.*, descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, todos en dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas (figuras 2 y 5 A, cuadro 2). Diversas imágenes de satélite del Coastal Studies Institute (Louisiana State University), del Coastal Ocean Services (NOAA), y análisis en Day *et al.* (1995, 1997) apoyan nuestro planteamiento de *hipótesis* de “procesos costeros modulando la fertilidad acuática y su estacionalidad en la zona costera mexicana del sur del Golfo.

PROYECCIÓN DE LOS RESULTADOS: INTERACCIONES ECOLÓGICAS CON IMPLICACIONES EN MANEJO AMBIENTAL

En el marco del diagnóstico ambiental del Golfo de México (cuadro 2, figura 4), al menos cuatro indicadores ecológicos son importantes en el soporte de la hipótesis de la mayor productividad acuática en la zona frontal de la pluma estuarina (figura 2), modulado por procesos costeros (figura 5 A) e interacciones ecológicas estuario-mar. Estos son: a) eficiencia de la trampa de sedimentos, b) sobrecarga de nutrientes, c) hipoxia, y d) procesos costeros

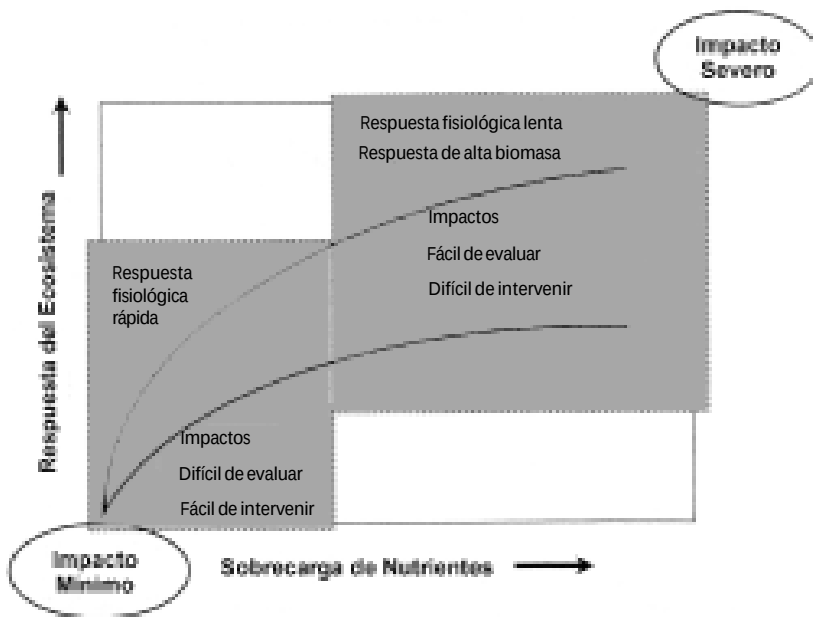
y recursos pesqueros. Estos aspectos tienen implicaciones directas con el manejo ambiental de la zona costera.

Eficiencia de la trampa de sedimentos. Este fenómeno difiere según los tipos de sedimentos dominantes en la zona de estudio, dependiendo de si el sistema es progradante o transgresivo (cuadro 2, figura 3). La tasa de retención o exportación de sedimentos en la zona costera está ligada a estas dos características pero también al tipo de circulación estuarina (Schroeder y Wiseman, 1999, Solis y Powell 1999). Por lo tanto, la eficiencia del entrapamiento de sedimentos depende: a) del tipo de sedimentos y la proporción terrígenos/carbonatados, b) del volumen de sedimentos fluviales y marinos, c) de la floculación de coacervados, y d) del tipo de circulación estuarina. Como diversos contaminantes se asocian a los granos finos de sedimentos, las implicaciones de manejo de la eficiencia del entrapamiento es inmediatamente obvio (figuras 2, 3 y cuadro 2). Desde luego las implicaciones en turbidez, circulación y alteraciones de los hábitats debido a la sedimentación son directas (Kjerfve *et al.* 1988, David y Kjerfve 1998). Las costas progradantes, caracterizadas por deltas de importantes ríos y bajos de mareas, exportan la mayoría de su carga sedimentaria hacia el mar y generalmente su eficiencia de trampa sedimentaria en la cabecera del estuario es baja; contienen un conjunto de hábitats que no se afectan significativamente por exceso de sedimentación (Day *et al.* 1989, 1995, 1997). En contraste, las costas transgresivas caracterizadas por lagunas y estuarios son altamente eficientes como trampa de sedimentos, por lo tanto, son más susceptibles a la acumulación de partículas asociadas a contaminantes químicos y sus hábitats cambian por ser más sensibles a las perturbaciones que afectan la carga de sedimentos fluviales en pulsos estacionales (Solis y Powell 1999, cuadro 2).

Sobrecarga de nutrientes. La sobrecarga (enriquecimiento) de nutrientes ha sido frecuentemente vinculada a la estimulación de algunas especies nocivas en los florecimientos algales; pero esto no está absolutamente claro y en ocasiones puede ser sólo un factor de liga aparente (Anderson *et al.* 2002). Aunque importantes, los nutrientes no son la única explicación a los florecimientos de algas tóxicas. Los florecimientos de algas, incluyendo los eventos tóxicos, en ocasiones se deben a fenómenos naturales y la decoloración o coloración de las aguas costeras ha sido mencionado desde hace alrededor de doscientos años (Anderson *et al.* 2002). Con esta visión, para la comprensión del impacto, de la disponibilidad de nutrientes y de la sobrecarga de nutrientes en las interacciones ecológicas estuario-mar, es impor-

tante hacer la distinción entre efectos sobre procesos fisiológicos o de productividad vs. acumulación de biomasa, y las respuestas a la carga de nutrientes puede ser observada de manera análoga a la curva de respuesta de saturación (figura 10).

FIGURA 10. RESPUESTA GENERALIZADA DEL ECOSISTEMA A LA SOBRECARGA DE NUTRIENTES. A BAJO NIVEL DE SOBRECARGA, LA RESPUESTA ORGANÍSMICA PUEDE SER RÁPIDA, PERO LOS CAMBIOS DE BIOMASAS PUEDEN SER MENORES. A ALTO NIVEL DE SOBRECARGA, SE ESPERARÍA QUE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LOS ORGANISMOS ESTUVIERA CERCA DE LA TASA DE SATURACIÓN Y MOSTRAR POCO INCREMENTO, PERO EN UN PERIODO DE TIEMPO LARGO, LA BIOMASA PODRÍA INCREMENTARSE, SEGÚN ANDERSON *ET AL.* (2002).

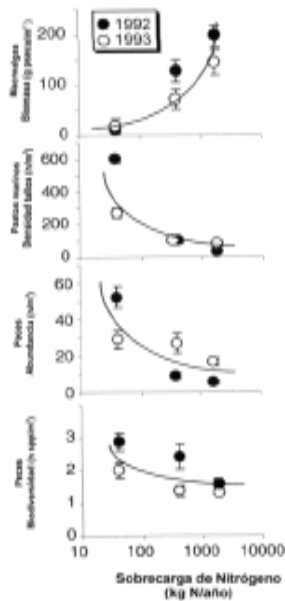


El efecto de los nutrientes puede ser en la región de mínima respuesta, la cual es dominada por rápidos ajustes fisiológicos y baja acumulación de biomasa o, alternativamente, en la región de respuesta máxima, en la cual los procesos fisiológicos están saturados, pero la acumulación de biomasa continúa (Moore y Wetzel 1988). También la región de respuesta mínima representa el período de inicio del florecimiento, mientras que la región de respuesta máxima representa el soporte del florecimiento. Aquí hay un aspecto de controversia, puesto que si el inicio del florecimiento se caracteriza por un mínimo incremento en biomasa, entonces el papel de los nutrientes en el inicio del florecimiento es mucho menos entendido que el periodo en el cual se mantiene el florecimiento. Este proceso tiene enorme relevancia en términos de un diagnóstico ambiental con implicaciones en manejo, vinculado con: a) el patrón de circulación, b) tiempo de residencia, c) trampa de sedimentos, d) descarga de ríos, y e) producción primaria acuática (cuadro 2, figura 4). Dentro de este marco, es importante reconocer que en la región de respuesta mínima los impactos son pocos, difíciles de detectar y fáciles de revertir con medidas de mitigación, mientras que en la región de respuesta máxima, los impactos son grandes y a menudo fáciles de detectar, pero sustancialmente mucho más difíciles de reducir y controlar (figura 10).

La eutroficación es un problema global y los sistemas lagunares-estuarinos del Golfo se insertan poco a poco en ello. Incluso la zona costera de Yucatán está siendo afectada (Herrera-Silveira *et al.* 2002). Hay poco cuestionamiento, de que la carga de nutrientes sea el combustible de los florecimientos de algas con alta biomasa, y el incremento en clorofilas que muestran un aumento en paralelo en la concentración de nutrientes. Pero no son claras las evidencias que correlacionan de manera directa la eutroficación con florecimiento de algas nocivas. Y esto se debe al impacto de la carga de nutrientes que depende de muchos factores (algunos de ellos en cuadro 2), a) de la composición de las especies del florecimiento, b) del estado nutricional de la macrofauna, c) del tiempo que dure el sobre-enriquecimiento, y d) de la dinámica ambiental y factores físicos del sistema, entre otros. La gran productividad vegetal, compleja estructura física y hábitats característicos se combinan para crear áreas de gran productividad y ambientes esenciales para el soporte de diferentes ciclos biológicos; pero si se quiere tener éxito en el manejo ambiental y la restauración de estos sistemas, es fundamental entender los mecanismos por los cuales el necton puede ser afectado por el enriquecimiento de nutrientes.

Por ejemplo, Deegan (2002) y Deegan *et al.* (1994, 2002) establecen con claridad que los sistemas costeros con pastos marinos y marismas salobres siempre han sido valorados por su alta productividad e importante presencia de peces y crustáceos pero poco se conoce su vínculo con el enriquecimiento de nutrientes. La figura 11 muestra que la carga de nutrientes altera la complejidad estructural dentro de los bajos de mareas con pastos marinos, porque se modifica la composición y abundancia de la cobertura vegetal. El sobre-enriquecimiento estimula la proliferación de algunos fitoplanctones de rápido crecimiento, algas epífitas y macroalgas que compiten con los pastos marinos por luz y espacio. En sistemas profundos como LTdU, el florecimiento del fitoplancton puede dominar (Day *et al.* 1982, 1988), mientras que en sistemas muy someros y de muy baja energía las macroalgas pueden reemplazar a los pastos marinos (*i.e.*, LTV, LMT).

FIGURA 11. CAMBIOS EN LAS PLANTAS Y ANIMALES EN UN ECOSISTEMA DE PASTOS MARINOS, EN RESPUESTA AL ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES



Fuente: según Deegan 2002.

La declinación en la complejidad estructural en la pradera de pastos marinos puede alterar las interacciones predador-presa resultando en un incremento en la mortalidad del necton, o de la declinación neta de la abundancia, biomasa o diversidad nectónica (Deegan 2002, Deegan *et al.* 1994, 2002, cuadro 3). Este cuadro muestra las diferentes respuestas entre pastos marinos y marismas salobres, frente a la pérdida de las funciones del ecosistema. Por lo tanto, se requiere de un mejor entendimiento de la variabilidad geográfica en las funciones de los ecosistemas descritos en el cuadro 2 para predecir las respuestas del enriquecimiento de nutrientes y proteger el funcionamiento del ecosistema, preservando las interacciones ecológicas estuario-mar.

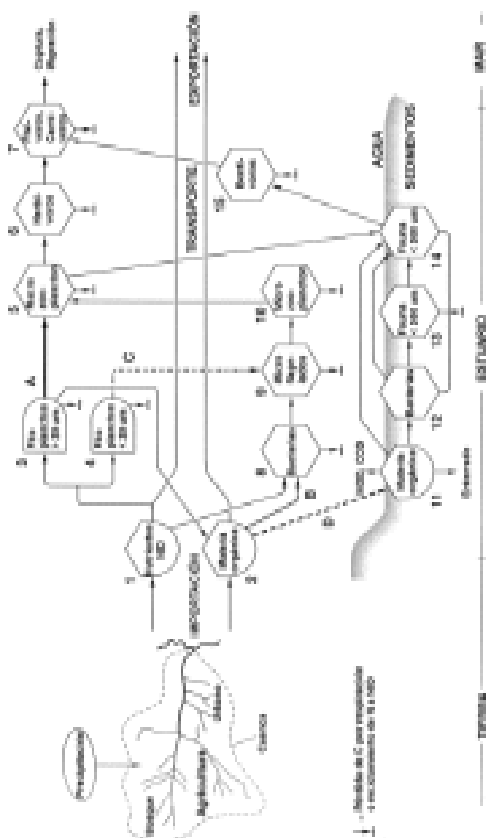
CUADRO 3. SIMILITUDES Y DIFERENCIAS EN EL EFECTO DE ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES SOBRE LA ESTRUCTURA, SENSIBILIDAD QUÍMICA Y TRAMA TROFICA DE LOS PASTOS MARINOS Y MARISMAS SALOBRES. *INICIAL* Y *FINAL* INDICAN SI EL EFECTO SE ESPERA QUE OCURRA CERCA DEL FINAL O DEL COMIENZO DEL PROCESO DE EUTROFICACIÓN.

FUNCIÓN	HÁBITAT LAGUNAR-ESTUARINO	
	PASTOS MARINOS <i>Inicial</i>	MARISMAS SALOBRES <i>Final</i>
Estructura de hábitat	Decrece en toda el área y el tamaño de los parches, e incrementa en los bordes. Localización en la lámina estuarina hacia la boca. Ocurre rápidamente; años	Subsidencia potencial relativo al nivel del mar. Incremento en bordes y fragmentación. Se afectan primero humedales cerca de la cabecera del estuario. Proceso lento; décadas.
Sensibilidad química	<i>Final</i>	<i>Inicial</i>
Oxígeno disuelto bajo	Resultado de carga acumulativa de exceso de materia orgánica de algas	Resultado de descomposición natural de <i>Spartina</i> y estimulación de la comunidad algal y microbiana
Trama trófica	Importante incremento de algas para consumidores primarios pero no para el necton. Cambios en la estructura química y física del ecosistema, limitando al necton utilizar la producción algal.	Alguna evidencia que en el estado Inicial las algas pueden incrementar en importancia en la trama trófica. No está bien estudiado.

La comprensión del tópico de la sobrecarga de nutrientes aún enfrenta vacíos grandes (Deegan 2002), pero también hay avances enormes (Rabalais y Nixon 2002). Anteriormente, Deegan *et al.* (1994) consideraron que para enfrentar comprensivamente este problema es práctico el desarrollo de un modelo conceptual como el de la figura 12. Se consideran al menos 15 compartimentos para el modelo del ciclo de nitrógeno en sistemas lagunares-estuarinos. Los compartimentos y las flechas describen 4 patrones principales para el flujo de la materia orgánica y los nutrientes: a) la cadena clásica del pastoreo desde los nutrientes inorgánicos hasta el fitoplancton $> 20 \mu\text{m}$, luego el macrozooplancton, los planctívoros y los piscívoros; b) un patrón microbiano desde la materia orgánica a las bacterias, luego microflagelados a microzooplancton, macrozooplancton, planctívoros y piscívoros; c) un patrón híbrido de la cadena del pastoreo y patrón “microbiano” desde nutrientes inorgánicos, y d) la cadena trófica béntica desde la materia orgánica a los sedimentos, las bacterias y luego meio y macrofauna béntica, a los bencívoros y a los piscívoros. El grado y la tasa a la cual la materia orgánica fluye a través de un patrón u otro probablemente depende de la calidad de la materia orgánica (evaluada por la proporción C : N) y la disponibilidad de nutrientes inorgánicos. Cómo participa cada uno de los 4 patrones en la estructura funcional del sistema frente a la sobrecarga de nutrientes es un tema de muy reciente desarrollo en el estudio de las interacciones ecológicas estuario-mar. Evidentemente, por la dinámica ambiental de LAdP, PCdGU y LTdU (cuadro 2), las rutas 1 y 2 de la figura 12, son esencialmente viables hacia la plataforma continental del Golfo de México. En este tópico, es fundamental integrar la ecología de la descarga de agua dulce con la ecología del enriquecimiento de nutrientes en el manejo de los recursos estuarinos (Montagna *et al.* 2002).

Hipoxia. La reducción del oxígeno disuelto es uno de los efectos directos más importantes sobre los peces, por el excesivo-enriquecimiento de nutrientes en las aguas costeras. Esto es porque la hipoxia puede : a) causar mortalidad en ciertas especies, b) reducir la tasa de crecimiento, c) alterar la distribución y comportamiento de los peces, d) cambiar la importancia relativa de los organismos, e) alterar el patrón del flujo del carbono dentro de la estructura trófica, y f) provocar una gran reducción en la abundancia, diversidad y captura de peces en las aguas afectadas. Sin embargo, el sobre-enriquecimiento de nutrientes generalmente incrementa la abundancia de la presa en la mayoría de las aguas superficiales bien oxigenadas y más allá de la frontera de la zona hipóxica, lo cual determina un mosaico de

FIGURA 12. MODELO DIAGRAMÁTICO DEL FLUJO DE NITRÓGENO EN UN SISTEMA LAGUNAR-ESTUARINO, HACIENDO ÉNFASIS EN LOS APORTES DE NITRÓGENO ORGÁNICO E INORGÁNICO DESDE LA CUENCA HIDROLÓGICA HACIA LA ZONA COSTERA, Y LOS CUATRO PRINCIPALES PATRONES TRÓFICOS PELÁGICO Y BENTÓNICO QUE CONDUCEN A LA PRODUCCIÓN DE CARNÍVOROS SUPERIORES. NID= NITRÓGENO INORGÁNICO DISUELTO, NOD= NITRÓGENO ORGÁNICO DISUELTO, COD= CARBONO ORGÁNICO DISUELTO. SE ILUSTRAN CÓMO LOS ECOSISTEMAS ESTUARINOS PUEDEN PROCESAR N Y LA FIGURA HA AYUDADO EN EL DESARROLLO DE HIPÓTESIS ACERCA DEL DESTINO FINAL DEL NITRÓGENO.



Fuente: modelo según Deegan *et al.* 1994.

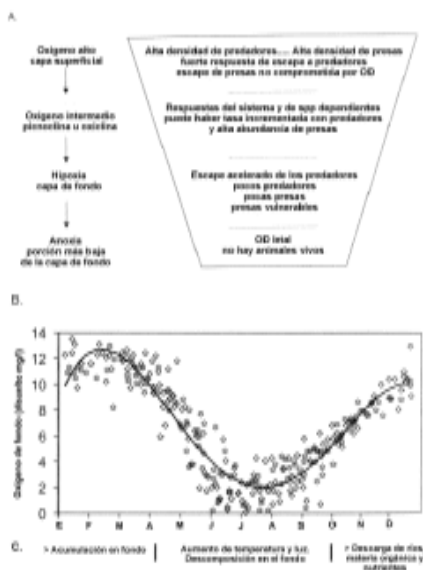
interacciones de altas y bajas de oxígeno dentro de un sistema y el reacomodo de las relaciones interespecíficas (figura 13). Los efectos negativos de la hipoxia sobre los peces, hábitats y trama trófica potencial, hacen tanto a los peces como al sistema en general mucho más susceptible al agregar tensores antropogénicos o naturales (Chestney y Baltz 2001). La figura 13 ilustra el efecto último de la baja de oxígeno sobre las poblaciones de peces, pero al mismo tiempo describe el mosaico de interacciones entre el comportamiento interespecífico y la caída del oxígeno disuelto hacia el fondo.

Importantes zonas hipóxicas de los EE.UU. se localizan en el río Patuxen (estuario templado) asociado a bahía de Chesapeake y en la Sonda del Misisipi (templado subtropical), asociado a la cuenca del río Misisipi (Breitburg 2002, Rabalais *et al.* 1999). En el caso del sistema estuarino del Patuxen (figura 13) es muy ilustrativa la caída del oxígeno en los meses de junio a septiembre, que corresponden al verano del hemisferio norte, lo cual coincide con la gran descarga fluvial previa de primavera que abarca los meses de marzo y abril (figura 14). En el caso de la plataforma continental frente a Luisiana y Texas la extensión de la hipoxia ha variado en un área de 16,000 km² en 1993 a 18,000 km² en 1995 (Rabalais *et al.* 1999), lo cual la sitúa como un problema muy importante, con una gran severidad en los meses de junio, julio y agosto, en exacta analogía con el río Patuxen (Fig. 13). Rabalais *et al.* (1999) establecen como causas principales la magnitud relativa en cambios en la descarga de agua dulce y flujo de nutrientes del río Misisipi hacia la zona costera. Esto afecta: a) la estabilidad de la columna de agua, b) la productividad de las aguas superficiales, c) el flujo del carbono, y d) el ciclo del oxígeno en el norte del Golfo de México. La descarga de aguas dulces desde las plumas del Atchafalaya y Misisipi, rápidamente forma la corriente costera de Luisiana, una corriente altamente estratificada que fluye principalmente hacia el oeste, a lo largo de la costa de Luisiana y hacia el mar a lo largo de la costa de Texas. Actualmente se reconoce que la zona hipóxica frente a Luisiana y Texas es de 20,000 km² (Rozas *et al.* 1999).

HIPOXIA POTENCIAL EN MÉXICO

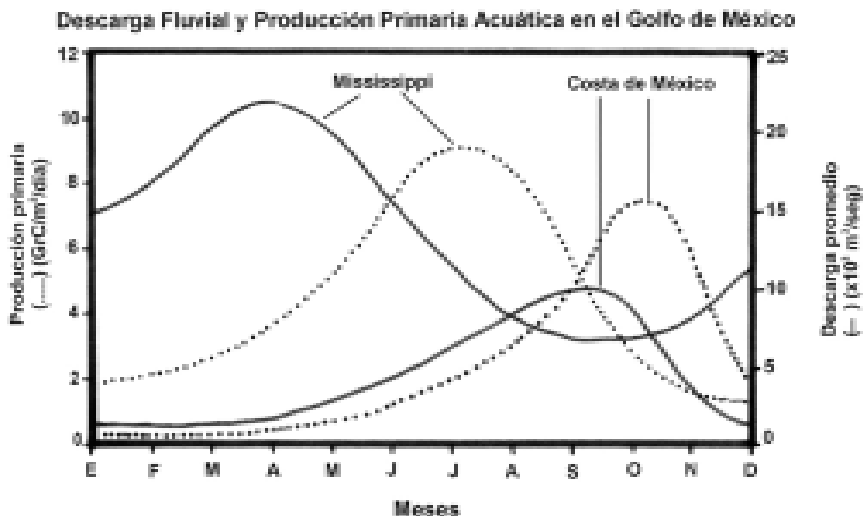
Desde esta perspectiva, el área más susceptible de hipoxia potencial en la plataforma continental mexicana del Golfo de México es la Sonda de Campeche, especialmente la región que se extiende desde LAdP a LTdU incluyendo PCdGU (cuadro 2, figura 4) y la mayor severidad debería pre-

FIGURA 13. EJEMPLOS DE ESTRUCTURA ESPACIAL Y VARIABILIDAD TEMPORAL, PROVOCADA POR LA BAJA DEL OXÍGENO DISUELTO, EN UN SISTEMA ESTUARINO TEMPLADO (A Y B), Y PLANTEAMIENTO HIPOTÉTICO PARA EL SUR DEL GOLFO DE MÉXICO (C). A). ESTRUCTURA VERTICAL ESPACIAL Y VARIACIÓN ESPACIAL RESULTANTE EN EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS POR LA DISMINUCIÓN DEL OD.



El diagrama muestra el efecto de la concentración del oxígeno en varios aspectos de interacciones predador-presa y abundancias en diferentes porciones de una columna de agua estratificada con hipoxia en la capa del fondo. B). Variación diurna del OD en la capa del fondo, en una zona mesohalina del estuario del Río Patuxent USA. Los datos muestran las concentraciones de OD cerca de Bromees Island en Maryland. Las variaciones en torno a la línea continua (4° orden polinomial $r^2=0.87$) representan la tendencia intra e interanuales para 15 años de datos. La concentración de OD en el fondo puede cambiar rápidamente si la estratificación se rompe por mezcla turbulenta de vientos de tormenta. Los datos son del Chesapeake Bay Program <www.chesapeake.net>. Modificado de Breitburg (2002). C). La analogía del patrón B) para el sur del Golfo de México, se refiere a que en octubre es el pulso máximo de mayor descarga fluvial, materia orgánica y nutrientes de los sistemas LAdP, PCdGU y LTdU; de febrero a mayo es el periodo de secas, mayor luminosidad y aumento de temperatura y, presumiblemente acumulación en el fondo de la zona frontal de la pluma estuarina; y de junio a septiembre es el periodo de verano con lluvias y mayor descomposición de materia orgánica en el fondo. Es razonable suponer que la hipoxia potencial en la Sonda de Campeche podría presentarse en la plataforma continental desde LAdP y hasta LTdU prevaleciendo con mayor severidad en los meses de junio a agosto. Esta hipótesis se explica en el texto y debe ser estudiada en el futuro inmediato.

FIGURA 14. RESULTADOS COMPILADOS DE LA DESCARGA DEL RÍO MISSISSIPPI, MOSTRANDO LOS DATOS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA INTEGRADOS A LA COLUMNA DE AGUA PARA CADA MES, EN RELACIÓN A LA DESCARGA MENSUAL PROMEDIADA DESDE 1930 A 1994



Fuente: los datos de descarga cortesía de U.S. Army Corps of Engineers; los de producción primaria de Lohrenz *et al.* (1999). Los datos de descarga para la costa mexicana del Golfo cortesía de la Comisión Nacional del Agua, periodo 1971 a 2000; los de producción primaria, estimación inferida de NOAA's Coastal Service Center, U.S. Department of Commerce. Diagrama elaborado en el Programa de Recursos Costeros, INECOL A.C. (CONACYT).

sentarse entre los meses de junio a septiembre, después de la mayor descarga fluvial (septiembre a noviembre, figuras 6, 13 y 14) y después que la columna de agua se ha estabilizado, posterior al periodo de nortes (octubre a febrero). En realidad la caída del oxígeno disuelto debería comenzar en marzo en una disminución sostenida hasta septiembre (figura 13 C). Esta hipótesis ha sido corroborada por la Dirección de Oceanografía y Biología Marina de la Secretaría de Marina de México, con datos aún no publicados (Capt. de Fragata CG, Fernando A. Angli Rodríguez, comunicación personal). Al igual que en los Estados Unidos, probablemente hay una correspondencia con grandes sistemas deltáicos frente a las áreas de

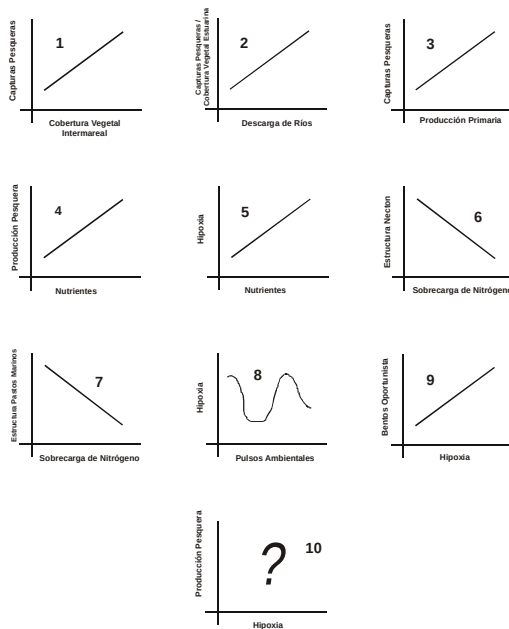
principal importancia pesquera, asociada a fondos terrígenos, e influidas por cuencas hidrológicas de extenso uso agropecuario.

Sobre este tema, Chestney *et al.* (2000) y Chestney y Baltz (2001) discuten con claridad los factores de hábitats y producción pesquera, colocando elementos interesantes de controversia sobre el impacto real de la hipoxia en los recursos pesqueros del Golfo. Esos autores establecen que, como las capturas pesqueras en Louisiana no han declinado en los últimos 40 años, no se puede atribuir a la hipoxia efectos deletéreos. Son evidentes algunos cambios en la estructura de las comunidades nectónicas, pero es muy complicado atribuirlos solamente a la hipoxia. Es probable que los efectos de la hipoxia sobre el necton en el norte del Golfo de México sean amortiguados por las características fisiográficas y geomorfológicas de la cuenca (Caddy 1993), por el tipo de recurso pesquero (Chestney y Baltz 2001) y por la dinámica del ecosistema y sus pulsos ambientales (Day *et al.* 1995, 1997).

Aplicado al escenario del sur del Golfo de México (Fig. 13 C y Fig. 14), el enfoque de Chestney y Baltz (2001) es particularmente cierto. La estacionalidad de las capturas pesqueras ha variado, pero no hay información que esto se deba a efectos deletéreos por hipoxia. En el sur del Golfo de México la productividad pesquera es importante, sostenida, variable y vinculada fuertemente a la dinámica del ecosistema, con interacción entre grupos ecológicos funcionales alternativos, la fisiografía, estrategias de los ciclos biológicos y los pulsos físico-ambientales (Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). Por lo tanto, de existir hipoxia potencial, nada se conoce sobre su relación o efectos sobre los recursos pesqueros actuales en la Sonda de Campeche. Tal vez lo pertinente es ubicar la hipoxia y los recursos pesqueros, frente a relaciones que ya se conocen y que intervienen en la discusión actual de controversia. Por ejemplo, se conoce que la producción pesquera y el enriquecimiento de nutrientes se correlacionan positivamente en diversos ecosistemas costero marinos (Nixon 1982, Nixon y Thomas 2001, Nixon y Buckley 2002, Nixon *et al.* 1986, Caddy 1993). El enriquecimiento de nutrientes y la hipoxia también se correlacionan y acoplan fuertemente (Rabalais *et al.* 1999). Pero, conforme el enriquecimiento de nutrientes se transforma en una sobrecarga, aumenta la producción primaria instantánea permitiendo una gran producción secundaria, mayor producción y captura pesqueras, previo a la declinación abrupta asociada con excesiva eutroficación o factores colaterales (Deegan *et al.* 1994, Deegan 2002). También se conoce que las capturas pesqueras se correlacionan con la vegetación intermareal (Turner 1977), pero también con la descarga de ríos y la

cobertura vegetal integrada a la superficie lagunar-estuarina (Yáñez-Arancibia *et al.* 1985). Los efectos de la estacionalidad de los pulsos ambientales condicionados por sistemas deltáicos (Day *et al.* 1995, 1997) son un factor importante en la atenuación, estacionalidad o desaparición de la hipoxia. La literatura reciente avanza en el sentido de la controversia de la correlación positiva entre vegetación costera y capturas pesqueras; descarga de ríos y producción pesquera, nutrientes y producción pesquera, o nutrientes e hipoxia; la discusión de esta década está abierta en el tema hipoxia y producción pesquera (figura 15).

FIGURA 15. SÍNTESIS DE TREINTA AÑOS DE PROBLEMAS, PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE CARACTERÍSTICAS DEL ECOSISTEMA COSTERO Y LOS RECURSOS PESQUEROS, MOSTRANDOSE LA TENDENCIA PARA LA DÉCADA DEL 2000



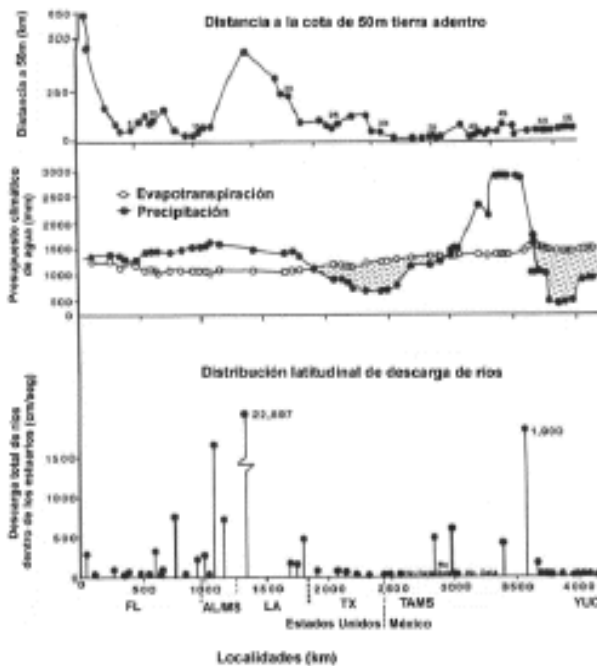
Fuente: las gráficas son conceptuales derivadas de datos reales: (1) Turner 1977, (2) Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, (3) Nixon *et al.* 1986, (4) Deegan *et al.* 1994, (5) Rabalais *et al.* 1999, (6) y (7) Deegan 2002, (8) Day *et al.* 1997, (9) Chestney *et al.* 2000, (10) Chestney y Baltz 2001.

Procesos costeros y recursos pesqueros. Ecológicamente, el sur del Golfo de México es una amplia región donde los procesos costeros y ecológicos están estrechamente interconectados. Los procesos a) climático-meteorológicos, b) sedimentarios, así como c) la descarga de los ríos son las principales variables físicas que mantienen el control de los procesos biológicos en los recursos pesqueros. Los principales hábitats de la zona costera regional (figuras 5 A y B) están en estrecha interacción ecológica estuario-mar propiciando el escenario ambiental para los recursos pesqueros (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1983, 1986, 1988; Yáñez-Arancibia *et al.* 1983) los cuales son abundantes y biodiversos aún cuando los sistemas lagunares-estuarinos son altamente dinámicos y físicamente variables (cuadro 2).

Por ejemplo, la figura 16 ilustra el gradiente del presupuesto climático del agua para toda la costa del Golfo y destaca con claridad la evaporación mucho mayor que la pluviometría en el área Texas/Tamaulipas y en Yucatán así como la gran precipitación del área Veracruz/Tabasco/Campeche; correlacionado con la enorme descarga de los ríos Misisipi y Usumacinta/Grijalva. Este escenario climático-meteorológico condiciona en gran medida los parámetros diagnosticados en el cuadro 2. Esta caracterización puede sustentar la *hipótesis* de la alta biodiversidad de peces descrita por Lara-Domínguez *et al.* (1993) para la zona costera del Golfo de México, y además, sustentar a la plataforma nerítica de Louisiana/Texas y de la Sonda de Campeche, como los dos principales centros de abundancia pesquera del Golfo de México; esto como consecuencia de la gran adaptación morfofisiológica de los organismos a un extenso ecosistema costero de enorme heterogeneidad de hábitats neríticos (Deegan *et al.* 1986, Pauly 1986, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997, Chestney *et al.* 2000, Chestney y Baltz 2001).

La utilización de los hábitats por peces costeros en las interacciones ecológicas estuario-mar no es resultado del azar. Muchas especies (particularmente las dominantes) benefician significativamente su alimentación, reproducción y estados juveniles, explotando tiempo y espacio de alta productividad en el sistema costero mediante importantes adaptaciones evolutivas (Day *et al.* 1989, Rojas-Galavíz *et al.* 1992; Yáñez-Arancibia *et al.* 1980, 1985, 1993). Al interpretar ecológicamente la dinámica ambiental del sistema, se encuentran las respuestas y explicaciones a las pautas de comportamiento de los recursos biológicos, a los mecanismos de su productividad y a la interacción (física y biológica) de la plataforma continental con las aguas protegidas del litoral. Por ejemplo, Yáñez-Arancibia y Pauly (1986) sinteti-

FIGURA 16. GRADIENTE DEL SUR DE FLORIDA AL NORTE DE YUCATÁN EN EL GOLFO DE MÉXICO. A) DISTANCIA DE LA LÍNEA DE COSTA HASTA LA COTA DE 50M TIERRA ADENTRO. CADA PUNTO CORRESPONDE A UN SISTEMA LAGUNAR ESTUARINO (N=64) EN DEEGAN ET AL. (1986). B) EL PRESUPUESTO CLIMÁTICO DE AGUA (ÁREA SOMBREADA REPRESENTA LA EVAPOTRANSPIRACIÓN QUE EXCEDE A LA PLUVIOMETRÍA). C) DESCARGA FLUVIAL EN SUMATORIA ANUAL (m^3/SEG). SE DESTACA LA EXTENSA LLANURA COSTERA DEL ÁREA MISSISSIPPI/LOUISIANA. LA EVAPORACIÓN MUCHO MAYOR QUE LA PLUVIOMETRÍA EN EL ÁREA TEXAS/TAMAULIPAS Y EN YUCATÁN. LA GRAN PRECIPITACIÓN DEL ÁREA VERACRUZ/TABASCO/CAMPECHE. Y LA ENORME DESCARGA FLUVIAL DEL DELTA DEL MISSISSIPPI Y DELTA GRIJALVA/USUMACINTA. VER CUADRO 2 Y FIGURAS 4 Y 6



zan los resultados de un taller de expertos que ejemplifican con claridad que en las costas tropicales como las del Golfo de México, los procesos ecológicos costeros modulan y condicionan el éxito del reclutamiento biológico en primer lugar, y enseguida el pesquero. En este sentido, las figuras 17 y 18 de Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia (1997) muestran, para dos grupos ecológicos

funcionales diferentes, la correlación positiva entre el reclutamiento biológico en sistemas lagunares-estuarinos, con la descarga fluvial y productividad primaria acuática descritos en las figuras 6 y 14. Esto es evidente para especies del Grupo A (figura 17), pero también la correlación se sostiene con el desplazamiento de la productividad primaria acuática hacia la plataforma continental vía la pluma estuarina, en especies del Grupo D (figura 18), cuyo reclutamiento tanto biológico como pesquero ocurre en la plataforma condicionado no sólo por batimetría y ambiente sedimentario, sino por la estacionalidad de la productividad primaria acuática y pluviometría/descarga de agua dulce, descrito en las figuras 4, 6 y 14.

Es razonable suponer que este planteamiento también puede ser válido, en mayor o menor medida, en la zona costera de la Laguna Madre en Tamaulipas, las lagunas de Tamiahua y Alvarado en Veracruz, los pantanos costeros en Tabasco, la ría Celestún en Yucatán y algunos sistemas como Bahía Chetumal en el Caribe Mexicano, en función del gradiente latitudinal descrito en el cuadro 2.

El Golfo de México es uno de los sistemas más importantes del mundo para comprender científicamente las pesquerías tropicales y subtropicales en el contexto del ecosistema costero (Pauly 1986, Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Longhurst y Pauly 1987). La plataforma continental del sur del Golfo de México es una región con grandes perspectivas de expandir sus capturas, puesto que actualmente se estiman unas 350 mil toneladas anuales de capturas incidentales en la pesca del camarón y pesca de arrastre, que finalmente no se utilizan, abarcando desde Tamaulipas hasta Yucatán. Pero lo más notable es que estos recursos de múltiples especies utilizan intensamente la zona costera para actividades de alimentación, refugio, crecimiento o reproducción, reconociéndose más de 300 especies de peces en la plataforma nerítica del Golfo, de las cuales cerca del 75% utilizan o dependen de las lagunas costeras y estuarios para completar parte de su ciclo de vida en intensas interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil 1986, 1988; Yáñez-Arancibia 1985, 1994, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997).

Otros aspectos ecológicos notables que se conocen del Golfo son las relaciones de los volúmenes de captura de los recursos pesqueros con el ecosistema. Por ejemplo, se han podido estimar correlaciones logarítmicas importantes entre los volúmenes de las capturas de peces y crustáceos y la descarga de ríos, la vegetación litoral de las aguas protegidas y la superficie de sistemas lagunares-estuarinos (Turner 1977, Yáñez-Arancibia *et al.* 1985,

FIGURA 17. MODELO DEL CICLO DE VIDA DE PECES EN EL “GRUPO ECOLÓGICO FUNCIONAL A” DE SÁNCHEZ-GIL Y YÁÑEZ-ARANCIBIA (1997). ESPECIES MARINAS ESTUARINO-DEPENDIENTES. PATRÓN ESTACIONAL DE RECLUTAMIENTO (PAQUETE FAO ICLARM STOCK ASSESSMENT) Y PARÁMETROS DE ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN DE LA “ESPECIE EJEMPLO”. EL RECLUTAMIENTO BIOLÓGICO (4) Y LA ALIMENTACIÓN OCURREN DENTRO DEL SISTEMA LAGUNAR-ESTUARINO ASOCIADO A LOS MESES DE AGOSTO Y SEPTIEMBRE (LLUVIAS; MAYOR PRODUCTIVIDAD DE MANGLA-RES Y FITOPLANCTON AL INTERIOR DEL SISTEMA), PERO EL RECLUTAMIENTO PESQUERO (3) Y EL CRECIMIENTO OCURREN FUERA DEL SISTEMA DE AGUA PROTEGIDAS EN LOS MESES DE OCTUBRE A DICIEMBRE (LA MAYOR DESCARGA DE RÍOS HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL, SOBRE LA PLUMA ESTUARINA) CON LA MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN EL MAR ADYACENTE

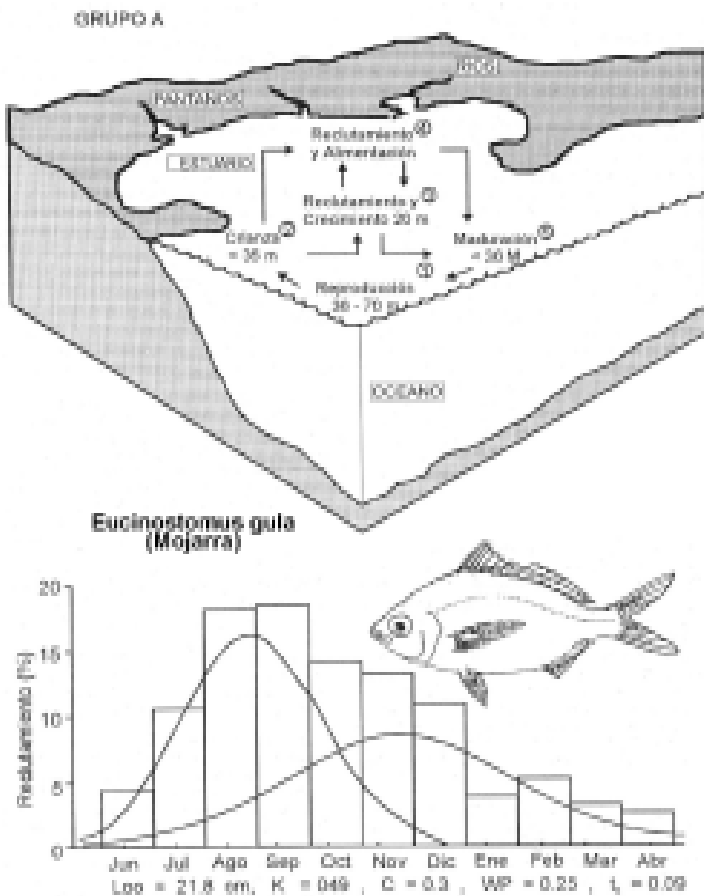


FIGURA 18. MODELO DEL CICLO DE VIDA DE PECES EN EL “GRUPO ECOLÓGICO FUNCIONAL D” DE SÁNCHEZ-GIL Y YÁÑEZ-ARANCIBIA (1997). ESPECIES MARINAS NO RELACIONADAS A ESTUARIOS PERO INFLUIDAS POR LA PLUMA ESTUARINA. PATRÓN ESTACIONAL DE RECLUTAMIENTO (PAQUETE FAO ICLARM STOCK ASSESSMENT) Y PARÁMETROS DE ESTRUCTURA DE LA POBLACIÓN DE LA “ESPECIE EJEMPLO”. SE SEÑALA EL PULSO DE RECLUTAMIENTO PRINCIPAL ENTRE OCTUBRE Y DICIEMBRE (LA MAYOR DESCARGA DE RÍOS HACIA LA PLATAFORMA CONTINENTAL, SOBRE LA PLUMA ESTUARINA) QUE COINCIDE CON LA MAYOR PRODUCCIÓN PRIMARIA ACUÁTICA EN LA ZONA FRONTAL

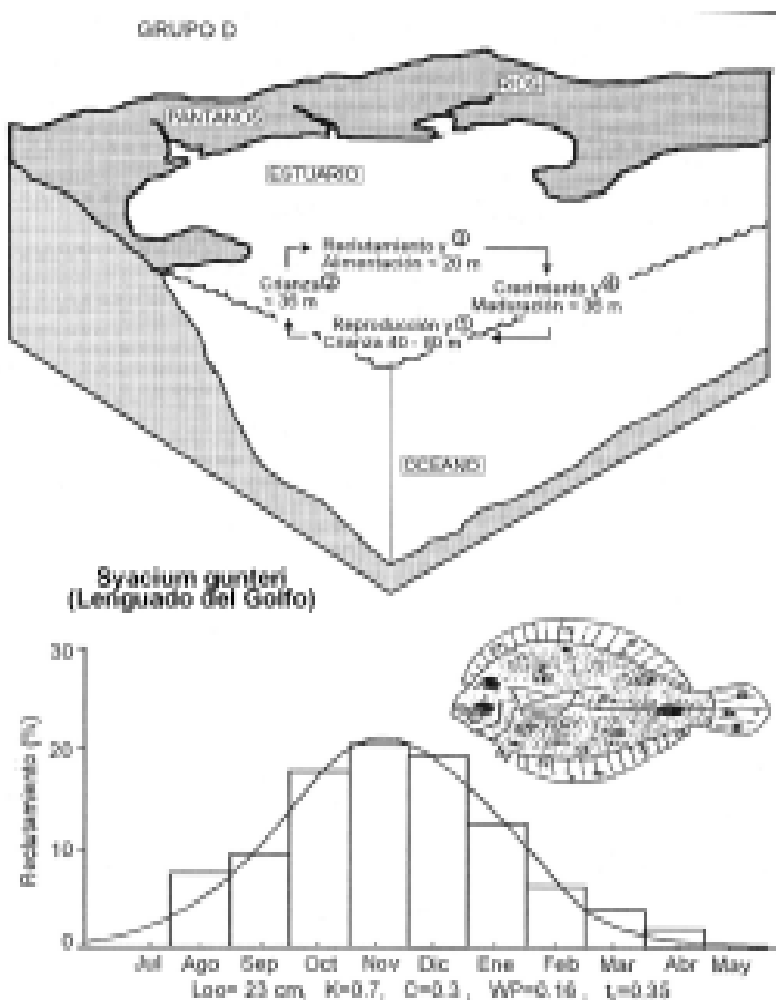
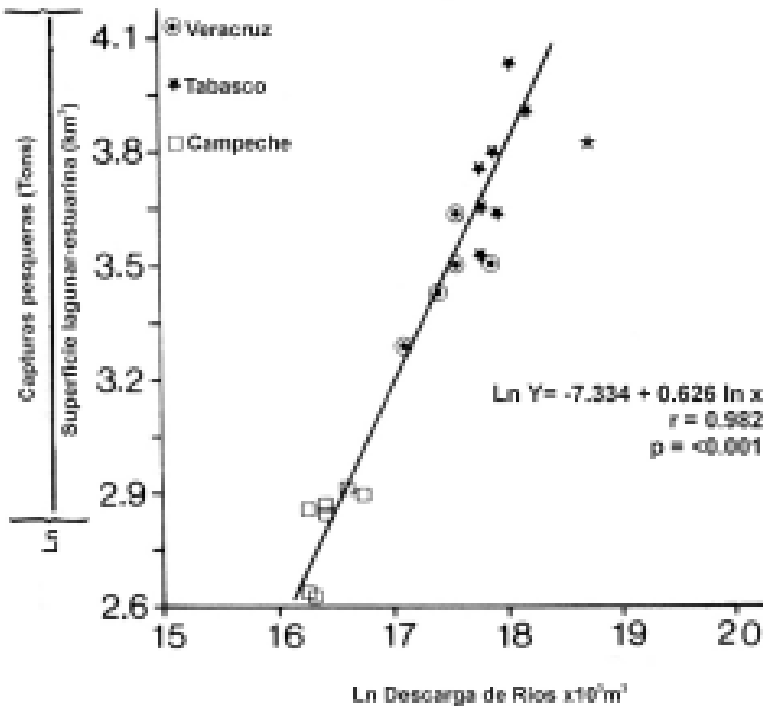


FIGURA 19. REGRESIÓN LOGARÍTMICA LINEAL (Ln) ENTRE LAS CAPTURAS PESQUERAS (TONELADAS ANUALES) POR SUPERFICIE LAGUNAR-ESTUARINA (INCLUYENDO ÁREA DEL CUERPO DE AGUA Y COBERTURA VEGETAL ASOCIADA) Y EL PROMEDIO ANUAL DE DESCARGA DE RÍOS, PARA EL GOLFO DE MÉXICO



Fuente: los datos para los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche son del periodo 1973-1983 cortesía de INEGI, ex Secretaría de Pesca, y ex Secretaría de Recursos Hidráulicos (en Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, y Deegan *et al.* 1986). Los datos para los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche son del periodo 1973-1983 cortesía de INEGI, ex Secretaría de Pesca, y ex Secretaría de Recursos Hidráulicos (en Yáñez-Arancibia *et al.* 1985, y Deegan *et al.* 1986).

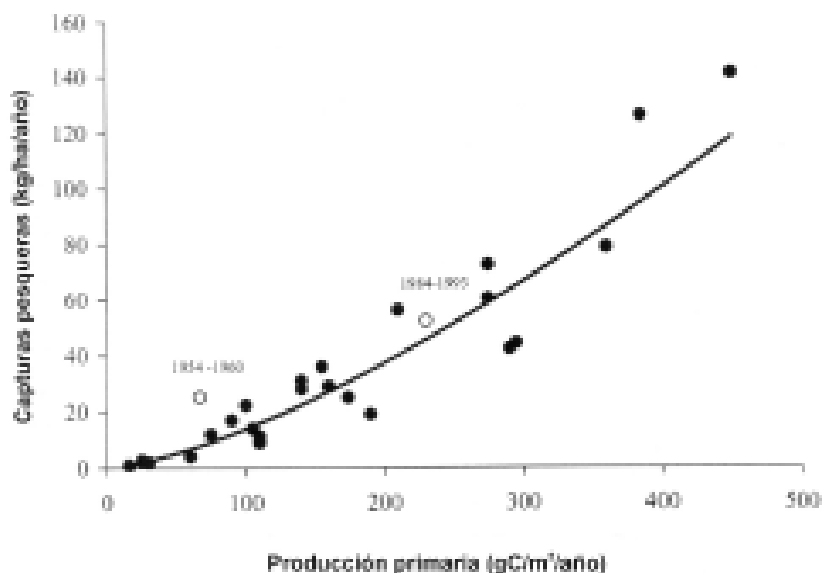
1993; Deegan *et al.* 1986). La figura 19 analiza no sólo la superficie lagunar-estuarina (incluyendo el área del cuerpo de agua y el área de la cobertura vegetal asociada), sino también el promedio anual de descarga de ríos para el Golfo de México.

Por lo tanto, comprendiendo contextual y conceptualmente la figura 19, pero también revisando la síntesis de 30 años de problemas, preguntas y respuestas sobre el vínculo de los recursos pesqueros con las características del ecosistema costero, presentado en la figura 15, quedan pocas dudas de la dependencia de los recursos pesqueros respecto a los procesos ecológicos de los ecosistemas costeros. Estos ejemplos son fundamentales para la comprensión de las pesquerías de la región en el contexto integral del ecosistema litoral del Golfo de México, y visualizar su umbral de “incertidumbre” ante el deterioro ambiental y el ocaso de la calidad del agua y de los hábitats costeros involucrados.

Una mirada retrospectiva a la figura 15 nos muestra que todavía se hacen esfuerzos importantes para vincular la producción primaria condicionada por procesos costeros, con la producción secundaria, concretamente con los recursos pesqueros (Yáñez-Arancibia *et al.* 1993, Nixon y Buckley 2002, figura 20). Aun cuando los esfuerzos recientes se han concentrado en ecosistemas costeros de latitudes intermedias o altas, en las costas tropicales esto es aparentemente bien conocido desde hace más de dos décadas (Nixon 1982, Yáñez-Arancibia 1985, 1994, Yáñez-Arancibia y Pauly 1986, Yáñez-Arancibia *et al.* 1980, 1988, 1993, Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil 1988, Sánchez-Gil y Yáñez-Arancibia 1997). El punto común de incertidumbre es la “sustentabilidad” del modelo de las figuras 19 y 20. Es razonable suponer que en ninguno de los dos casos la pendiente podría mantenerse frente al deterioro de los procesos costeros que condicionan la regresión logarítmica, especialmente si se observa el modelo general de Day *et al.* (1997) para el Golfo de México, confrontando áreas de tierras naturales y reconversión de humedales en aguas abiertas en relación con la caída abrupta de la productividad total neta de la zona costera en el Golfo de México (figura 21). Esta figura es, al inicio del siglo XXI, una luz roja ya encendida permanentemente en el Golfo de México.

En el marco conceptual para el manejo ambiental costero de los recursos pesqueros, la incertidumbre de la sustentabilidad queda marcada por la urgente protección para la persistencia de las interacciones ecológicas estuario-mar (Yáñez-Arancibia *et al.* 1991), la preservación de la cobertura vegetal de los humedales costeros (Rojas Galavíz *et al.* 1992, Yáñez-Arancibia *et al.* 1988, 1993), la protección de los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos (Ortíz Pérez y Benítez 1996), y el mantenimiento de el suministro de agua dulce a los estuarios vía descarga fluvial (Powell *et al.* 2002, Yáñez-Arancibia *et al.* 2003); a fin de asegurar la persistencia de la

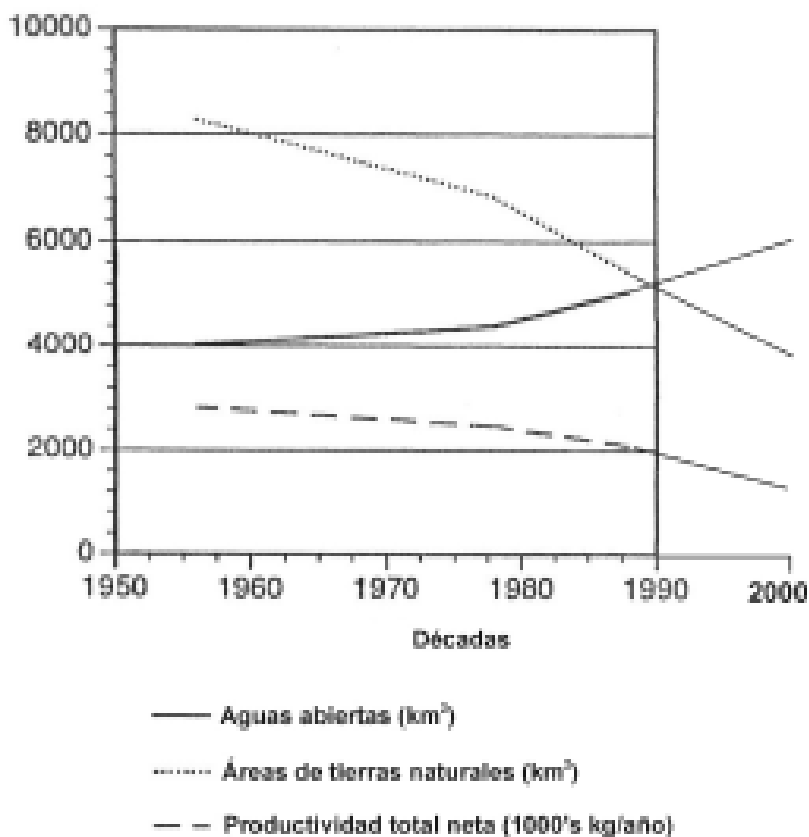
FIGURA 20. RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA (CAPTURA DE C^{14} PARTICULADO) Y CAPTURA DE PESQUERÍAS COMERCIALES EN ALGUNOS ECOSISTEMAS COSTERO-MARINOS CON ESTRUCTURA TROFICA BASADA EN EL FITOPLANCTON. LOS DATOS NO SON NECESARIAMENTE CONTEMPORÁNEOS (NIXON Y THOMAS 2001). LOS CÍRCULOS ABIERTOS SON DATOS DEL KATTEGAT DURANTE DOS DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. EL INCREMENTO EN PRODUCCIÓN PRIMARIA ES CONSISTENTE CON EL INCREMENTO EN APOORTE DE NITRÓGENO (RICHARDSON Y HEILMANN 1995). LA CAPTURA POR UNIDAD DE ÁREA ESTÁ CALCULADA PARA EL ÁREA DEL KATTEGAT 22,177 km^2 .



Fuente: modelo según Nixon y Buckley 2002.

fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica (Day *et al.* 1995, 1997). Por lo tanto, con el enfoque de “procesos costeros y recursos pesqueros”, se puede precisar que los principales problemas ambientales a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: **a)** la pérdida de hábitats, **b)** pérdida de biodiversidad, **c)** contaminación de aguas y sedimentos, **d)** aumento de turbidez y nutrientes, **e)** reducción del aporte de agua dulce y de su calidad a la planicie costera, **f)** alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión, **g)** erosión litoral, y **h)** deterioro de la salud pública.

FIGURA 21. LA PÉRDIDA DE LA CUBIERTA VEGETAL ORIGINAL Y LA DISMINUCIÓN DE HUMEDALES AUMENTANDO CUERPOS DE AGUA POR DRAGADOS Y CANALIZACIÓN SE RELACIONA DIRECTAMENTE CON LA DISMINUCIÓN DE PRODUCTIVIDAD NETA DE LA ZONA COSTERA (KG PSECO/AÑO). EL ÁREA DE TIERRAS NATURALES INCLUYE HUMEDALES FORESTADOS, HUMEDALES DULCEACUÍCOLAS Y MARISMAS SALOBRES, PERO EXCLUYE ÁREAS DESARROLLADAS DE AGRICULTURA. LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA ESTÁ INCORPORADA EN LA PRODUCTIVIDAD TOTAL NETA QUE DECRECE MARCADAMENTE EN LA DÉCADA DE LOS 90's. LA GRÁFICA ILUSTRAS LAS COSTAS DE LOUISIANA, SEGÚN EL MODELO DE DAY *ET AL.* (1997), PERO SU PROYECCIÓN ANALÓGICA ES TANTO O MÁS SEVERA PARA LAS COSTAS DE MÉXICO, PUESTO QUE LA PÉRDIDA EN VERACRUZ ES 87%, EN TABASCO 65%, EN CAMPECHE 50%



Fuente: base de datos del Programa de Recursos Costeros, INECOL A.C., CONACYT).

SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

1. Las interacciones ecológicas estuario-mar permiten interpretar el vínculo entre el ambiente dulceacuícola costero y marino adyacente, lo cual se comprende en el Golfo de México comparando sistemas lagunares-estuarinos contrastantes en un amplio rango latitudinal.
2. El sentido de un diagnóstico ambiental es de interpretar ecosistemas y ofrecer información integrada para la toma de decisiones y el manejo de recursos naturales, para lo cual es fundamental la precisión de los conceptos de zona costera, estuario, laguna costera, sistema lagunar-estuarino, ambiente clástico de depósito, facies, pluma estuarina, y pulsos ambientales.
3. La dinámica de las interacciones ecológicas estuario-mar está condicionada por un “molde” geomorfológico e hidrodinámico, a su vez condicionado por la fisiografía y los pulsos climático-meteorológicos.
4. Los resultados que se muestran en las figuras y en el Cuadro 2 sugieren con claridad que, por las interacciones ecológicas estuario-mar, se observa una región distintiva desde LMT hasta LTV, que pudiese prolongarse hasta el centro norte del estado de Veracruz. Asimismo, la región que va desde LAdP hasta LTdU, incluyendo PCdGU, es claramente diferente de la anterior, se diferencia ecológicamente de la costa de la península de Yucatán.
5. Los sistemas descritos en este capítulo proveen ejemplos de la heterogeneidad lagunar-estuarina que existe en el Golfo de México y Mar Caribe (cuadro 2). Pueden ser divididos en cuatro categorías. Sistemas lagunares-estuarinos semiáridos (LMT y LCY), sistemas intermedio no dominados por ríos (LTV), sistemas dominados por ríos (LAdP, PCdGU y LTdU), y sistemas kársticos del litoral Caribe (LPMQ y LSQ).
6. Los sistemas semiáridos LMT y LCY, aún distantes latitudinalmente, se parecen en que están dominados por procesos marinos y tienen limitado aporte de agua dulce. Difieren en que LMT tiene largo tiempo de residencia y alta retención de nutrientes, en comparación con LCY.
7. El presupuesto climático del agua, la descarga de ríos, el tiempo de residencia de la zona de mezcla, la concentración de nutrientes y fertilizantes, y la eficiencia del entrampamiento de sedimentos, permiten sugerir que los sistemas estudiados en la zona costera del Golfo y Caribe (exceptuando LPMQ y LSQ), son altamente susceptibles a la eutroficación pero ésta puede ser aún mayor en los sistemas LAdP, PCdGU y LTdU.

8. Los sistemas dominados por ríos se expresan en un importante delta pogradante y una amplia pluma estuarina sobre la plataforma continental (i.e., LAdP, PCdGU, LTdU). Comparativamente tienen un menor tiempo de residencia de sus aguas mezcladas que los sistemas semiáridos, que es mucho menor durante los periodos de mayor descarga de los ríos, lo cual aumenta la descarga de nutrientes y sedimentos hacia el océano, a través de las bocas estuarinas.
9. El resultado neto de estos procesos es que estos sistemas dominados por ríos no acumulan grandes cantidades de sustancias inorgánicas disueltas durante la época de “nortes”, como ocurre en sistemas con largo tiempo de residencia. El efecto sinérgico con la temperatura, y la buena disponibilidad de luz, coadyuvan a sostener altas tasas de producción fitoplanctónicas en el frente de la pluma estuarina casi todo el año. Por lo tanto el fitoplancton es un importante regulador de la dinámica de los nutrientes en estos sistemas y los valores en el Golfo de México pueden llegar hasta $350 \text{ gCm}^2/\text{año}$.
10. Puesto que la carga de nutrientes en estos sistemas dominados por ríos en el Golfo de México es primariamente resultado de una gran descarga más que de una gran concentración de nutrientes, se sugiere que estos sistemas se ubican por debajo de otros en la relación establecida entre “producción fitoplanctónica vs. concentración clorofilas” y carga de nutrientes. Al mismo tiempo, los pulsos ambientales estacionales en estos sistemas someros son muy importantes para sostener la productividad marino-costera en la plataforma nerítica del Golfo de México.
11. Hay suficiente información para entender que la productividad acuática de la plataforma continental desde la Sonda del Misisipi y hasta la Sonda de Campeche está condicionada por procesos costeros (i.e., descarga de ríos, circulación litoral, mareas, corrientes residuales, vientos, cobertura vegetal costera), y está correlacionada con la provincia sedimentaria terrígena, en una dinámica interacción ecológica estuario-mar, como reflejo de importantes frentes de plumas estuarinas. Diversas imágenes de satélite refuerzan la hipótesis de que los procesos costeros modulan la fertilidad acuática y su estacionalidad en la zona costera mexicana del sur del Golfo”.
12. La susceptibilidad de los sistemas lagunares-estuarinos a eutroficarse y declinar su patrón de pesquerías sustentables en la plataforma nerítica es el principal efecto de la disminución persistente de la cobertura vegetal natural de las cuencas hidrológicas y de los humedales asociados a la cuenca estuarina, así como de la calidad del agua en la zona de mezcla.

13. La eutroficación se liga directamente con el incremento de la hipoxia y el florecimiento de algas tóxicas, así como con un aumento de la bioacumulación de compuestos orgánicos e inorgánicos nocivos en los niveles tróficos superiores de la trama trófica costera estuarino-dependiente. Por la magnitud de las interacciones ecológicas estuario-mar, hipotéticamente en la región que va desde LAdP hasta PCdGU, se encuentra la plataforma continental nerítica con mayor potencial a presentar hipoxia importante en el corto plazo.
14. Con el análisis de las interacciones ecológicas estuario-mar, se establece que los principales problemas a los que se enfrenta la gran cuenca del Golfo son: a) pérdida de hábitats esenciales, b) contaminación de agua y sedimentos, c) aumento de turbidez y nutrientes, d) reducción de la descarga de agua dulce y su calidad a la llanura costera, e) alteración de la dinámica estuarina y sus bocas de conexión, f) erosión litoral, g) pérdida de biodiversidad y h) deterioro a la salud publica.
15. Con el enfoque de ecología funcional, el manejo ambiental de la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe, tiene un gran desafío: a) asegurar el funcionamiento de las interacciones ecológicas estuario-mar, b) preservar la cobertura vegetal de los humedales costeros, c) proteger los ambientes sedimentarios en las cuencas bajas de los ríos, y d) mantener el suministro de agua dulce a los estuarios para asegurar la persistencia de la fertilidad acuática sobre la plataforma continental nerítica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca L.G. y E. Valero Pacheco 1993. Toward a trophic model of Tamiahua a coastal lagoon in México, p. 181-185. En: V. Christensen y D. Pauly (eds.) *Trophic Models of Aquatic Ecosystems*. ICLARM Conference FAO/DANIDA Proceedings, 26: 390 pp.
- Alvarez Guillén, H., M. C. García, M. Tapia García, G. J. Villalobos y A. Yáñez-Arancibia 1986. Prospección ictioecológica de la zona de pastos marinos de la laguna arrecifal en Puerto Morelos, Quintana Roo (Verano 1984): Nota científica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (3): 303-322.
- Anderson, D.M., P. Gilbert y J.M. Burkholder 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 25(4b): 704-726.
- Arreguín, F., E. Valero Pacheco y E. Chávez 1993. A trophic box model of the coastal fish communities of the Southwestern Gulf of Mexico, p. 197-205. En : V. Christensen y D. Pauly (eds.) *Trophic Models of Aquatic Ecosystems*, ICLARM Conference FAO/DANIDA Proc. 26: 390 pp.

- Barba Macías, E. 2003. Energy fluxes in seagrass ecosystem from a hypersalinity coastal lagoon, Laguna Madre Tamaulipas, México. ERF 2003 Conference Abstracts, Seattle WA, p. 11.
- Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley, 1999. Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries : Implications for Management, p. 407-421. En : Bianchi, T.S., J.R. Pennock, R.R. Twilley (eds.). *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. New York 428 pp.
- Bird, E.C.F., 1968. *An Introduction to Systematic Geomorphology*. Coast, Vol. 4. The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 246 pp.
- Boyd, R., R. Dalrymple y B.A. Zaitlin, 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, 80: 139-150.
- Breitbart, D. 2002. Effects of hypoxia, and balance between hypoxia and enrichment on coastal fisheries. *Estuaries*, 25 (4b): 767-781.
- Caddy, J.E., 1993. Towards a comparative evaluation of human impacts on fishery ecosystems of enclosed and semi-enclosed seas. *Reviews in Fisheries Science*, 1: 57-95.
- Cardoch, L., J.W. Day y C. Ibáñez, 2002. Net primary productivity as an indicator of sustainability in the Ebro and Mississippi deltas. *Ecological Applications*, 12(4): 1044-1055.
- Chestney, E.J., D. Baltz y R.G. Thomas, 2000. Louisiana estuarine coastal fisheries and habitats : perspectives from a fish's eye view. *Ecological Application*, 10(2) : 350-366.
- Chestney, E.J. y D. Baltz, 2001. The effects of hypoxia on the northern Gulf of Mexico coastal ecosystem : A fisheries perspective, p. 321-354. In : Coastal Hypoxia : Consequences for Living Resources and Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies. American Geophysical Union, Washington D.C.
- Chua, T.E. y L.F. Scura (Eds.), 1992. Integrative Framework and Methods for Coastal Area Management. *ICLARM Conference Proceeding*, 37: 169 pp.
- Chua, T.E. y D. Pauly (Eds.), 1989. Coastal Area Management in Southeast Asia : Policies, Management, Strategies and Case Studies. *ICLARM Conference Proceeding*, 19 : 254 pp.
- Cicin-Sain, B. y R. Knecht, 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press, Washington D.C., 517 pp.
- Dalrymple, R.W., B.A. Zaitlin y R. Boyd, 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62: 1130-1146.
- Day, J.W. y A. Yáñez-Arancibia, 1982. Coastal lagoons and estuaries: ecosystem approach. *Ciencia Interamericana OEA Washington D.C.*, 22(1-2): 11-26.
- Day, J.W., Ch.A.S. Hall, M. Kemp y A. Yáñez-Arancibia, 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley Interscience, John Wiley & Sons Inc. New York, 558 pp.

- Day, J.W., D. Pont, P. Hensel y C. Ibañez, 1995. Impacts of sea level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: The importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*, 18: 636-647.
- Day, J.W., J.F. Martin, L. Cardoch y P.H. Templet, 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management*, 25 (2): 115-153.
- Day, J.W., R. H. Day, M.T. Barreiro, F. Ley Lou y C. J. Madden, 1982. Primary production in Terminos Lagoon, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta, Spec. Vol.* 5(4): 269-276.
- Day, J.W., W. Conner, F. Ley Lou, R. Day y A. Machado, 1987. The productivity and composition of mangrove forest, Laguna de Terminos Mexico. *Aquatic Botany*, 27: 267-284.
- Day, J.W., C. J. Madden, F. Ley Lou, R. L. Wetzel y A. Machado, 1988. Aquatic primary productivity in the Terminos Lagoon, Cap. 13 : 221-236. En: Yáñez-Arancibia, A. y J.W. Day (eds.) *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMYL-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México DF, 518 pp.
- David, L.T. y B. Kjerfve, 1998. Tides and currents in a two-inlet coastal lagoon: Laguna de Terminos México. *Continental Shelf Research*, 18(10): 1057.
- Deegan, L., 2002. Lessons learned: the effects of nutrient enrichment on the support of nekton by seagrass and salt marsh ecosystems. *Estuaries*, 25 (4): 727-742.
- Deegan, L., J. Hughes, y R. Rountree, 2002. Salt marsh ecosystem support of marine transient species, p. 333-365. En: M.P. Weinstein y D. A. Kreeger (eds.) *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam The Netherlands, 874 pp.
- Deegan, L., J.W. Day, J.G. Gosselink, A. Yáñez-Arancibia, G. Soberón-Chávez y P. Sánchez-Gil 1986. Relationships among physical characteristics, vegetation distribution, and fisheries yield in Gulf of Mexico estuaries, p. 83-100. En: D.A. Wolfe (ed.) *Estuarine Variability*. Academic Press Inc., New York, 510 pp.
- Deegan, L., J.T. Finn, Ch. Hopkinson, A. Giblin, B. Peterson, B. Fry y J. Hobbie, 1994. Flow model analysis of the effects of organic matter-nutrient interactions on estuarine trophic dynamics. p. 237-281. En: Dyer, K.R. y R.J. Orth (eds.) *Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management*. ECSA/ERF Symposium. Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 pp.
- Dyer, K.R. y R.J. Orth (eds.), 1994. *Changes in Fluxes in Estuaries: Implications from Science to Management*. ECSA/ERF Symposium. Institute of Marine Studies, University of Plymouth. Olsen & Olsen, International Symposium Series, 485 pp.

- Harris, P. T. y A. D. Heap, 2003. Environmental management of clastic coastal depositional environments: inferences from an Australian geomorphic data base. *Ocean & Coastal Management*, 46 : 457-478.
- Harris, P.T., A. D. Heap, S. M. Bryce, R. Porter-Smith, D. A. Ryan y D. T. Heggie, 2002. Classification of Australian clastic coastal depositional environments based upon a quantitative analysis of wave, tide and river power. *Journal of Sedimentary Research*, 72(6): 858-870.
- Herrera Silveira, J. A., I. Medina-Gómez, N. Aranda-Cicerol, J. A. Zaldivar, J. Ramírez y J. Trejo, 2002. Trophic status in coastal waters of the Yucatán Peninsula (SE México) using water quality indicators, p. 351-359. En: Brevia, C. A. (ed.) *Environment Problems in Coastal Regions IV*. Wit-Press, Southampton, Boston MA.
- Kjerfve, B. (ed.), 1978. *Estuarine Transport Processe*. Belle W. Baruch Institute Marine Biology Coastal Research. University of South Carolina Press, Columbia SC, 330 pp.
- Kjerfve, B. (ed)., 1994. *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier Sci., Oceanography Series, 60: 577 pp.
- Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.), 1999. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability, and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal lagoons of Mexico, their origin and classification, p. 182-215. En: Wiley, M. (ed.) *Estuarine Processes*. Academic Press Inc., New York. v II, 428 pp.
- Lohrenz, S.E., D.A. Wiesenburg, R.A. Arnone y X. Chen, 1999. What controls primary production in the Gulf of Mexico ?, Cap. 9: 151-170. En : Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Lara-Domínguez, A. L., F. Arreguín y H. Alvarez-Guillén, 1993. Biodiversidad y el uso de los recursos naturales: las comunidades de peces en el sur del Golfo de México. *Revta. Soc. Mex. Hist. Nat. Vol. Espec.* (54) : 345-385.
- Lasserre, P. y H. Postma (Eds.), 1982 Coastal Lagoons. *Oceanologica Acta. Spec*, Vol. 5 (4): 462 pp.
- Lauff, G. H. (ed.), 1967. *Estuaries. American Association for the Advancement of Science*. Washington DC, 83: 757 pp.
- Longhurst, A. y D. Pauly, 1987. *Ecology of Tropical Oceans*. Academic Press Inc., San Diego California, 407 pp.
- López-Portillo, J., D. Zárate Lomelí y J. L. Rojas, 1999. *Ordenamiento Ecológico de la Zona Costera Central de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo*. Instituto de Ecología A.C., BANAMEX, SEMARNAT, Xalapa Ver., 343 pp.

- Moore, K.A. y R.L. Wetzel, 1988. The distribution and productivity of seagrass in the Terminos Lagoon Mexico. Cap. 12: 207-220. En: Yáñez-Arancibia, A. y J.W. Day (eds.) *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMYL-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México, 518 pp.
- Montagna, P.A., M. Alber y P.M. Doering (eds.), 2002. Freshwater Inflow: Science, Policy, Management. *Estuaries*, 25 (6B) Special Issue, pp. 1243- 1456.
- Nixon, S. W., 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta, Spec. Vol. 5 (4)* : 231-242.
- Nixon, S.W. y A. Thomas, 2001. On the size of the Peru up-welling ecosystem. *Deep-Sea Research I*, 48: 2521-2528.
- Nixon, S.W. y B. Buckley, 2002. A strikingly rich-zone : nutrient enrichment and secondary production in coastal marine ecosystems. *Estuaries*, 25 (4b): 782-796.
- Nixon, S. W., C.A. Oviatt, J. Frithsen y B. Sullivan, 1986. Nutrients and the productivity of estuarine and marine coastal ecosystems. *J. Limnological Society of Southern Africa*, 12: 47-71.
- Officer, C. B., 1976. *Physical Oceanography of Estuaries and Associated Coastal Waters*. John Wiley & Sons, New York, 465 pp.
- Ortiz Pérez, M.A. y J. Benítez, 1996. Elementos teóricos para el entendimiento de los problemas de impacto ambiental en planicies deltáicas: la región de Tabasco y Campeche, p. 483-503. En . Botello, A.V., J.L. Rojas, J. A. Benítez y D. Zarate Lomelí (eds.) *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 5, 666 pp.
- Ortiz Pérez, M. A., C. Valverde y N. P. Psuty, 1996. The impacts of sea-level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast, p. 459-470. En: Botello, A.V., J.L. Rojas, J. A. Benítez y D. Zarate Lomelí (eds.) *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad A. de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 5, 666 pp.
- Pauly, D. 1986. Problems of tropical inshore fisheries: fishery research on tropical soft bottom communities and the evolution of its conceptual base. En: Borgese, E. M. y N. Ginsburg (eds.) *Ocean Year Book 6*. The University of Chicago Press, London, pp. 29-54.
- Powell, G. L., J. Matsumoto y D. A. Brock, 2002. Methods for determining minimum freshwater inflow need of Texas bays and estuaries. *Estuaries*, 25 (6B): 1262-1274.
- Rabalais, N. N. y S.W. Nixon (eds.), 2002. Nutrient Over-Enrichment in Coastal Waters : Global Patterns of Cause and Effect. *Estuaries*, 25(4b) Special Issue : 639-900.
- Rabalais, N. N., R. E. Turner y W.J. Wiseman, 1999. Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: linkage with the Mississippi river, Cap. 18: 297-322. En: Kumpf, H., K.

- Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Assessment, Sustainability and Management*. Blackwell Science, Malden MA, 704 pp.
- Richardson, K. y J.P. Heilmann, 1995. Primary production in the Kattegat: past and present. *Ophelia*, 41: 317-328.
- Rojas Galavíz, J.L., F. Vera-Herrera, A. Yáñez-Arancibia y J.W. Day, 1992. Estuarine primary producers: the Terminos Lagoon a case study, Chap. 10: 141-154. En: U. Seeliger (ed.) *Coastal Plant Communities in Latin America*. Academic Press Inc. New York, 392 pp.
- Rozas, L. P., J. A. Nyman, C. E. Proffit, N. N. Rabalais, D. J. Reed y R. E. Turnes (eds.), 1999. *Recent Research in Coastal Louisiana: Natural Systems Function and Response to Human Influences*. Louisiana sea Grant College Program, Baton Rouge LA, 304 pp.
- Schroeder, W.W. y W.J. Wisemann, 1999. Geology and hydrodynamics of Gulf of Mexico Estuaries, Cap. 1: 3-28. En: T.S. Bianchi, J.R. Pennock y R. R. Twilley (eds.) *Biogeochemistry of Gulf Of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons Inc. New York, 426 pp.
- Solis, R.S. y G.L. Powell, 1999. Hydrography, mixing characteristics and residence times of Gulf of Mexico estuaries, Chap. 2: 29-61. En: Bianchi, T.S., J.R. Pennock y R.R. Twilley (eds.) *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 428 pp.
- Sánchez-Gil, P. y A. Yáñez-Arancibia, 1997. Grupos ecológicos funcionales y recursos pesqueros tropicales, p. 357-389. En: D. Flores, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo, y F. Arreguín (eds.). *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*. EPOMEX, Serie Científica 7, Universidad Autónoma de Campeche, México, 496 p.
- Turner, R.E., 1977. Intertidal vegetation and commercial yields of Penaeid shrimp. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 106 (5): 411-416.
- Tunnell; J. W. y F.W. Judd (eds.), 2002. *The Laguna Madre of Texas and Tamaulipas*. Texas A & M University Press. Gulf Coast Studies, Corpus Christi TX, 346 pp.
- Wright, L.D., 1985. River deltas. En: Davis R.A. (ed.) *Coastal Sedimentary Environments*. Springer Verlag, New York. pp. 1-76.
- Woodroffe, C.D., 1992. Mangrove sediments and geomorphology, p. 7-41. En: Alongi D. y A. Robertson (eds.) *Tropical Mangroves Ecosystems*. American Geophysical Union, Washington DC.
- Yáñez-Arancibia, A. (ed.), 1985. *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons. Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML, Editorial Universitaria, México DF, 653 pp.
- 1986. *Ecología de la Zona Costera: Análisis de siete Tópicos*. AGT Editorial, México DF, 186 pp.
- 1987. *Lagunas costeras y estuarios: cronología, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros*, Cap. 1: 1-38, 16 figs. En: *Ecossistemas*

- Costeiros Costa Sul e Sudeste Brasileira*. Academia de Ciencias. Sao Paulo Brasil. Publ. ACIESP 54 (3): 364 pp.
- (ed.), 1994. *Recursos faunísticos del Litoral de la Península de Yucatán*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica 2, 136 pp.
- 1999. Terms of references towards coastal management and sustainable development in Latin America: Introduction to Special Issue on Progress and Experiences. *Ocean & Coastal Management*, 42 (2-4): 77-104.
- 2003a. Geomorphology and ecology of coastal zone in Middle America, 18 p., 1 table, 3 figs. En: M. Schwartz (ed.) *The Encyclopedia of Coastal Sciences*. Kluwer Academic Publisher (en prensa).
- 2003b. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*, Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. (en prensa).
- Yáñez-Arancibia, A. y J. W. Day, 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta, Spec Vo* 5 (4): 431-440.
- (eds.), 1988. *Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. ICMyl-UNAM México, OEA Washington DC, Louisiana State University USA, Editorial Universitaria México DF, 518 pp.
- 2003. Coastal management in the Gulf of Mexico: towards an integration of ICM with LME management. *Ocean & Coastal Management*, Special Issue Integrated Coastal Management in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem. (en prensa).
- Yáñez-Arancibia, A. y D. Pauly (eds.), 1986. IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities. Workshop Report No. 44-Supplement, IOC-UNESCO, París, 324 pp.
- Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil, 1983. Environmental behaviour of Campeche Sound ecological system, off Terminos Lagoon Mexico. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal Autón. México*, 10(1): 117-136.
- 1986. Los Peces Demersales de la Plataforma Continental del Sur del Golfo de México. Caracterización del Ecosistema y Ecología de las Especies, Poblaciones y Comunidades. *Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Publ. Espec.* 9. Editorial Universitaria UNAM, México DF, 280 p.
- 1988. *Ecología de los Recursos Demersales Marinos: Fundamentos en Costas Tropicales*. AGT Editorial, S.A. México DF. 230 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., F. Amezcua y J. W. Day, 1980. Fish community structure and function in Terminos Lagoon a tropical estuary in the southern Gulf of México, p.

- 465-482. En: V. Kennedy (ed.) *Estuarine Perspectives*. Academic Press Inc. New York, 534 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., G. Soberón-Chávez y P. Sánchez-Gil, 1985. Ecology of control mechanisms of natural fish production in the coastal zone Cap. 27: 571-574. En: Yáñez-Arancibia, A. (ed.) *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons. Towards an Ecosystem Integration*. UNAM-PUAL-ICML, Editorial Universitaria, México DF, 653 p.
- Yáñez-Arancibia, A., P. Sánchez-Gil y A.L. Lara-Domínguez, 1991. Interacciones ecológicas estuario-mar: estructura funcional de bocas estuarinas y su efecto en la productividad del ecosistema. *Academia de Ciencias Sao Paulo Brasil, Publ. ACIESP*, 71(4): 49-83.
- Yáñez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, P. Chavance y D. Flores 1983. Environmental behavior of Terminos Lagoon ecological system, Campeche, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 10 (1): 137-176.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez, J. L. Rojas Galavíz, P. Sánchez-Gil, J. W. Day y C. J. Madden, 1988. Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of México). *Journal of Fish Biology*, 33 (Supl. A) : 191-200.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez y J. W. Day, 1993. Interactions between mangrove and seagrass habitat mediated by estuarine nekton assemblages: coupling of primary and secondary production. *Hydrobiologia*, 264: 1-12.
- Yáñez-Arancibia, A., D. Zárate Lomelí, P. Sánchez-Gil, A. L. Lara-Domínguez, E. Sainz-Hernández, L. Hernández Martínez, M. A. Ortiz Pérez, P. Méndez Linares, J. W. Day, E. Reyes, A. Peralta y M. Hernández, 2002. Estrategia para la Gestión de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla Tabasco. Cuarto Informe y Final, Proyecto PEMEX-PEP/ SIPA/INECOL -PRC/001/2001. INECOL A.C., Xalapa Ver., 83 pp + anexos + mapas.
- Yáñez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, D. Zárate Lomelí, P. Sánchez-Gil, S. Jiménez Hernández, A. Sánchez Martínez, E. Rivera Arriaga, A. Flores Nava, M. A. Ortiz Pérez, C. Muñoz Piña, M. Becerra, J. W. Day, G. L. Powell, C.J.Madden, E. Reyes, C. Barrientos, 2003. Sub-Region 2 Gulf of México; Scaling & Scoping & Detailed Assessment Report. Global International Waters Assessment GIWA, Kalmar Sweden. GEF-UNEP, 396 pp.
- Zárate Lomelí, D. y A. Yáñez-Arancibia, 2003. Conclusiones. Segundo Panel Necesidades para la Gestión y el Manejo Integrado de la Zona Costera del Golfo de México y Mar Caribe. Panel MIZC-Golfo/Caribe, INECOL A. C. y SEMARNAT. Xalapa Ver., 51 pp.

LAS PLAYAS Y DUNAS DEL GOLFO DE MÉXICO. UNA VISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Patricia Moreno-Casasola

LAS PLAYAS Y DUNAS

Las playas y dunas son los ambientes de sedimentación más importantes del mundo, es decir, los lugares donde hay mayor acumulación de sedimentos (granos de arena de distintos tamaños) que han sido transportados por corrientes marinas y vientos. Ambos son considerados ecosistemas extremadamente dinámicos y cambiantes que amortiguan las interacciones entre tres grandes sistemas: el mar, la tierra y la atmósfera.

Las playas se pueden definir como depósitos no consolidados de arena y grava a lo largo del litoral. En un momento dado, el perfil de la playa representa el equilibrio dinámico entre el transporte de sedimentos hacia el mar (erosión), hacia la tierra (sedimentación) y a lo largo de las costas (corrientes de deriva). La topografía de la duna representa el equilibrio entre el movimiento de la arena por el viento (erosión o depositación) y la cobertura de vegetación. La escala de estos movimientos varía de unas cuantas horas (durante tormentas) a semanas, meses o estaciones del año, o bien involucra ciclos de varios años. Así, las playas son formaciones dominadas por procesos asociados al oleaje, con ambientes de alta energía capaces de movilizar el sedimento y en cambio las dunas están asociadas a la energía producida por el viento.

La playa es la zona que se localiza entre el nivel más bajo y el más alto de la marea, incluyendo niveles de tormentas. Está sujeta a períodos de deseca-

ción superficial, más pronunciados en la playa alta (playa superior o posterior), que es donde se localiza la mayor parte de la vegetación de estos ambientes. En la playa anterior o baja se acumulan restos de algas y pastos marinos arrojados por el mar, y en ocasiones germinan y se establecen algunas especies anuales o bien germinan semillas arrojadas por el mar, pero las plántulas mueren en poco tiempo.

Detrás de las playas se encuentra una estructura geomorfológica terrestre (una duna, un acantilado u otro tipo de comunidad vegetal como puede ser un humedal o una selva y, hoy en día, construcciones). Las primeras dunas se denominan embrionarias y se forman cuando el viento que acarrea arena encuentra un objeto como puede ser una planta, un tronco, etc. Varias de estas pequeñas dunas continúan interceptando arena, y crecen hasta unirse formando un cordón, detrás del cual están las dunas propiamente dichas. Por tanto, éstas son acumulaciones de arena que miden desde unos centímetros (dunas embrionarias), hasta un sistema masivo de colinas de arena ondulantes que alcanzan alturas de hasta 35 metros, que pueden extenderse varios kilómetros tierra adentro, y cuya orientación depende de la dirección del viento que acarrea las partículas de arena. Los sedimentos que las forman provienen de arena arrojada por el oleaje a las playas, donde queda expuesta al aire; con el sol y la brisa, el sedimento se seca, los granos de arena quedan expuestos y son movilizados por el viento. De esta manera se han formado fundamentalmente por la acción eólica, que levanta, acarrea y deposita los granos de arena (Ranwell, 1972) provenientes de una fuente de sedimento, como es una playa, a partir de partículas de un tamaño que permite su transporte aéreo y un viento con suficiente fuerza para levantar los granos de arena.

FORMA Y TOPOGRAFÍA

Existen diversas formas de dunas, no todas ellas presentes en México, y éste es uno de los aspectos que más se modifican con el paso del tiempo y con la interacción con la vegetación. Hay islas de barrera, que son cuerpos alargados de arena que tienen una playa hacia el mar y otra hacia el estuario que los separa de la masa continental y siempre están en continuo movimiento acumulando arena y perdiéndola (Pilkey *et al.* 1998). Sobre ellas se establecen una serie de comunidades vegetales que repiten la zonación presente en sistemas de dunas en el litoral del continente. Por su parte, los cayos son acumulaciones de fragmentos de conchas, caracoles y esqueletos de distintos tamaños que for-

man islas en los sistemas arrecifales; la arena siempre es calcárea.

Los cordones de dunas son acumulaciones de arena que forman cordones continuos, bajos y paralelos al mar. Cuando sólo se tiene arena y nada de vegetación, las partículas de arena son totalmente libres de moverse, por lo cual únicamente dependen de la dirección e intensidad del viento. En estos casos se forman las llamadas dunas transgresivas, grandes cordones de arena que avanzan lentamente, orientados perpendicularmente a la dirección del viento que los mueve. Las dunas parabólicas parecen una luna creciente, y se forman cuando comienza a haber vegetación que inicia la fijación de la arena; estas zonas se mueven más lentamente que el resto de la duna, por lo que las partes estabilizadas se van quedando atrás y las partes más móviles avanzan, formando una parábola.

La orientación es un reflejo de la dirección del viento dominante. Cuando éste proviene del mar, se forman cordones de dunas paralelos a la costa, dunas transgresivas paralelas a la costa que migran en oleadas tierra adentro y dunas parabólicas con un eje longitudinal perpendicular a la línea de playa, que también avanzan tierra adentro aunque más lentamente. Cuando el viento predominante viene del norte y la orientación de la línea costera es también norte-sur, el eje de las dunas parabólicas está orientado paralelo a la playa, y las dunas parabólicas y transgresivas avanzan de norte a sur, como sucede en Tamaulipas, y en el norte y centro -norte de Veracruz.

Frecuentemente también se clasifica a las dunas en activas o estabilizadas. Ello depende del grado de cobertura vegetal, ya que cuando hay plantas éstas juegan un papel fundamental en la estabilización de la arena, y actúan como obstáculos para disminuir la fuerza del viento. En las dunas activas el movimiento de arena produce erosión en algunas áreas y acumulación en otras lo que permite que las dunas avancen o migren. Es frecuente encontrar en un mismo sistema zonas donde hay arenas activas, zonas semimóviles en donde las plantas comienzan a detener la arena, y finalmente dunas estabilizadas o fijas, con una cubierta continua de vegetación.

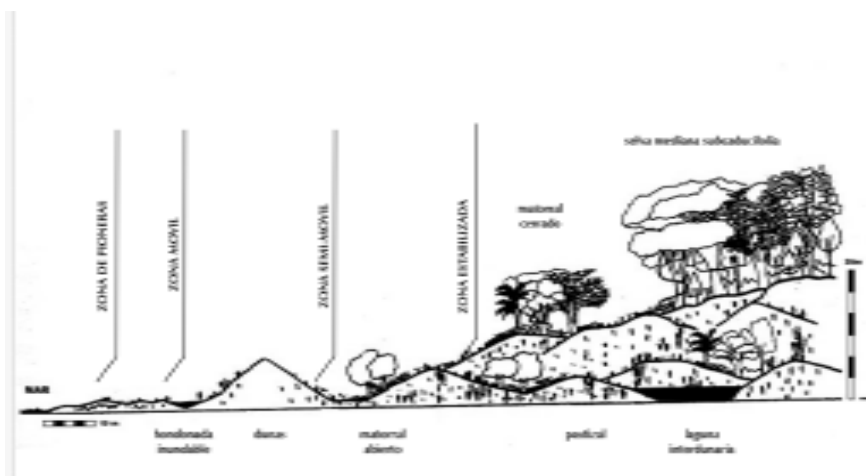
AMBIENTES EN LAS PLAYAS Y DUNAS

La topografía y el grado de estabilización, que a su vez modifica a la propia topografía, está asociada a ciertas condiciones ambientales, y juega un papel fundamental para determinar las comunidades vegetales que ahí se establecen. El esquema de la figura 1 muestra los distintos tipos de vegetación que habitan sobre el sistema de dunas y el mosaico que forman. Ha habido

varios intentos para describir o clasificar estos microambientes y así poder entender la heterogeneidad de condiciones y comunidades (Doing 1981). Castillo y Moreno-Casasola (1998) han clasificado estos ambientes en:

- a. Ambientes de dunas activas donde predomina el movimiento de arena, ya sea erosión o acumulación, lo cual lleva a que haya poca materia orgánica en los suelos, baja capacidad de retención de agua, cobertura vegetal escasa y fuertes fluctuaciones diarias de temperatura cerca del suelo. En general las condiciones ambientales son drásticas por lo que pocas especies están adaptadas a vivir aquí. Las playas, dunas embrionarias y dunas activas pertenecen a este tipo de ambientes. El recuadro de la figura 2 muestra el movimiento de arena medido durante tres años consecutivos (Moreno-Casasola, 1982) en una duna en la reserva del Centro de Investigaciones Costeras La Mancha (Cicolma).
- b. Ambientes húmedos e inundables que se encuentran en las áreas más bajas donde el viento ha acarreado la arena hasta entrar en contacto con

FIGURA 1. PERFIL DE VEGETACIÓN MOSTRANDO LA FISONOMÍA DE LAS DISTINTAS COMUNIDADES VEGETALES DE UN SISTEMA DE DUNAS, EN CADA UNO DE LOS MICROAMBIENTES



Fuente: modificado de Acosta 1993.

el sustrato húmedo por la cercanía del manto freático, es decir, se ha creado una depresión deflasiva entre los dos brazos de la parábola. En ocasiones estas zonas bajas también aparecen en las playas. En algunos casos, cuando la inundación es permanente forman lagunas interdu-narias, con cuerpos de agua dulce abiertos y vegetación de humedales enraizada emergente, flotante y sumergida.

- c. Ambientes estabilizados en donde la cubierta vegetal ha estabilizado el sustrato y se ha llegado a incorporar algo de materia orgánica convirtiéndolo en un mejor suelo en el que se llegan a establecer comunidades vegetales más estructuradas, como pastizales, matorrales, selvas bajas y medianas, y encinares.

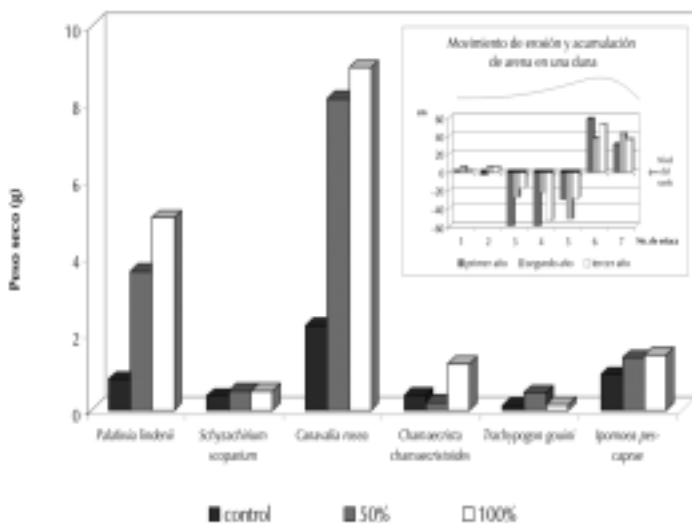
DISTRIBUCIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

En México las playas y dunas no se distribuyen de manera homogénea. En el Atlántico predominan las costas acumulativas, y por tanto hay playas bajas y arenosas y abunda la sedimentación. Las costas del Golfo de México se localizan en el centro de una placa tectónica, por lo que las pendientes hacia la llanura costera y las de la plataforma continental son suaves. Existen deltas importantes como el del río Bravo, río Pánuco, Papaloapan, Grijalva-Usumacinta. La Península de Yucatán está constituida por una plataforma cárstica emergente, de sedimentos carbonatados, carente de ríos y con un flujo de agua subterráneo (Britton y Morton 1989, Ortiz y Espinosa 1991, Contreras 1993).

Las islas de barrera y las barras aparecen a lo largo de todo el litoral Atlántico y tienen anchos y largos muy diferentes (figura 3). La mayoría están deshabitadas, aunque otras tienen asentamientos grandes, como Ciudad del Carmen. En Tamaulipas se presenta una costa de tipo deltáico, destacando la presencia de la Laguna Madre, donde predomina la acumulación de sedimentos aportados por ríos, así como una costa secundaria en la que predomina la acumulación marina, con islas de barrera en casi toda la extensión del estado. Estas limitan la Laguna Madre hacia el mar y muchas de ellas no están conectadas al continente.

En Veracruz se localiza la Laguna de Tamiahua, delimitada por una isla de barrera (Cabo Rojo), que bien podría considerarse un tómbolo (Britton y Morton, 1989). Desde el punto de vista geomorfológico la zona de Tuxpan a Nautla incluye las costas acumulativas de playas bajas arenosas con exposición abierta al mar. Se formaron a partir de islas de barrera con campos de

FIGURA 2. RESPUESTA EN CRECIMIENTO (PESO SECO) DE VARIAS ESPECIES PIONERAS AL ENTERRAMIENTO POR ARENA

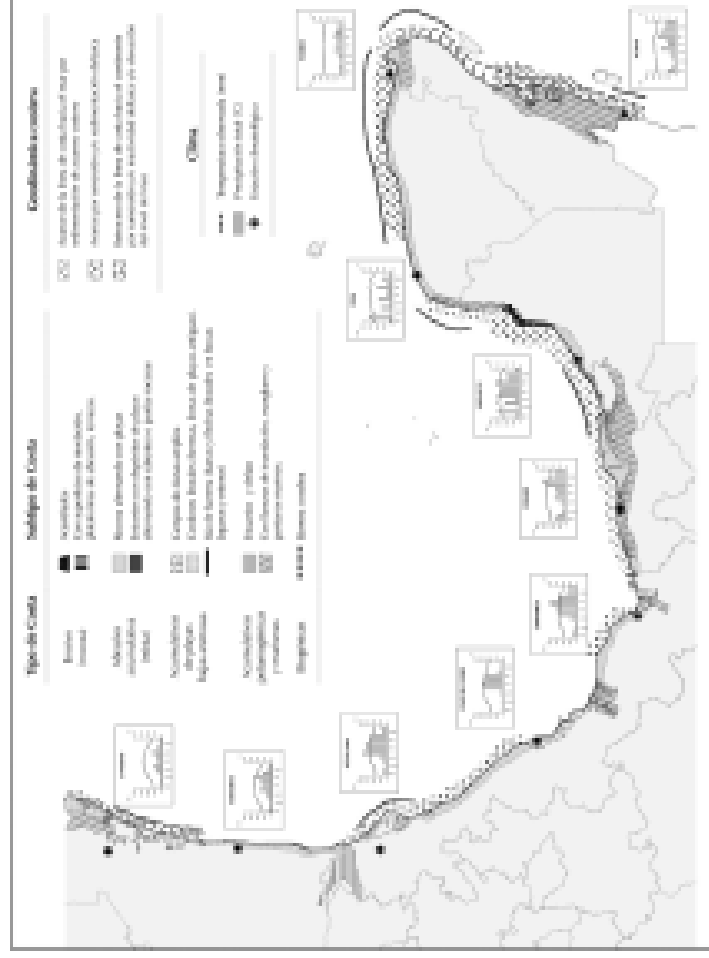


Se usaron dos tratamientos (meristemas cubiertos con arena totalmente y meristemas cubiertos solamente en el 50 % de su superficie) y el control, sin cubrir con arena. Las especies son la compuesta arbustiva y endémica *Palafoxia lindenii*, el pasto *Schyzachirium scoparium*, la leguminosa rastrera *Canavalia rosea*, la leguminosa arbustiva y endémica *Chamaecrista chamaecristoides*, el pasto *Trachypogon gouini* y la convolvulacea rastrera *Ipomoea pescaprae*. Las comparaciones estadísticas se hicieron entre los tres experimentos para la misma especie. Letras diferentes indican diferencias significativas (datos tomados de Martínez y Moreno-Casasola, 1996). El recuadro muestra el movimiento de arena en una duna medido en el mismo punto a lo largo de tres años.

Fuente: Datos tomados de Moreno-Casasola 1982.

dunas y cordones de playas antiguas, separadas de la porción continental por antiguas lagunas, la mayoría de las cuales ahora son de fondo somero (azolvadas). Hacia el sur la costa se modifica al reducirse en extensión la planicie costera y formarse una costa mixta con puntas rocosas de origen volcánico, entre las cuales se intercalan lagunas pequeñas con estrechas llanuras de inundación. También aparecen playas arenosas y campos de dunas activos o estabilizados a lo largo del tramo comprendido entre Laguna Verde

FIGURA 3. Mapa de distribución de islas de barrera, cordones litorales y campos de dunas así como zonas rocosas intercaladas con playas en el Golfo y Caribe de México. Se indican las costas que están avanzando, y se proporcionan datos climáticos de algunas zonas



y Alvarado. Al sur, en la región del Papaloapan aparece una amplia y elevada barrera arenosa que resguarda al sistema estuarino-lagunar de Alvarado así como extensos y elevados campos de dunas, que se extienden hasta la Punta de Roca Partida y en los cuales penetran lenguas de arena hasta 10 km tierra adentro. Siguiendo la costa se llega a la región de los Tuxtlas, donde dominan las costas mixtas abrasivo-acumulativas, en tramos que alternan con salientes rocosas de origen volcánico y playas arenosas, e intercalado entre ellos la barra y laguna de Sontecomapan. Al sur de Veracruz aparece la Laguna del Ostión con una laguna de barrera y amplias llanuras de inundación o marismas con manglar así como una planicie de barrera litoral que cuenta con campos de dunas activos (Ortiz-Pérez en prensa).

En Tabasco, la Laguna del Carmen, La Machona, La Redonda, Laguna Cocal, Laguna Flores y Laguna Mecoacán, están bordeadas por una serie de cordones litorales que forman islas de barrera y que en algunas zonas se prolongan como en la Barra del Grijalva y en la Barra de San Pedro. Se llegan a formar campos con dunas parabólicas en una extensa zona entre la Barra de Tonalá (Laguna Chicozapote) y Barra de Santa Ana (Laguna del Carmen) y alcanzan 15 metros de alto. En el extremo sur de Tabasco y en la zona deltáica y pantanosa de esta entidad, abundan sedimentos clásticos finos, producto de la acumulación de ríos. En Isla del Carmen, hacia Isla Aguada, la playa es relativamente ancha (20 m) y se eleva unos cuatro metros, con campos de dunas bajos. Hacia Champotón, el relieve del cordón se hace más bajo y la playa sólo alcanza unos 3 m de ancho (West *et al.* 1969, Britton y Morton 1989, Castillo *et al.* 1991). Isla del Carmen constituye la isla de barrera que separa la Laguna de Términos del mar.

Aproximadamente 20 km al sur de Campeche se localiza una pequeña extensión donde la plataforma calcárea ha emergido, por lo que se presenta como una costa rocosa. Corresponde a la región de Punta Mastun Grande (Britton y Morton 1989). Hacia el estero Celestún se forma una lengüeta que se alarga paralela al continente. Al norte del estado de Yucatán se localizan el Estero Yukalpetén, Estero El Islote, Estero de río Lagartos y Laguna Flamingos. Las playas son angostas y los cordones de dunas son bajos y no muy extensos, pues hay gran cantidad de humedales como los petenes, los manglares que frecuentemente están en el interior del estero y sabanas inundables además de que las lagunas son bajas y frecuentemente presentan azolves, esta es la región que recibe menos precipitación en todo el Golfo. En Yucatán y Quintana Roo es frecuente encontrar cordones de dunas paralelos a la línea de costa.

En el norte de Quintana Roo se ubica el Estero Yahalán, y más al sur la Laguna de Nichupté donde la isla de barrera forma parte de Cancún. El camino de Tulum hacia Punta Allen forma un promontorio tipo isla de barrera en las lagunas de Campechén y de San Miguel. Las Bahías de Ascensión y Espíritu Santo también albergan este tipo de formaciones. Las playas y dunas son cintas angostas, ampliamente utilizadas para la siembra de coco, bordeadas hacia tierra adentro por extensas llanuras de inundación cubiertas por humedales de agua dulce, manglares o petenes.

Frente al Puerto de Veracruz, se encuentra el Sistema Arrecifal Veracruzano con cayos e islas de arena calcárea, al igual que en el Arrecife de Tuxpan (Isla Lobos). En la Laguna de Tamiahua también se presentan islotes arenosos con un fuerte contenido de arenas calcáreas. Alrededor de la Península de Yucatán se localizan numerosas islas, algunas de ellas carentes de vegetación. En Campeche se encuentran Triángulo Oeste, Cayo Arcas e Isla Jaina. En Yucatán se localiza el Arrecife Alacranes formado por Isla Desterrada, Isla Muertos, Isla Chica, Isla Larga e Isla Pérez, y cerca se ubica Cayo Arenas. En Quintana Roo, además de las tres islas de mayor tamaño (Cozumel, Mujeres y Contoy), están Cayo Lobos, Cayo Centro y Cayo Norte en el arrecife de Chinchorro, Cayo Culebras e Isla Holbox (Bonet y Rzedowski 1962, Flores 1983 y 1984).

Los tres ambientes antes mencionados se encuentran presentes a todo lo largo del Golfo y Caribe (Castillo y Moreno-Casasola 1998). En general, las dunas activas y las hondonadas permanentemente inundadas son más frecuentes en el Golfo. Estos ambientes están presentes en las islas de barrera, en los sistemas formados por cordones de dunas paralelos y en los grandes sistemas de dunas parabólicos.

En la figura 3 también se presentan algunas características climáticas que permiten entender los patrones físicos que afectan la distribución de especies. Además de existir importantes diferencias en los valores de precipitación total a lo largo del Golfo y Caribe (Moreno-Casasola *et al.* 1998), su distribución varía de manera importante, mostrando una estacionalidad más clara en la zona central del Golfo. En el Golfo de México predominan las arenas silíceas con distintas proporciones de arenas calcáreas, mientras que en el Caribe predominan estas últimas.

LA FLORA DE PLAYAS Y DUNAS

La flora de playas y dunas en general no es ampliamente reconocida como una flora dsitinta, sin embargo, tiene especies que le son características,

especies endémicas que sólo viven en estos ambientes y es relativamente rica en composición. Hasta el momento se han registrado en México 1,638 especies de fanerógamas (pertenecientes a 140 familias) como parte de la flora costera (Moreno-Casasola *et al.* 1998 que representan entre el 5 y el 7% del total de especies que se considera existen para el país (entre 20,000 ó 30,000, según distintos autores). Esto significa un valor relativamente alto si se piensa lo estrecho que es el sistema de las playas y dunas. El número de familias y especies entre regiones es muy variable; así, en el Golfo de México se registraron 429 especies y 89 familias y en el Caribe 456 y 78. Por su longitud y heterogeneidad ambiental el Pacífico es más rico en especies que el Atlántico, ya que en éste último hay 706 especies (97 familias) y en el Pacífico, 1,133 especies y 125 familias.

A nivel de especies hay similitudes entre el litoral Pacífico y el Atlántico (Moreno-Casasola *et al.* 1998). La comparación de los listados florísticos de las cinco regiones en que se dividió el litoral mexicano, utilizando un índice de similitud, muestra la gran semejanza entre las floras del Pacífico norte y del Golfo de California, seguidas por el Golfo y Caribe y en menor grado el Golfo de México y el Pacífico sur (cuadro 1). Las del noroeste de México alcanzan la mayor semejanza, con el índice de similitud más alto (0.41), debido básicamente a que tienen un mismo origen geológico, y clima relativamente árido por lo que comparten las floras del desierto. Las floras que los hacen diferentes son las de la región de los Cabos y la zona tipo mediterráneo, ambas ricas en endemismos. La flora costera del Pacífico norte y del Golfo de California difieren considerablemente de la existente en el Pacífico sur. En menor grado, aunque de gran interés, es la similitud florística entre el Golfo de México y el Caribe con la región costera del Pacífico sur. Ello se explica por la presencia de especies de selvas bajas caducifolias y subperennifolias, entre ellas numerosas leguminosas, que se encuentran sobre sustratos arenosos en ambos litorales y bajo condiciones climáticas semejantes.

Las similitudes entre el Golfo de México y el Caribe son grandes (Moreno-Casasola *et al.* 1998). El valor de similitud alcanzado (0.39) es ligeramente menor al que muestran las floras del Pacífico norte y Golfo de California. La semejanza entre las dos floras del litoral Atlántico obedece probablemente a lo extenso de la planicie costera que permite el paso de las especies a lo largo de climas semejantes. Los climas más extremos, por su bajo nivel de precipitación, se localizan en el extremo norte de Tamaulipas y en el noroeste de la Península de Yucatán. Las diferencias en composición

CUADRO 1. INDICES DE SIMILITUD ENTRE LA FLORA DE PLAYAS Y DUNAS
DE CINCO REGIONES DE MÉXICO, EN AMBOS LITORALES

	PACÍFICO NORTE	GOLFO DE CALIFORNIA	PACÍFICO SUR	GOLFO DE MÉXICO	CARIBE
Pacífico norte	—	0.41	0.07	0.06	0.06
Golfo de California		—	0.07	0.05	0.06
Pacífico sur			—	0.30	0.24
Golfo de México				—	0.39
Caribe					—

Fuente: tomado de Moreno-Casasola *et al.* 1998.

obedecen a la presencia de un sustrato silíceo hacia el norte y calcáreo hacia el sur que permite la presencia del elemento caribeño, así como el endemismo de la Península y las zonas semiáridas del norte de Yucatán. Llama la atención la zona central del Golfo, donde los sistemas de dunas tienen una topografía compleja con mayor número de hábitats que favorecen la presencia de especies particulares, por ejemplo las de hábitats acuáticos (Martínez y col. 1997), al igual que una mayor riqueza de especies (Moreno-Casasola 1988).

Las zonas de mayor endemismo costero son la Península de Baja California y la Península de Yucatán, les siguen el Golfo de México y finalmente el Pacífico sur (Moreno-Casasola *et al.* 1998). En la región del Golfo de México el endemismo costero es muy bajo, ya que se presenta en 8 familias con 9 especies. Las Asteraceae incluyen dos especies endémicas, algunas de estas especies crecen más vigorosas bajo condiciones de enterramiento, como *Palafoxia lindenii* y *Chamaecrista chamaecristoides* (Martínez y Moreno-Casasola 1996), y son fijadoras importantes de los médanos móviles del centro del Golfo de México (figura 2). En el Caribe el número de especies endémicas es mayor, ya que suman 32 especies pertenecientes a 21 familias; sobresalen las cactáceas con 6 especies endémicas, Rubiaceae (con 3) y Polygonaceae y Leguminosae con 2 cada una.

La riqueza local de un sitio proviene de la presencia de numerosas especies pertenecientes a unas cuantas familias y del aporte que una gran varie-

dad de familias con pocas especies, cuya presencia varía mucho a lo largo de las costas de México (Moreno-Casasola y Castillo 1992). Para entender este fenómeno se subdividieron las especies que habitan las playas y dunas costeras en tres tipos. El primero corresponde a las especies con una distribución predominantemente costera, es decir en ecosistemas restringidos a las costas como son las playas, dunas, marismas y manglares. El segundo grupo corresponde a especies presentes en las dunas, pero también frecuentes en otros tipos de vegetación (selvas bajas y medianas, sabanas, humedales, encinares, etc.); y el tercero está constituido por aquellas que forman parte básicamente de vegetación secundaria o ruderal (Castillo y Moreno-Casasola 1996). El porcentaje de especies costeras es cercano al 15%, el de especies ruderales es de 40%, y para las pertenecientes a otros tipos de vegetación es de 45%. Ello significa que gran cantidad de especies de tierra adentro encuentran un ambiente propicio para establecerse y reproducirse en las dunas costeras.

LA VEGETACIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

La vegetación de las playas y dunas está formada por comunidades de pioneras, de pastizales, matorrales, selvas y bosques, así como vegetación de humedales y acuática. La estructura puede ser baja o alta, abierta o cerrada, espinosa o inerme y frecuentemente se intercalan formando un complejo mosaico espacial (figura 1). Las primeras descripciones de vegetación fueron hechas por Poggie (1962) y Sauer (1967); posteriormente Espejel (1984), Moreno-Casasola y Espejel (1986) y Castillo *et al.* (1991) realizaron una descripción y clasificación de la vegetación del Golfo de México y el Caribe, producto de 44 sitios de muestreo. Con base en esta clasificación se presenta la síntesis florística del cuadro 2. Los términos playa y duna corresponden a estructuras geomorfológicas y como se vio anteriormente pueden estar formadas por distintos microambientes, por lo que decir vegetación de dunas es poco preciso.

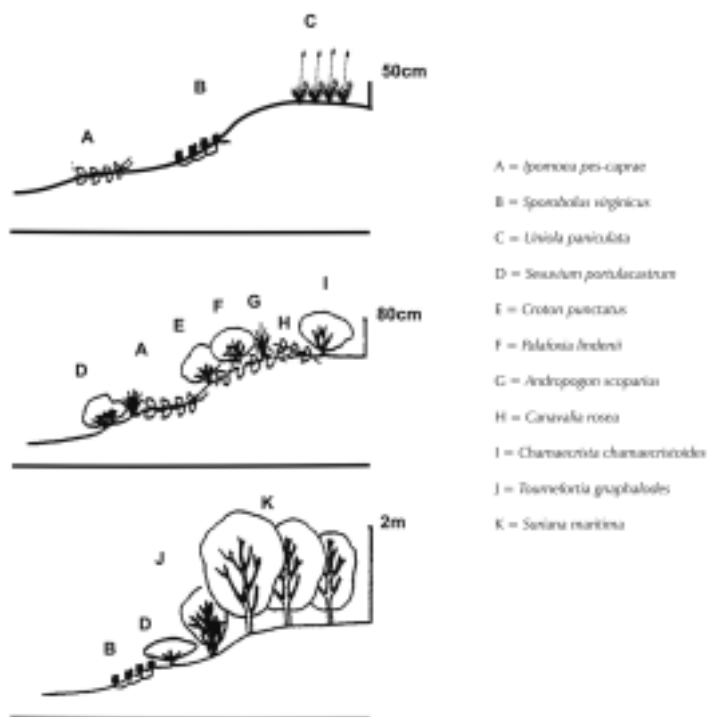
La vegetación de pioneras está formada por especies herbáceas y arbustivas, tolerantes a las condiciones drásticas que imperan en las zonas más móviles del sistema, donde hay movimiento de arena (erosión o acumulación), altas fluctuaciones de la temperatura de la arena, salinidad aérea y a veces edáfica y viento (cuadro 2). Predominan las herbáceas rastrojas y postradas, las amacolladas con estolones y los subarborescentes tolerantes al enterramiento. Hacia el Caribe se agregan arbustos de mayor tamaño

CUADRO 2. ESPECIES HERBÁCEAS Y LEÑOSAS QUE SE PRESENTAN EN LOS DISTINTOS TIPOS DE COMUNIDADES VEGETALES QUE SE DESARROLLAN EN LAS DUNAS COSTERAS DEL GOLFO Y EL CARIBE DE MÉXICO

PIONERAS	PASTIZALES	MATORRALES Y SELVAS	ZONAS INUNDABLES	LAGUNAS INTERDUNARIAS
<i>Ipomoea pescaprae</i> , <i>Ipomoea imperatii</i> , <i>Canavalia rosea</i> , <i>Sporobolus virginicus</i> , <i>Uniola paniculata</i> , <i>Schizachyrium scoparium</i>	<i>Schizachyrium scoparium</i> var. <i>littoralis</i> , <i>Trachypogon gouini</i> , <i>Panicum purpurascens</i> , <i>Aristida adsencionis</i> , <i>Pectis satureioides</i> , <i>Commelina erecta</i> , <i>Bidens pilosa</i> , <i>Florestina tripteris</i>	Herbáceas <i>Bidens pilosa</i>	<i>Cyperus articulatus</i> , <i>Lippia nodiflora</i> , <i>Hydrocotyle bonariensis</i> , <i>Iresine celosia</i> , <i>Ambrosia artemisiifolia</i> , <i>Panicum maximum</i> , <i>Schizachyrium scoparium</i>	<i>Sagittaria lancifolia</i> , <i>Pontederia sagittata</i> , <i>Typha domingensis</i> , <i>Acrostichum aureum</i> , <i>Echinochloa pyramidalis</i> , <i>Cyperus articulatus</i> , <i>Ipomoea tiliacea</i> , <i>Calopogonium caeruleum</i> , <i>Laportea mexicana</i> , <i>Hymenocallis littoralis</i> , <i>Hydrocotyle umbellata</i> , <i>Thalia geniculata</i> , <i>Fuirena simplex</i>
<i>Palafoxia lindenii</i> , <i>Croton punctatus</i> , <i>Chamaecrista</i> <i>chamaecristodes</i> <i>Suriana maritima</i> , <i>Tournefortia gnaphalodes</i> , <i>Coccoloba uvifera</i>	<i>Porophyllum</i> <i>nummularium</i> , <i>Verbesina</i> <i>persicifolia</i> , <i>Crotalaria</i> spp., <i>Turnera ulmifolia</i> <i>Opuntia stricta</i> var. <i>dillenii</i> , <i>Randia laetevirens</i> , <i>Diphysa robinoides</i> <i>Tecoma</i> stans	Arbustivas y arbóreas <i>Andira inermis</i> , <i>Tabebuia pentaphylla</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Scheelea</i> <i>leibmanii</i> , <i>Pseudophoenix</i> <i>sargentii</i> , <i>Thrinax radiata</i> , <i>Cordia sebestena</i> , <i>Pithecellobium keyense</i> , <i>Coccoloba uvifera</i>	<i>Pluchea odorata</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i> , <i>Chiococca alba</i> , <i>Enterobium cyclocarpum</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Lantana camara</i>	<i>Pachira aquatica</i> , <i>Annona glabra</i> , <i>Salix chilensis</i> , <i>Salix humboldtiana</i>

que funcionan como pioneras. Si se comparan los perfiles de distribución de especies y la estructura de la comunidad, se observan cambios en función de un gradiente latitudinal. La figura 4 muestra para el sur de Tamaulipas (García 1987), el centro de Veracruz, y el norte de Quintana Roo la distribución de especies y de formas de crecimiento a lo largo de un transecto en la playa. Varias de estas especies toleran el enterramiento y algunas otras llegan a crecer más vigorosas cuando se produce acumulación de arena a su alrededor (figura 2). Este movimiento de arena incrementa la humedad presente.

FIGURA 4. PERFILES DE LA VEGETACIÓN PIONERA DE PLAYAS Y DUNAS EMBRIONARIAS A LO LARGO DEL LITORAL ATLÁNTICO DE MÉXICO. A. TAMAULIPAS Y NORTE DE VERACRUZ, B. CENTRO DE VERACRUZ, C. NORTE DE QUINTANA ROO



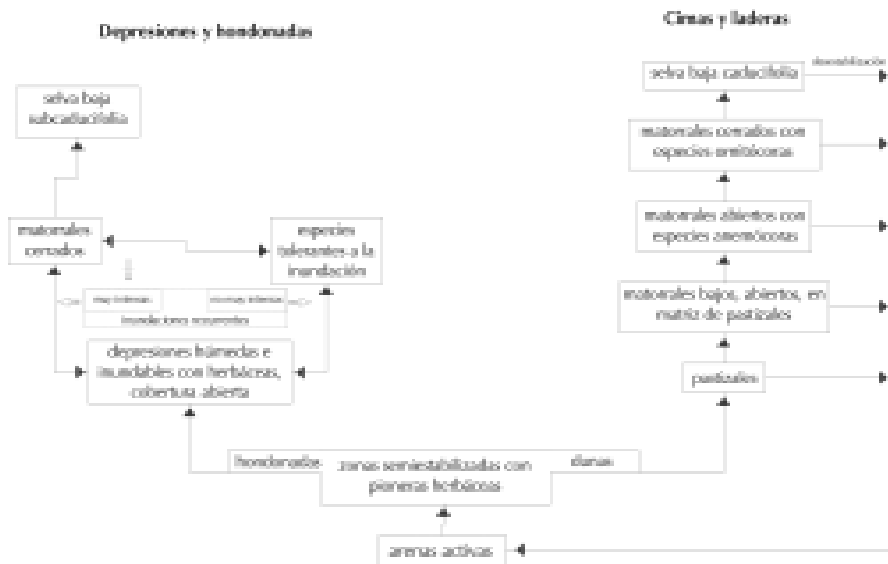
Con el tiempo y el inicio de la estabilización de la arena de la duna, la vegetación de pioneras es reemplazada poco a poco por pastizal (cuadro 2); en estos ambientes hay mayor cobertura de la vegetación, disminuye el movimiento de arena y en general las condiciones son menos drásticas. Al mismo tiempo, esta matriz de pastizales comienza a ser invadida por especies de arbustos. Este fenómeno es muy claro en las hondonadas, donde hay mayor humedad y protección de los vientos. Las primeras especies arbustivas son subarbustos y los primeros individuos aparecen aislados, moteando la matriz de pastos. Una vez establecido el pastizal, comienzan a formarse matorrales abiertos bajos, con abundantes pastos en su interior. A partir de que se establece una comunidad de pastizal, ya se presenta un banco de semillas (Pérez 1993), que junto con la lluvia de semillas (Acosta 1993) representa un elemento fundamental de la sucesión. Poco a poco van apareciendo nuevos individuos arbustivos y frecuentemente la primera etapa está formada por mayor dominancia de unas pocas especies y una mayor cantidad de especies anemócoras que siguen formando matorrales abiertos, aunque de mayor altura. La estructura se va cerrando y la comunidad se enriquece.

Morrison y Yarranton (1974) definen tres procesos mediante los cuales se da la sucesión. En las dunas el proceso de facilitación es el más frecuente, es decir, una comunidad modifica el ambiente facilitando la entrada de otro conjunto de especies que constituyen una etapa sucesional más avanzada (figura 5). Este proceso se presenta en las distintas etapas, desde las primeras fases de colonización por pioneras (Salinas 1992, Martínez *et al.* 1997, Martínez *et al.* 2001), en etapas de establecimiento de pastizales y posteriormente de matorrales abiertos.

En las dunas costeras, las comunidades con una estructura mas compleja son las selvas y bosques. En Tamaulipas se establecen bosques de encinares (Cabo Rojo) sobre los cuales hay muy poca información. En Veracruz las selvas bajas caducifolias y la selva mediana subperennifolia son las comunidades dominantes. Esta última aparece actualmente como un remanente en los terrenos de Cicolma (Novelo 1978, Castillo y Moreno-Casasola 1998, Castillo-Campos y Medina 2002); West *et al.* (1969) han reportado su presencia formando manchones para Tabasco, aunque no es claro si estos aún perduran. Hacia Yucatán y Quintana Roo estas selvas tienen una estructura donde las palmas brindan una fisonomía particular (Espejel 1984 y 1987, Moreno-Casasola y Espejel 1986).

Los ambientes húmedos e inundables de los sistemas de dunas permiten la presencia de humedales y aún de cuerpos de agua permanentes (cuadro

FIGURA 5. MODELO DE LAS ETAPAS SUCESIONALES EN UN SISTEMA DE DUNAS.



Se plantean dos vías, una que se da principalmente en cimas y laderas y que mediante un proceso de facilitación atraviesa una fase de matorral y finalmente se convierte en una selva baja caducifolia. En las depresiones deflávicas se establece otro camino que puede avanzar, también mediante un proceso de facilitación hacia una selva mediana subcaducifolia (cuando las inundaciones son periódicas pero solo se mantienen unas pocas semanas) y otra en que permanece una vegetación herbácea, probablemente mediante un mecanismo de inhibición, cuando las inundaciones permanecen varios meses.

2). Así, en el análisis que Castillo y Moreno-Casasola (1998) realizaron en 44 sistemas de dunas del Golfo y el Caribe, en 40 de ellos registraron estos ambientes. En las hondonadas, las inundaciones constituyen el mecanismo que modula la sucesión, cuando la inundación no es severa o sobreviene un período de secas de varios años, avanza la sucesión y se forma un matorral, y finalmente una selva baja subcaducifolia donde hay elementos arbóreos que toleran la inundación. Por otra parte cuando la inundación es recurrente y se mantiene varias semanas, se establecen comunidades herbáceas que se conservan en el tiempo (Moreno-Casasola y Vázquez 1999).

En el centro de Veracruz se forman humedales totalmente cubiertos con hidrófitas así como lagunas interdunarias con cuerpos de agua abiertos. Los humedales permanecen inundados de 3 a 6 meses y presentan vegetación tolerante a periodos cortos de inundación; este tipo de comunidades también bordea los cuerpos de agua, los cuales presentan vegetación acuática. Las lagunas son cuerpos de agua dulce permanentes, alimentados por el manto freático, someros, con vegetación acuática tanto arbórea como arbustiva.

La descripción anterior, además de representar una secuencia sucesional del centro de Veracruz, también muestra un mosaico espacial formado por distintas comunidades que representan las distintas etapas sucesionales. Cada una de ellas tiene estructura y composición florística diferente, produciéndose un paisaje heterogéneo con comunidades herbáceas, manchones de matorrales y zonas de arena desnuda.

SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMAS PARA SU CONSERVACIÓN Y MANEJO

Actualmente las playas son uno de los mayores atractivos para la recreación y el descanso. Las dunas son transformadas, aplanadas y sustituidas por estructuras de concreto y cemento. En zonas tropicales hay cada vez mayor presión de desarrollos turísticos para brindar servicios y generar una derrama económica muy requerida. Sin embargo, no siempre se hace buscando conservar la dinámica y características de los ecosistemas. Carter (1988) menciona que entre todos los ecosistemas costeros, las dunas de arena son las que han estado sujetas a las mayores presiones por parte del hombre; plantea que muchos sistemas de dunas han sido alterados de manera irreversible por las actividades humanas, tanto de manera accidental como intencionalmente. Los mayores impactos se han dado al modificar el transporte de sedimentos y por lo tanto alterar de manera permanente la dinámica que les es propia y que les permite erosionarse, crecer y volver a erosionarse de manera cíclica. De forma indirecta las playas y dunas también reciben los impactos de las actividades tierra adentro. Existe un alto porcentaje de costas en el mundo (70%) que están sufriendo procesos de erosión. En muchos casos, las actividades del hombre han hecho que este fenómeno se incremente, por ejemplo, limitando el abasto de sedimentos que vienen de tierra adentro (mediante las presas), o bien por obras de protección costera que evitan el movimiento de sedimentos entre las diferentes celdas costeras (Bird 1996). Por tanto, se puede concluir que las playas y dunas están entre los ecosistemas más amenazados del trópico y México no es la excepción.

SERVICIOS AMBIENTALES

Las dunas son importantes desde el punto de vista ecológico por el solo hecho de existir como ecosistemas, pero también por los servicios ambientales que le prestan a la sociedad. Hesp (2000) y van der Maarel (1993-1997), consideran que las playas y dunas son importantes ya que:

- son una fuente o abasto esencial de sedimentos, que a través de su capacidad para moverse y cambiar de forma en las zonas litorales, protegen las tierras interiores de la erosión provocada por las tormentas y el incremento potencial del nivel del mar. Es decir, juegan un papel fundamental en la interfase tierra-mar para la protección de la vida tierra adentro.
- cuando están cubiertas por vegetación, atrapan la arena que acarrea el viento y estabilizan la playa y las dunas, manteniendo de esta manera el abasto de sedimentos que permite que lleven a cabo su papel de protección.
- proveen hábitats especializados para plantas y animales, entre ellos aves.
- representan uno de los ecosistemas más dinámicos de la tierra.
- actúan como un área de filtración de agua de lluvia hacia el subsuelo, ayudando también a mantener una buena calidad de la misma.
- proveen alto valor recreativo y anímico.
- proveen espacio para asentamientos humanos debido a que sobre los campos de dunas se han desarrollado gran cantidad de ciudades costeras que brindan un incremento en el valor de la propiedad.
- han favorecido la evolución de especies adaptadas a las condiciones físicas imperantes en el sistema, entre ellas de plantas tolerantes a las condiciones de movilidad de arena, que es un proceso característico de las dunas.
- proveen un rango de distintos hábitats que van desde condiciones de fuerte aridez hasta ambientes acuáticos tanto temporales como permanentes.
- nos proveen de un rango único de estructuras geomorfológicas y de ecosistemas que tienen un alto valor natural.

PERTURBACIONES Y ALTERACIONES NATURALES DE PLAYAS Y DUNAS

Los Nortes ponen en movimiento una gran cantidad de arena (Poggie 1962, Moreno-Casasola 1982), que forma parte de las perturbaciones recurrentes que les permiten a las dunas funcionar como depósitos de sedimentos. Las

tormentas tropicales y huracanes producen así mismo el desplazamiento de un enorme volumen de arena pero en un tiempo mucho menor, así como una enorme cantidad de lluvia. Se han llegado a registrar 119 mm de lluvia en un sólo día en La Mancha (Kellman y Roulet 1992). Otro efecto del oleaje es la modificación de manera importante de la morfología y topografía de la playa y primeros cordones de dunas (Pilkey *et al.* 1998). El oleaje puede abrir nuevas entradas a una laguna al romper las islas de barrera, puede desestabilizar sistemas de dunas creando nuevas áreas de arenas activas y puede provocar un incremento tal del manto freático, que el período de inundación se mantiene por varios meses produciendo la muerte de la vegetación de hondonadas (Moreno-Casasola y Vázquez 1999).

El otro extremo es la sequía, la cual genera mortandad de plantas tanto en las propias dunas como en las lagunas interdunarias y hondonadas. Una de las principales causas de mortandad en el establecimiento de plántulas de *Chamaecrista chamaecristoides* en las dunas es la falta de humedad (Martínez 1994).

Estos fenómenos traen consigo la mortandad de individuos y/o poblaciones, abriendo espacios donde se reinicia el movimiento de arena. En estas zonas se vuelve a establecer una comunidad de pioneras, tolerantes al enterramiento por arena y comienza a darse nuevamente la sucesión. El paisaje heterogéneo de las dunas se mantiene en el tiempo y en el espacio por la presencia constante de perturbaciones que llevan al sistema a su estado inicial de gran movimiento de sedimentos y por los mecanismos implícitos en los procesos de facilitación que permiten que una comunidad de plantas modifique las condiciones ambientales (estabilización del sedimento y los cambios que ello conlleva) y permita la aparición de otro grupo de especies (figura 5).

ACTIVIDADES HUMANAS Y ALTERACIÓN DE PLAYAS Y DUNAS

Además de la transformación y sustitución del sistema de dunas, existen numerosas actividades que alteran estos ecosistemas. Los principales efectos son la alteración del funcionamiento del ecosistema y su erosión (debido a la modificación del flujo de sedimentos), la transformación de la cubierta vegetal, pérdida de hábitats y por tanto de biodiversidad, y la contaminación. Muchas veces estos impactos generan a su vez conflictos sociales y pérdidas económicas.

Las principales amenazas hoy en día para este importante banco de sedi-

mentos son:

- Desestabilización de las dunas por actividades productivas diversas (desarrollos inmobiliarios, turísticos, actividades recreativas, ganaderas, o bien por extracción de materiales), ya que eliminan la cubierta vegetal y se produce nuevamente el movimiento de arena.
- El desarrollo de facilidades turísticas (o casas de campo) lineales en las que la mayoría busca contacto y acceso directo a la playa.
- Nivelación de las dunas para crear otro tipo de ambientes o para tener vista (campos de golf, parques, potreros, etc.) cambiando la topografía y eliminando su función como ambientes de sedimentación.
- Relleno de lagunas interdunarias para establecer construcciones y ganar terreno.
- Desecamiento de humedales interdunarios para utilización de terrenos para ganadería.
- Erosión de playas por falta de sedimentos, producto del represamiento de caudales de ríos cargados de sedimentos.
- Modificaciones al transporte de sedimentos por corrientes de deriva por la construcción de infraestructura marina.
- Invasión, tanto legal como ilegal, de la zona federal marítimo terrestre.
- Litoralización en aumento y falta de control del proceso de urbanización.
- Introducción de pastizales (nativos y exóticos) y eliminación de cubierta vegetal para actividades ganaderas. Este punto se convierte en una amenaza por lo extendido de su práctica.
- Introducción de especies exóticas vegetales (por ejemplo *Casuarina equisetifolia*, el pino de mar), las cuales eliminan a las especies nativas localmente y modifican la biodiversidad, la composición de especies y la estructura; introducción de tilapia a las lagunas interdunarias.
- Incremento en la población y de los patrones de consumo, haciendo que las dunas se incluyan dentro de los ambientes recreativos para realizar actividades con vehículos de cuatro motores, campos de golf, etc.
- Explotación de bancos de arena en playas y dunas y de piedra en playas rocosas.
- Contaminación de la playa por desechos, dejados ahí por los visitantes, arrojados por el mar o bien por contaminación de las aguas que llegan a la playa; contaminación de lagunas interdunarias por drenajes.
- Desecamiento de humedales interdunarios por extracción de agua del manto freático para riego de cañaverales.
- Salinización del manto freático por extracción de agua dulce y cambio

de las condiciones de los hábitats.

- Falta de reglamentación para el uso de las playas y dunas costeras y falta de control sobre actividades recreativas.
- Erosión producida por los cambios en el nivel del mar y en la frecuencia de eventos como huracanes afecta la morfología de playas y dunas y el abasto de sedimentos.

Las perturbaciones en la vegetación de pastizales y matorrales de dunas costeras son lentas de recuperarse. Boorman y Fuller (1977) llevaron a cabo experimentos en Gran Bretaña mostrando que con 80 caminatas en un mismo sitio durante un mes, se empieza a producir arena desnuda; 150 caminatas hacen que se pierda más de la mitad de la vegetación que cubre el lugar. Experimentos de disturbio realizados en La Mancha mostraron que el sistema requiere tiempo para recuperarse. En las hondonadas donde hay humedad se lleva menor tiempo (Moreno-Casasola 1997, González y Moreno-Casasola 1982), pero en las zonas más secas, la cubierta vegetal requiere varios años para volver a cerrarse. Así mismo, una vereda hecha por el paso de la gente, una vez que ha quedado marcada, deja una huella que requiere muchos años para recuperarse. El continuo caminar produce erosión y esa zona va quedando cada vez a un nivel más bajo que el resto. De ahí la necesidad de contar con planes de manejo que incluyan pasarelas para proteger las zonas que reciben gran cantidad de visitantes.

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

En los sistemas de playas y dunas costeros hay diversos ambientes que requieren protección: playas, islas de barrera, cayos e islas, vegetación de pastizal, matorral y selva en dunas, humedales y lagunas interdunarias. Las áreas naturales protegidas en general tienen pocos ecosistemas de este tipo representados. En el litoral Atlántico existen 32 áreas naturales protegidas (ANP) costeras, 9 de ellas en el Golfo y 23 en el Caribe. De éstas, únicamente 5 en el Golfo - Sistema Arrecifal Veracruzano (cayo), La Mancha (playas, dunas, selva costera), Playa Rancho Nuevo y Lechugillas (playas tortugueras), Isla del Amor (playa) y 13 en el Caribe (Sian Ka'an, Ría Celestún, Ría Lagartos, Isla Contoy, Tulum, Yum Balam, Dzilam, Chan-Kanaab, las playas tortugueras de El Palmar, la playa adyacente a Ría Lagartos y las playas de Isla Contoy, los cayos de Banco Chinchorro y Arrecife Alacranes) tienen representados ambientes de playas y dunas. En ninguna ANP están representadas las islas de barrera y los

humedales de dunas como ambientes realmente protegidos.

En general, este número no es suficiente, es necesario contar con áreas protegidas costeras en las distintas regiones del Golfo y el Caribe, ya que hay una gran riqueza florística, especies de plantas endémicas, fauna vulnerable que necesita de estos hábitats para obtener refugio y alimento, tanto entre las residentes como entre las migratorias. El caso del Golfo es dramático por la escasez general de áreas de protección y requiere de atención urgente. Un análisis del número de áreas naturales protegidas en México muestra situaciones muy desiguales (Moreno-Casasola en prensa). La región del Pacífico norte (es decir, los litorales Pacíficos de Baja California y Baja California Sur) junto con el Golfo de México, son las regiones más pobres en áreas naturales protegidas (solamente 6% de la superficie de las reservas costeras se ubican en estas dos extensas regiones). El 54% de la superficie costera protegida se localiza en el Golfo de California y en los estados que colindan con este mar. En el Caribe se localiza el 25% y en el Pacífico tropical el 15%, mientras que el Golfo de México y el Pacífico norte presentan valores sumamente bajos (5 y 1%, respectivamente). Se requiere establecer sistemas de áreas naturales protegidas con zonas de dunas y de playas en las cuales haya un control de actividades y se garantice su preservación.

Por otro lado, se ha documentado que una vez que las dunas son protegidas y se evitan las perturbaciones, rápidamente se da el proceso sucesional que lleva al establecimiento de las comunidades de las últimas etapas de la sucesión, eliminando los ambientes de pioneras y aún de pastizales. Esto se ha visto claramente en la reserva de Cicolma. Por tanto, es necesario que la protección de estos ambientes tan frágiles se de a través de un sistema que garantice el mantenimiento de las distintas etapas sucesionales que conforman el sistema de dunas. Ello implica que las áreas naturales protegidas de dunas tengan una superficie tal que permita que estén representadas las etapas pioneras, los pastizales, los matorrales y finalmente las selvas. Así mismo, deberán establecerse planes de manejo que permitan la coexistencia de estas distintas etapas.

CAMBIO CLIMÁTICO

En el Golfo y Caribe de México existen costas que están en retroceso hacia el continente. Ello puede deberse a sumersión, a inactividad deltáica o a elevación del nivel del mar, o bien a un conjunto de estos factores. Estas costas son sumamente vulnerables a los efectos del cambio climático y sus poblaciones están en riesgo. En este caso se encuentran las costas del norte de Tamaulipas, tanto en la zona de

la llanura de inundación del río Bravo, como a lo largo de la Laguna Madre, donde especialmente las islas de barrera se verán fuertemente afectadas. Estas islas se irán erosionando y haciéndose más delgadas, hasta finalmente fragmentarse.

El sur de Tamaulipas y la mayor parte de Veracruz presentan una línea costera que está avanzando hacia el mar o bien costas en equilibrio. Hay cordones de dunas o campos extensos de médanos, los cuales sufrirán erosión, pero tienen suficiente masa y tamaño como para resistir la pérdida de sedimentos. De manera más específica, también son vulnerables las barras temporales que separan el mar de las lagunas costeras en esta región. En estos casos el equilibrio, y por tanto el tiempo que permanece abierta la barra, depende de los sedimentos que se arrastran a lo largo del litoral y de la cantidad de agua de lluvia que baja y se acumula en la laguna. Las escolleras y obras de apertura de barras también están incrementando la vulnerabilidad de estas barreras.

La zona del delta del Grijalva y Usumacinta también es una zona vulnerable ya que la línea de costa está en retroceso, además de que hay una disminución del aporte de sedimentos, colocándola en una situación semejante a la del delta del Misisipi (Day *et al.* 1999). Así, en la zona oeste de Tabasco, las barras frente a las lagunas más pequeñas desaparecerán al ser arrastradas por el mar, creando una línea costera muy indentada. El segmento que abarca desde Tupilco (Tabasco) hasta Champotón, es muy bajo y ancho y se erosionará rápidamente conforme los mayores niveles de mar remueven los sedimentos (Ortiz-Pérez 1994, Ortiz-Pérez, Valverde y Psuty 1996). La región de Laguna de Términos también es una zona frágil.

En general, la Península de Yucatán presentan una línea costera que está avanzando hacia el mar o bien costas en equilibrio, mientras que en el sur de Quintana Roo, está retrocediendo (Ortiz y Espinosa 1991). De manera particular el incremento en el nivel del mar afectará las islas de barrera del Caribe (Isla del Carmen, norte de Yucatán y Cancún), así como los humedales y las islas de Bahía de Espíritu Santo y de Ascensión.

UNA VISIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PROBLEMÁTICA DE PLAYAS Y DUNAS EN EL GOLFO Y CARIBE DE MÉXICO

TAMAULIPAS

Predominan islas de barrera con actividades de ganadería extensiva, vulnerables a la elevación de nivel del mar. La Laguna Madre está sumamente deteriorada, hay salinización de cuerpos de agua y disminución muy im-

portante de sedimentos y de aguas dulces por represamientos. Es una zona importante de pesquerías por lo que se han hecho modificaciones de las islas de barrera para mejorar la comunicación con el mar. En el sur hay crecimiento urbano y turístico. No hay áreas naturales protegidas.

VERACRUZ

La isla de barrera en Tamiahua presenta una fuerte transformación de la cubierta vegetal por ganadería, al igual que la gran mayoría de las zonas de dunas del estado. Hay un desarrollo turístico creciente en la zona centro, principalmente en áreas de cordones de dunas (Tecolutla, Tuxpan, Costa Esmeralda) y nuevos proyectos a desarrollar que buscan sustituir los campos de dunas por urbanizaciones turísticas (San Julián, La Antigua, Alvarado). Es frecuente la invasión de la zona federal marítimo terrestre y hay poca claridad de la misma en las zonas de médanos. Se presentan grandes sistemas de dunas con una importante riqueza de ambientes y por tanto de flora y fauna, aunque las selvas han sido eliminadas casi en su totalidad. Los dos sistemas arrecifales, protectores y modificadores de la zona costera continental frente a ellos, están situados en dos polos de desarrollo industrial y urbano, por lo tanto sujetos a fuertes presiones. Sólo se encuentra protegido un pequeño sistema de dunas en La Mancha y las islas del Sistema Arrecifal Veracruzano, ya que la costa no forma parte del área núcleo de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas. La región de Alvarado, las islas de barrera, así como algunas otras más puntuales que tienen zonas bajas (Mandinga, La Mancha, etc.) son muy vulnerables a la elevación del nivel del mar.

TABASCO

Es una zona deltaica de gran fragilidad, donde los potreros y cocotales han sustituido la cubierta de vegetación natural casi en su totalidad. Las selvas costeras han desaparecido. Las operaciones de Pemex han modificado flujos de escurrimientos de agua y por tanto de transporte de sedimentos. Las operaciones industriales están produciendo subsidencia de áreas del delta. Es una zona sumamente vulnerable a los efectos del cambio climático global. El área costera protegida solamente abarca humedales.

CAMPECHE

Se inicia una región con características muy distintas, una gran plataforma cárstica, con el principal flujo hidrológico en el subsuelo, abundancia de islas de barrera y arena de origen biogénico. Hay un fuerte desarrollo urbano en una isla de barrera, vulnerable al cambio climático global, y que ya ha sido afectada por el paso de huracanes. La mayor parte de las playas y dunas están alejadas de las vías de comunicación importantes y no hay un fuerte desarrollo turístico en la zona costera.

YUCATÁN

La vegetación costera ha sido sustituida por ranchos cocoteros la mayoría abandonados. Es una región con endemismos costeros importantes en las playas y dunas. Hay desarrollo portuario y sobre todo turístico lineal, explotación de sal en lagunas costeras, modificación de flujos hidrológicos y sedimentos, apertura de barras. Hay áreas naturales protegidas importantes.

QUINTANA ROO

Al igual que en Yucatán, los ranchos cocoteros modificaron gran parte de la vegetación costera y actualmente están siendo reemplazados por instalaciones de desarrollo turístico. En algunas hay una sustitución de la estructura geomorfológica de las dunas por edificaciones, mientras que en otras se promueve el mantenimiento de una pequeña porción de la vegetación original en los desarrollos. Sin embargo, el crecimiento lineal a lo largo de la costa es muy fuerte y hay presiones de desarrollo aún en islas de barrera muy angostas y frágiles, como es en la Reserva de Sian Ka'an.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. México tiene litorales extensos con distintos tipos de climas y composición de la arena, permitiendo una gran riqueza de ecosistemas costeros. El Golfo se localiza en la parte central de una placa tectónica y constituye una enorme zona de sedimentación.
2. Los sistemas de dunas están formados por tres tipos de ambientes: ambientes de dunas activas, ambientes de hondonadas húmedas e inundables, y ambientes estabilizados. En cada uno de ellos predominan

condiciones microambientales diferentes y por tanto diversos grupos florísticos. El primero de ellos es el hábitat de especies endémicas fijadoras de dunas. Son sistemas sumamente dinámicos y por ello muy frágiles.

3. Existe una flora costera rica en especies, con numerosas endémicas sobre todo en ambas penínsulas y con grandes diferencias regionales. Las mayores similitudes se dan entre floras contiguas como es la del Pacífico norte y el Golfo de California y la del Golfo de México y el Caribe. Le siguen las del Atlántico con la del Pacífico sur, principalmente porque comparten especies pantropicales así como numerosos arbustos y árboles de selvas. La flora y la estructura de la vegetación del Golfo y Caribe de México se conocen bastante bien. La región del Golfo que aún requiere de trabajo florístico y descriptivo es Tamaulipas, sobre todo el centro y norte y el norte de Veracruz, en la zona de Cabo Rojo. Es necesario reconocer que existe una flora costera, que es rica, con atributos funcionales propios y que requiere ser protegida.
4. La vegetación de las playas y dunas realmente está conformada por comunidades de pioneras, pastizales, matorrales, selvas, humedales y ambientes acuáticos. Forman un mosaico tanto en el tiempo como en el espacio, lo que hace a las dunas costeras un sistema diverso y heterogéneo. La flora costera está formada por especies que solamente habitan sistemas costeros, especies frecuentes en zonas perturbadas (ruderales, acahuals) y especies frecuentes en otros tipos de vegetación tierra adentro.
5. El proceso dominante durante la sucesión es la facilitación, mediante la cual las poblaciones que componen una etapa sucesional modifican el ambiente de tal manera que facilitan la entrada de otras especies, de una etapa sucesional posterior. En las hondonadas inundables el proceso de inhibición juega un papel importante evitando que ésta continúe. Es importante ahondar más en la dinámica de la vegetación y en el funcionamiento del ecosistema.
6. Las especies costeras presentan numerosas adaptaciones a las condiciones imperantes en estos ecosistemas. Abarcan respuestas en la etapa de germinación, de establecimiento, de crecimiento, etc. Hay numerosas especies de las cuales se ignora su ecología y fisiología, y que son clave en el funcionamiento del ecosistema.
7. Las playas y dunas costeras proporcionan importantes servicios ambientales al ser humano al actuar como una zona de amortiguamiento entre el mar, la tierra y la atmósfera: protegen la zona costera durante tormentas y huracanes, atrapan la arena, filtran el agua, proporcionan

- hábitats especializados para flora y fauna.
8. Hoy en día se encuentran entre los ecosistemas que más han sido afectados por el hombre. Las actividades productivas, principalmente los desarrollos turísticos lineales, y la transformación en potreros para ganadería extensiva han transformado su geomorfología y cubierta vegetal.
 9. Son ecosistemas sumamente frágiles por lo que actividades como el pisoteo, la extracción de agua del manto freático, la invasión de especies exóticas, entre otras, han producido un fuerte deterioro. No existe en la legislación mexicana ninguna normatividad para el manejo de estos ecosistemas.
 10. Las playas principalmente, pero también las dunas, son ecosistemas muy vulnerables al cambio climático global y a la elevación de nivel del mar.
 11. No hay una evaluación en México del grado de erosión de las playas y lo que ello implica para los proyectos de desarrollo turístico costero.
 12. La situación actual hace necesario tomar medidas para conservar el funcionamiento de estos ecosistemas y su biodiversidad: creación de nuevas áreas protegidas, reglamentos para el uso y manejo de estos sistemas, redefinición de la zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar con base en criterios geomorfológicos y ecológicos en función de las distintas regiones del país y su delimitación en las costas, identificación de áreas vulnerables y de riesgo, impulsar las Manifestaciones de Impacto Ambiental en la zona costera con base en la conservación del funcionamiento de la dinámica costera, entre las más importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, I. 1993. Lluvia de semillas en los pastizales y matorrales de dunas costeras. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Bird, E.C. 1996. *Beach management*. John Wiley & Sons. New York. 281 pp.
- Boorman, L.A. y R.M. Fuller. 1977. Studies on the impact of paths on the dune vegetation at Winterton, Norfolk, England. *Biological Conservation* 12: 203-216.
- Bonet, F. y J. Rzedowski. 1962. La vegetación de las islas del Arrecife Alacranes, Yucatán. **An. Esc. Nac. Ci. Biol.** 11 (4): 15-59.
- Britton, J.C. y B. Morton. 1989. *Shore ecology of the Gulf of Mexico*. University of Texas Press. Austin. 387 pp.
- Carter, R.W.G. 1988. *Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of the coastlines*. Academic Press. New York. 617.

- Castillo-Campos, G. y M.E. Medina. 2002. *Árboles y arbustos de la Reserva Natural de La Mancha, Veracruz*. Instituto de Ecología A.C. 143 pp.
- Castillo, S., J. Popma y P. Moreno-Casasola. 1991. A typological study of the vegetation of the coastal dunes of Tabasco and Campeche, Mexico. *J. Vegetation Science* 2:73-88.
- Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1996. Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *J. Coastal Conserv.* 2: 13-22.
- Castillo, S. y P. Moreno-Casasola. 1998. Análisis de la flora de dunas costeras del Golfo y Caribe de México. *Acta Botanica* 45: 55-80
- Contreras, F. 1993. *Ecosistemas costeros mexicanos*. CONABIO-UAM. México D.F. 415 pp.
- Day, J., G.P. Schaffer, L.D. Britsch, D.J. Reed, S.R. Hawes y D. Cahoon. 1999. Pattern and process of land loss in the Louisiana coastal zone: an analysis of spatial and temporal patterns of wetland habitat change. En: Rozas, L.P. *et al.* (eds). *Symposium on Recent research in coastal Louisiana: natural system function and response to human influence*. Louisiana Sea Grant Program: 193-202.
- Doing, H. 1981. A comparative scheme of dry coastal dune habitats, with examples from the eastern United States and other temperate regions. *Veroff. Geobot. Inst. Rubel* 77: 41-72.
- Espejel, I. 1984. La vegetación de las dunas costeras de la Península de Yucatán. I. Análisis florístico del Estado de Yucatán. *Biotica* 9: 183-210.
- . 1987. A phytogeographical analysis of coastal vegetation in the Yucatan Peninsula. *J. Biog.* 14: 499-519.
- Flores, J.S. 1983. Vegetación insular de la Península de Yucatán. *Bol. Soc. Bot. México* 45: 23-37.
- . 1984. Dinámica de emersión del suelo y sucesión de la vegetación en el Arrecife Alacranes del Canal de Yucatán. *Biotica* 9 (1): 41-63.
- García, M.T. 1987. Descripción de la vegetación de dunas costeras del sur de Tamaulipas, México. Tesis de licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM. México.
- González, L. J. y Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: efecto de una perturbación artificial. *Biotica* 7 (4): 533-550.
- Hesp, P. 2000. *Coastal sand dunes*. Form and function. CDVN Technical Bulletin no. 4. Massey University. Nueva Zelanda. 29 pp.
- Kellman, M. y Roulet, N. 1990. Stemflow and throughfall in a tropical dry forest. *Earth Surface Processes and Landforms* 15: 55-61.
- Martínez, M.L. 1994. Sobrevivencia y establecimiento de plántulas de una especie colonizadora de dunas costeras: *Chamaecrista chamaecristoides*. Tesis Doctoral, Fac. Ciencias, UNAM, México D.F.
- Martínez, M.L. y P. Moreno-Casasola. 1996. Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species. *J. Coastal Research* 12 (2): 406-419.

- Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P. y G. Vázquez. 1997. Long term effect of sand movement and inundation by water on tropical coastal sand dune vegetation. *J. Canadian Bot.* 75: 2005-2014.
- Martínez, M.L., G. Vázquez y S. S. Colón. 2001. Spatial and temporal variability during primary succession on tropical coastal sand dunes. *J. Vegetation Science* 12: 361-372.
- Moreno-Casasola, P. 1982. Ecología de la vegetación de dunas costeras: factores físicos. *Biotica* 7 (4): 577-602.
- 1988. Patterns of plant species distribution on Mexican coastal dunes along the Gulf of Mexico. *J. Biogeog.* 15: 787-806
- 1997. Vegetation differentiation and environmental dynamics along the Mexican Gulf coast. A case study: Morro de la Mancha. En: E. van der Maarel (ed.). *Dry Coastal Ecosystems*. Cap. 27. Vol. 2C. Elsevier Publishing Co., Amsterdam: 469-482.
- Moreno-Casasola, P. y S. Castillo. 1992. Dune ecology on the eastern coast of Mexico. En: U. Seelinger (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press. N. York: 309-321.
- Moreno-Casasola, P. y Espejel, I. 1986. Classification and ordination of coastal dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of Mexico. *Vegetatio* 66: 147-182.
- Moreno-Casasola, P. Moreno-Casasola P, Espejel I, Castillo S, Castillo-Campos G, Durán R, Pérez-Navarro JJ, León JL, Olmsted I, Trejo-Torres J. 1998. Flora de los ambientes arenosos y rocosos de las costas de México. En: Halffter, G. (Ed.) *Biodiversidad en Iberoamérica*. Vol. 2. CYTED- IdeE: 177-258.
- En prensa. Areas naturales protegidas costeras en México ¿Son suficientes? En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello (eds.) *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Gobierno del Estado de Veracruz-Consejo Estatal de Protección al Ambiente-Instituto de Ecología A.C.
- Moreno-Casasola, P. y G. Vázquez. 1999. The relationship between vegetation dynamics and water level in tropical dune slacks. *J. Veg. Science* 10: 515-524.
- Morrison, R.G. y G.A. Yarranton. 1974. Vegetation heterogeneity during a primary succession. *Can J. Bot* 52: 397-410.
- Novelo, R.A. 1978. La vegetación de la Estación Biológica El Morro de la Mancha, Veracruz. *Biotica* 3 (1): 9-23.
- Ortiz-Pérez, M.A. 1994. Repercusiones del ascenso del nivel del mar en el litoral del Golfo de México: un enfoque geográfico de los problemas del cambio global. En: C. Gay, L.G. Ruiz, M. Imaz, C. Conde y O. Sánchez (eds.) *Memorias del 1er Taller de estudio del país: México. México ante el cambio global*. Memorias. Cuernavaca 18-22 abril, 1994. Instituto Nacional de Ecología, UNAM. 191-196.
- Ortiz, P.M.A. y R.L.M. Espinosa. 1991. Clasificación geomorfológica de las costas de México. *Geografía y Desarrollo* 2 (6): 2-9.

- Ortiz-Pérez, M.A., C. Valverde y N.P. Psuty. 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf coast. En: A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez y D. Zárate (eds.) *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie Científica 5. 459-470.
- Ortiz-Pérez, M.A. En prensa. Características físicas de las costas: bases para su regionalización. El caso de la costa Veracruzana En: P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello. (eds.) *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Gobierno del Estado de Veracruz-Consejo Estatal de Protección al Ambiente-Instituto de Ecología A.C.
- Pérez, N. 1993. Banco de semillas en los pastizales y matorrales de dunas costeras. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Pilkey, O.H., W.J. Meal, S.R. Riggs, C.A. Webb, D.M. Bush, D.F. Pilkey, J. Bullock, B.A. Cowan. 1998. *The north Carolina Shore and its barrier islands. Restless ribbons of sand*. Duke University Press. Durham. 318 pp.
- Poggie, J.J. 1962. *Coastal pioneer plants and habitat in the Tampico region, Mexico*. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ., Baton Rouge, La. Techn. Rep. 17A: 1-62.
- Ranwell, D. 1972. *Ecology of salt marshes and sand dunes*. Chapman and Hall. Londres. 258 pp.
- Salinas, G. 1992. Crecimiento de especies arbóreas bajo diferentes condiciones de suelo y cobertura. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias, UNAM.
- Sauer, J.D. 1967. *Geographic reconnaissance of seashore vegetation along the Mexican Gulf coast*. Coastal Studies Institute, Louisiana State Univ., Baton Rouge, La. Techn. Rep. 56: 1-59.
- van der Maarel, E. (1993-1997). *Dry Coastal Ecosystems*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam. Vol. 1, 2 y 3C.
- West, R.C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1969. *The Tabasco lowlands of southeastern Mexico*. Coastal Studies Institute. Louisiana state University. Tech. Rep. 70: 1-193.

FLORA Y VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES DE AGUA DULCE EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO

Antonio Lot

INTRODUCCIÓN

Los humedales de agua dulce están íntimamente relacionados con el conjunto de sistemas estuarinos y marinos del Golfo de México. Su separación es artificial y es imprescindible entender en un contexto más amplio sus características, interrelaciones e importancia como parte de los humedales costeros, por lo que se recomienda la lectura de otros capítulos incluidos en esta misma sección de los ecosistemas del Golfo de México.

El Golfo de México está considerado como el noveno cuerpo de agua más grande del mundo, cubre una región de 1,314.000 metros cuadrados con 33 sistemas ribereños y 207 estuarios (Giattina y Altzman 1999).

Sólo en el Golfo de México existen dos de las planicies de inundación más extensas del continente, representadas por los deltas del Misisipi y del Grijalva-Usumacinta. El primero cubre el 40% de las marismas costeras y humedales dulceacuícolas más importantes de los Estados Unidos de América (Day 1988) y el segundo contribuye con el 30% del total del flujo de agua dulce de México (Chavez 1988). La descarga anual del río Misisipi se estima en 577 km³ (lo que constituye el segundo gasto fluvial de cualquier río en el mundo) y el delta forma una pluma de agua dulce que se extiende a más de 100 km en la plataforma costera del Golfo de México frente a las costas de Luisiana y Texas (Birkett y Rapport 1999), con un gran efecto en su

descarga por todo el material terrígeno, nutrientes disueltos y materia orgánica (Darnell y Defenbaugh 1990).

Se desconoce información equivalente de los humedales y deltas que descargan sus aguas y sedimentos suspendidos de las costas mexicanas, particularmente de los ríos Grijalva y Usumacinta.

En general, se reconoce la importancia de los humedales con relación a la diversidad de la flora y fauna y la extinción de algunas especies, pero también por una infinidad de recursos y servicios que las planicies de inundación aportan en la región costera a los países que circundan el Golfo: Estados Unidos (Texas, Luisiana, Misisipi, Alabama y Florida), México (Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y parte de Quintana Roo) y Cuba (Cabo San Antonio, litoral oriente), entre los que destacan la pesquería, aprovechamiento de recursos forestales y animales, agricultura de irrigación, transporación fluvial y recreación. De manera especial hay que destacar las reservas de gas, petróleo y otros recursos no renovables, que son motivo de exploración, explotación y abandono, con la consecuente modificación y destrucción del hábitat en los humedales del Golfo de México.

PRINCIPALES HUMEDALES DEL GOLFO DE MÉXICO

Una posible subdivisión regional de los humedales considerada para este ensayo retoma la clasificación que propone Moreno-Cassasola (1999) en seis grandes áreas:

1. Delta del Misisipi
2. Everglades
3. Parte central del Golfo de México
4. Delta del Usumacinta
5. Península Yucatanense
6. Cuba

En el estudio de Moreno-Cassasola (1999) se presenta una tabla comparativa de las principales características de la naturaleza de cada región (geomorfológicas, hidrológicas y climáticas), que es fundamental considerar en cualquier intento que pretenda comparar un ecosistema de tal tamaño. En buena medida estas características se ven reflejadas en la distribución y composición de la flora, por lo que preliminarmente y de manera general, podemos encontrar similitudes entre los humedales del Misisipi con los del

Usumacinta y los de la parte central en los estados de Tamaulipas y Veracruz. Los humedales de Florida, particularmente los Everglades, son diferentes a todos los demás en cuanto a su particular vegetación arbórea, aunque algunas comunidades inundables (como los petenes, entre otras) cercanas a la costa son similares a las presentes en la Península Yucatanense. Esta última, principalmente en su franja costera y en la Isla de Cuba, tienen mayor afinidad caribea y se relacionan más con las Antillas que con el Golfo de México.

Según Day (1988), una diferencia importante entre la región del Delta del Misisipi y el Delta del Usumacinta es el impacto de las actividades humanas, en el sentido de un mayor efecto en el tiempo en las planicies del Misisipi, especialmente por los desarrollos humanos no planeados que se traducen, entre otros efectos, en la acumulación de grandes cantidades de nutrientes (eutroficación) provenientes de sedimentos erosionados de terrenos agrícolas, y que han degradado severamente los sistemas naturales, a diferencia de la gran región inundable de Tabasco y Campeche, donde aún hay tiempo (habría que revalorarlo en la actualidad) para hacer un planteamiento en la conservación y manejo de los recursos naturales.

La eutroficación es un proceso caracterizado por la acumulación de nutrientes, principalmente favorecidos por las actividades humanas y, que se refleja por afloramientos de algas, mortandad de peces nativos por bajos niveles de oxígeno disuelto y, en muchos casos, por la sustitución de peces tolerantes a la contaminación por escurrimientos agrícolas y urbanos (Day 1988). Otros efectos derivados por la construcción de canales con una amplia red de más de 15,000 km en el estado de Luisiana conllevan la entrada de agua de mar a zonas internas de agua dulce, causando la desaparición de la flora y fauna dulceacuícola, además de la modificación (dragado y depósito de azolve) de las propias marismas. Dichos canales artificiales se emplean para facilitar el drenaje y controlar inundaciones, navegación, pero principalmente para diversas actividades petroleras (Day 1988).

CLASIFICACIONES DE HUMEDALES Y SU PROBLEMÁTICA

En general, las diferentes clasificaciones y definiciones de los diversos humedales en el mundo resultan muy complicadas al intentar adoptarlas para nombrar y agrupar los cuerpos de agua de una determinada región o país. Evidentemente los cambios existentes a diferentes latitudes por el origen y naturaleza de cada humedal y por el diferente grado de conocimiento y de información, no permiten identificar alguna de las clasificaciones como un sistema univer-

sal equivalente. Sin embargo, es importante señalar que en un plano general como punto de partida, se pueden considerar a 5 grandes reinos o sistemas de humedales, adoptados de la Convención Ramsar (Niering 1985):

I Costeros (con influencia oceánica)

1. Marinos
2. Estuarinos

II Dulceacuícolas

3. Lacustres
4. Ribereños
5. Palustres.

Entre los primeros (costeros) estarían las marismas, los manglares y las comunidades de pastos marinos o ceibadales (nombre con el que son conocidos en las costas mexicanas y antillanas). Entre el segundo gran grupo con influencia de agua dulce, que es el que nos interesa en el presente capítulo, resulta confuso y complicado diferenciar y agrupar un gran número de ambientes acuáticos por la gran gama de hábitats y ecotonos que se presentan en un continuo de humedales del Golfo de México, pero en términos generales podríamos caracterizarlos de la siguiente forma: lacustres como los humedales constituidos por lagos y estanques; ribereños como cuencas inundables, ríos y arroyos; palustres con tres grandes divisiones ampliamente utilizadas en Estados Unidos y Canadá: *marshes* (pantanos de herbáceas emergentes), *swamps* (grandes planicies inundadas dominadas por plantas leñosas) y *bogs* (áreas formadas por los glaciares con suelos pobres en nutrientes, extremadamente ácidos con árboles y arbustos perennifolios con una cubierta de *Sphagnum* en el piso). Un tercer grupo estaría conformado por los cuerpos de agua artificiales creados por el hombre.

La reconocida clasificación Ramsar presenta serias limitaciones de uso en la categoría *inland wetlands* y particularmente en la definición de los humedales dulceacuícolas, como lo señalan Semeniuk y Semeniuk (1997), fundamentalmente por ser un sistema que emplea la combinación de varios criterios con definiciones imprecisas que hacen inconsistente su aplicación.

LA FLORA COMO BIOINDICADOR DE LOS PRINCIPALES HUMEDALES COSTEROS

Algunas clasificaciones, sobre todo cuando jerárquicamente se intenta tipificar el humedal, toman en consideración las características fisonómicas de

la vegetación. En este sentido, la composición florística nos auxilia en la identificación de diferentes humedales. Sin embargo, hay que ser cuidadosos en la interpretación que demos a la presencia o ausencia de determinadas especies, en particular si no tenemos un conocimiento apropiado de la flora y la vegetación del lugar de estudio. La reconocida plasticidad de la naturaleza de las plantas acuáticas es el reto fundamental al que se enfrentan los ecólogos y otros profesionales que intervienen en el manejo y conservación de humedales. Lo anterior nos recuerda la existencia de especies de hidrófitas (plantas vasculares acuáticas) estrictas y facultativas al medio acuático y lo subjetivo que puede resultar ordenar a todas las formas de vida que se distribuyen en los diferentes humedales, pero también en sus bordes y ecotonos.

Algunos autores, como Hofstetter (1988), enfatizan lo significativo que es el impacto de las actividades humanas en la respuesta morfológica y fisiológica de algunas hidrófitas que se adaptan a la modificación de su hábitat. Entre dichas respuestas resaltan las siguientes:

- 1) cambios fenológicos
- 2) disminuye la concentración de compuestos secundarios ligados a la defensa contra herbívoros
- 3) disminuye la capacidad de resistencia a enfermedades
- 4) cambios morfológicos en su aspecto general, vigor, tamaño y presencia de partes muertas.

El reciente estudio de Aznar *et al.* (2003) ilustra algunos casos de la relación entre la presión del hombre y los indicadores de la vegetación acuática y el paisaje, principalmente de los humedales del Mediterráneo. Entre sus observaciones destaca el significado de las comunidades de hidrófitas como integradoras del humedal y la presencia de algunas especies que dependen del disturbio, como *Ludwigia peploides* (hidrófita cosmopolita invasora que sustituye a numerosas especies nativas), y en general el reemplazo de plantas acuáticas especializadas por especies generalistas y exóticas. La presencia creciente de canales y diques para el manejo del agua por el hombre favorecen la dispersión y establecimiento de malezas y plantas invasoras en general. Una hipótesis importante de la investigación indica que las mediciones de la densidad espacial de las comunidades de hidrófitas relacionadas con la red hidrológica definen indicadores específicos del paisaje y permiten estimar la presión antropogénica sobre la biodiversidad (Aznar *et al.* 2003).

Un ejemplo que documenta este tipo de impacto del desarrollo humano en los humedales del Golfo de México, para el área de las planicies de inundación del Misisipi en Luisiana, señala que el resultado en los cambios hidrológicos a partir de la construcción de bordos, diques, cortes directos para evitar meandros de ríos y la construcción de canales, conducen a una hidrología errática, incrementando las inundaciones en lugar de evitarlas (Day 1988).

El análisis de Higer y Kolipinski (1988) de una zona de los pantanos de Everglades en Florida, demuestra que la disminución de la vegetación acuática de herbáceas y la sustitución por vegetación arbórea subacuática o terrestre y algunas poblaciones puras de ciperáceas, se deben al acortamiento de los períodos de inundación, particularmente entre los años de 1940 y 1951. A partir del gran proyecto para la construcción del controlador del flujo de agua, se observó una pérdida de suelo y su compactación y oxidación que en conjunto con el frecuente uso del fuego, aceleró el bajo nivel del agua y condiciones inadecuadas para el desarrollo de la vegetación acuática nativa.

Además de considerar los elementos mencionados anteriormente, resulta imprescindible realizar investigaciones que aporten información sobre la estructura comparativa entre los tipos de vegetación y asociaciones vegetales, que se pueden distinguir en el mosaico de humedales, principalmente en cuanto a la composición florística y formas de vida, diversidad, estacionalidad, distribución y zonificación de las especies dominantes.

Bajo este enfoque, que parte de las unidades de vegetación y de su composición florística, se intenta describir a los humedales de agua dulce de la región costera del Golfo de México.

Sin embargo, hay que reconocer la presencia de algunos humedales sin vegetación o con pequeñas formaciones vegetales, frecuentemente de emergentes a lo largo de las orillas someras de grandes cuerpos de agua. Algunos de los factores que limitan la presencia de vegetación son la acción constante del oleaje, las fluctuaciones extremas del nivel del agua y los sedimentos pobres en nutrientes o con altas concentraciones salinas. Un ejemplo de esta situación, que puede considerarse como un tipo de humedales intermitentes sin vegetación o con algunos elementos aislados de plantas, lo tenemos en los llamados blanquizales, planicies inundables durante la época de lluvias en las zonas costeras de Campeche (Zamora 2003). Las formas sumergidas desaparecen con el aumento de partículas en suspensión y permanente grado de turbiedad en la columna de agua.

En los siguientes apartados sobre los tipos de formaciones vegetales de los humedales se comenta sobre algunas de las especies que pueden ser bioindicadoras de diferentes humedales o de ciertas condiciones ecológicas.

VEGETACIÓN DE LOS HUMEDALES DE AGUA DULCE

Los humedales o ambientes acuáticos considerados en el presente trabajo son aquellos que permiten el desarrollo de formas vegetales adaptadas a vivir en condiciones de inundación. Entre éstas se incluyen desde las hidrófitas estrictas de formas sumergidas, emergentes y flotantes hasta las subacuáticas o tolerantes, con representantes herbáceos o leñosos, en ambos casos (figura 1).

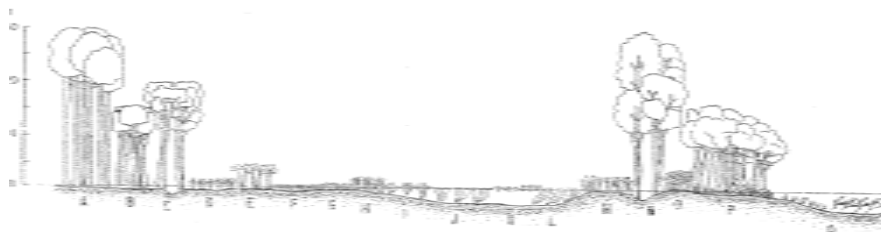
Como se mencionó, no existe una clasificación universalmente aceptada para tipificar a los humedales y, en todo caso no es aplicable a la gran mayoría de los ecosistemas dulceacuícolas de las planicies costeras mexicanas, en buena medida por la falta de unidades equivalentes. Aparentemente pudiera pensarse que el problema es de nomenclatura, pero es mucho más profundo, en parte por la falta de estudios ecológicos sobre la estructura de la vegetación que cubre una gran diversidad de humedales en el centro y sur del Golfo de México.

Otro elemento que dificulta aún más la definición y clasificación de los humedales es la inestabilidad de muchas de las comunidades vegetales acuáticas y subacuáticas, no consideradas consecuentemente como comunidades clímax.

Sin embargo, existen ventajas para fundamentar que los tipos de vegetación acuática y subacuática pueden ser un criterio para nombrar y clasificar a los humedales de la zona costera del Golfo de México.

El principal elemento a favor de este tipo de clasificación es lo relativamente fácil que resulta para un observador de la vegetación distinguir diferentes paisajes y características fisonómicas de los tipos de comunidades vegetales dominantes en la mayoría de los humedales. En este sentido hay que recordar la rica gama de nombres vernáculos que los pobladores locales dan a las agrupaciones vegetales en todo el mundo. Para el estado de Veracruz, por ejemplo, se conocen más de 13 nombres para distinguir algunas comunidades propias de los humedales (Lot 1991). La presencia de manera abundante y frecuentemente cubriendo grandes extensiones de una o varias especies en determinadas asociaciones, es el elemento común que une la percepción popular con el conocimiento científico en la definición de ciertas características para nombrar y distinguir entre los diversos paisajes

FIGURA 1. PERFIL DIAGRAMÁTICO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA
DEL CENTRO Y SUR DEL GOLFO DE MÉXICO



de cada tipo de humedal. Por otro lado, la distribución de ciertas asociaciones vegetales refleja una serie de factores (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, hidrológicos, etc.) que en el tiempo y en el espacio están presentes y que juegan un papel crucial en la evolución de dichos humedales.

A continuación se describen los principales humedales a partir de dos grandes conjuntos de la vegetación: las formaciones leñosas y las formaciones herbáceas.

FORMACIONES LEÑOSAS

Se incluyen a las agrupaciones arbóreas, arbustivas y a las palmas que se desarrollan en zonas inundables permanentes o temporales por más de seis meses al año y están adaptadas a condiciones edáficas de drenaje deficiente. Un buen conjunto de elementos leñosos, principalmente árboles y arbustos, conforman diferentes tipos de comunidades como elementos dominantes o acompañantes de selvas y otros tipos de vegetación incluso terrestre, razón

por la cual hay que tener presente la plasticidad de algunas especies para adaptarse como formas ecológicas en ambos ambientes.

BOSQUE INUNDABLE

Los planos aluviales del sureste de Estados Unidos, en la mayor parte de la costa del Golfo, presentan comunidades arbóreas propias de las regiones subtropicales y templadas, caracterizadas por la presencia de los géneros *Pinus*, *Taxodium* y *Nyssa*.

El pinar de *Pinus elliottii* var. *densa* es un tipo de vegetación que ocupa grandes extensiones en las terrazas bajas de los planos costeros del Misisipi y en el extremo sur de Florida con una tabla de agua superficial de 0.3 a 2.0 m. Se considera que el fuego como elemento natural periódico ha jugado un papel importante en la evolución y composición florística de dicha formación (Penfound 1952, Olmsted *et al.* 1984).

Otro tipo de vegetación son los conocidos bosques de cipreses, característicos de los pantanos profundos del Parque Nacional de Everglades, Florida, dominados por *Taxodium distichum* y *Nyssa aquatica*, asociación que también se presenta en las zonas inundables de las márgenes del río Misisipi. Otra asociación importante es la de *Nyssa selvática* var. *biflora* y *Taxodium ascendens* que se distribuye preferentemente en las partes más altas de los planos costeros del Golfo. Las formas arbóreas dominantes de este tipo de bosques presentan un tipo de raíces llamadas pneumatóforos como los que producen los árboles que integran los manglares. La talla de los árboles varía entre 6 y 12 m. Según Penfound (1952) es probable que las asociaciones de *Taxodium-Nyssa* sean las etapas iniciales de la sucesión de este tipo de bosques inundables que serán sustituidos por otras comunidades en suelos temporalmente inundados y bien drenados dominados por *Pinus palustris* y *P. caribaea*.

BOSQUE RIPARIO

Son comunidades leñosas que se desarrollan en las vegas inundables y preferentemente en las orillas de los ríos y arroyos que corren desde las partes altas hasta la desembocadura en lagunas costeras y en el mar. Por ello conforman un tipo de vegetación común en toda la planicie costera con abundancia de ríos en todo el Golfo de México. Dominan las asociaciones de sauces de *Salix nigra*, *S. interior*, *S. caroliniana* y *S. chilensis* (esta última en el

sur de México) entre otros y como elemento arbustivo acompañante, especialmente en condiciones de disturbio se encuentra *Cephalanthus occidentalis*. En los planos aluviales del bajo Misisipi se presentan otro tipo de bosques de transición, dominados por *Liquidambar styraciflua*, *Quercus palustris* y *Platanus occidentalis*. Algunas especies de estos géneros se pueden presentar como elementos riparios en las partes altas de las montañas veracruzanas.

SELVA ALTA-MEDIANA RIPARIA

Este tipo de vegetación con todas sus variantes se presentan en la parte tropical mexicana sobre terrenos profundos bien drenados, pero también cuando el suelo es delgado y se inunda periódicamente, aunque la composición florística puede variar entre una condición y otra. Entre las especies inundables características que pueden alcanzar 25 m o más de altura, se encuentran *Pachira aquatica*, *Andira galeottiana*, *Vochisia guatamalensis*, *Calophyllum brasiliense* y algunas especies de *Lonchocarpus*, *Pithecelobium*, *Inga*, *Ficus* y *Machaerium*.

Una variante importante de este tipo de selva mediana distribuida al sur de Tabasco es la conocida localmente como canacoital de *Bravaisia integerrima*.

SELVA BAJA INUNDABLE

Son comunidades ampliamente representadas que cubren una superficie importante en numerosas planicies inundables del Golfo, aunque localmente ocupen pequeñas extensiones que permanecen con agua la mayor parte del año, pero también con períodos de sequía extrema. Los árboles y arbustos que conforman este tipo de vegetación tienen una altura entre 6 y 8 m, regularmente sin formación de estratos y algunos de sus elementos presentan característicos contrafuertes en la base del tronco.

A lo largo del río Palizada en Campeche se distribuye una de las asociaciones características, formada por agrupaciones puras de *Annona glabra* (Ocaña y Lot 1996); en Veracruz y Tabasco se presentan otras especies leñosas acompañantes como *Dalbergia brownei*, *Ficus padifolia*, *Lonchocarpus pentaphyllus* y *Chrisobalanus icaco*.

La comunidad mejor representada en el pasado, que se distribuye desde el sur de Veracruz hasta la Península Yucatanense es el tintal, pero hoy se encuentra drásticamente modificada por las actividades agropecuarias y por la sobreexplotación del árbol o palo del tinte *Haematoxylum*

campechianum. Otras comunidades representativas de selvas bajas inundables son el chechenal de *Metopium brownei*, el puctal de *Bucida buceras* (Lot y Novelo 1990), el bucidal de *Bucida spinosa* (Olmsted y Duran 1986) con un total registrado de 65 especies leñosas y gran abundancia de epífitas en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an en Quintana Roo.

Este tipo de vegetación es también importante por formar ecotonos con otras formaciones vegetales como manglares, sabanas, palmares, matorrales y desde luego selvas medianas y altas, por lo que algunos elementos florísticos pueden ser comunes.

Bajo este tipo de vegetación podríamos considerar a los petenes, ya que es la formación donde se presenta el único tipo de selva del sur de Florida (Olmsted y Duran 1988), aunque ésta particular formación conocida como *hammock* en la península de Florida o petén en la región mesoamericana, es en realidad una isla de selva rodeada de un pantano arbolado con mangles, palmas y otras especies leñosas y herbáceas adaptadas a la inundación. Este tipo de agrupaciones o islas de vegetación han jugado un papel importante como habitación y uso de recursos por parte de los indios de Florida (Olmsted y Duran 1988) y los mayas (Barrera 1982), y en la actualidad constituyen un refugio de la fauna local.

PALMAR INUNDABLE

Un elemento común en las depresiones inundables en todo el Golfo, incluyendo a Cuba, es el palmar de tasiste *Acoelorrhaphes wrightii*. El tasistal puede alcanzar los 8 m de altura, pero es frecuente entre 2 y 5 m, semisumergido por una tabla de agua de 0.5 a 1.5 m al menos durante 9 meses y totalmente seco superficialmente durante la época de estiaje cuando se pueden producir anualmente quemas.

En los límites de las selvas altas, pero sobre suelos arcillosos de condición inundable, se pueden distribuir algunas palmas como *Roystonea regia*, *R. dunlapiana* y *Attalea butyracea*, conocidas genéricamente como palma real.

SABANA

Este tipo de vegetación presenta diversas variantes de posibles orígenes diferentes, incluyendo el antropogénico. La mayoría se desarrolla sobre grandes extensiones planas, o con ligeros cambios microtopográficos en suelos profundos arcillosos y mal drenados, que se inundan durante seis meses o

más y se secan completamente durante la sequía. Su paisaje es generalmente de una formación densa de ciperáceas y gramíneas con algunos árboles o palmas de tasiste aislados o formando pequeñas islas o bordes. Este paisaje de aparente pastizal amacollado se puede deber a las constantes quemas y pastoreo que el hombre ha inducido a lo largo de muchas décadas (Orozco y Lot 1976). Entre las especies arbóreas en las sabanas de la planicie costera del Golfo, destacan *Quercus oleoides* en los bordes menos inundados y *Coccoloba barbadensis* al norte de Veracruz (Rzedowski, 1978). La especie herbácea dominante, aparentemente favorecida por la actividad humana y que forma agrupaciones casi puras que han ido sustituyendo la riqueza de hidrófitas, es *Cladium jamaicense*.

MATORRAL INUNDABLE

El zarzal de *Mimosa pigra* es un tipo de comunidad espinosa muy cerrada con pocas especies acompañantes, cuya distribución cubre las regiones cálido-húmedas de la planicie costera de todo el Golfo de México, donde es constante el disturbio humano. Otros tipos de matorrales adaptados a la condición de inundación son el mucal de *Dalbergia brownei* y *D. glabra*; la primera del litoral de Veracruz y Tabasco (Lot y Novelo 1990) y la segunda de Quintana Roo (Olmsted y Durán 1986). El julubal de *Bravaisia tubiflora* es otro elemento indicador de perturbación humana en las brechas fluviales. Como matorral bajo de dos m de altura sobresale *Cephalanthus occidentalis* como una formación secundaria frecuente en la periferia de diversos tipos de vegetación en todo el Golfo de México.

FORMACIONES HERBÁCEAS

De manera igualmente resumida que en el apartado anterior, se presentan las principales agrupaciones sobre la base de sus adaptaciones en diferentes formas de vida y su relación con los aspectos de la dinámica de las comunidades en cuanto a la zonificación y sucesión de los humedales.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS EMERGENTES

Prácticamente todos los hábitat acuáticos de los innumerables sistemas lacustres y palustres que se distribuyen ampliamente en las planicies costeras del Golfo, presentan alguna asociación donde el elemento dominante es

una hidrófita arraigada al sustrato, cuyas hojas y estructuras reproductoras emergen por encima del agua. Este tipo de vegetación ilustra el paisaje más importante de los humedales de agua dulce, por su función como refugio de la fauna acuática y hábitat de numerosas plantas acuáticas raras y en muchos casos, amenazadas y en peligro de extinción. Son popularmente conocidas en la región bajo diversos nombres comunes, como es el caso de las especies del género *Typha*, que sólo en México reciben los nombres vernáculos de tule, espadaña, neal, chuspatal en combinación con adjetivos para distinguir sus especies; en Cuba se conoce como macio y en los Estados Unidos de América como *cattail*. Las comunidades que forman son llamadas genéricamente tulares. Otras comunidades son los popales, juncales, carrizales, vegetación de bajos inundables, entre otros. Los géneros representados, en algunos casos con numerosas especies en estas comunidades, son *Typha*, *Schoenoplectus*, *Scirpus*, *Thalia*, *Phragmites*, *Arundo*, *Cladium*, *Cyperus*, *Eleocharis*, *Carex*, *Sparganium*, *Pontederia*, *Spartina*, *Paspalum*, *Rhynchospora* y otros más.

El sibal de *Cladium jamaicense* sobresale de entre muchas otras asociaciones por su abundancia y tolerancia a diversos humedales con suelos de diferentes concentraciones de sales disueltas y contenidos altos de sulfatos. Además de cubrir grandes superficies como comunidades puras también está presente en las zonas de contacto con manglares, sabanas y palmares en todas las planicies costeras del golfo desde Florida y Cuba hasta la Península Yucatanense.

En los pantanos ácidos del centro y norte de Florida sobresalen por su forma de vida tan especial las poblaciones de plantas carnívoras del género *Sarracenia* con seis especies conocidas.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS DE HOJAS FLOTANTES

Esta forma de vida está representada por numerosas comunidades y asociaciones en lagos, lagunas, canales y zonas abiertas de humedales profundos. Las especies significativas en la estructura de la vegetación pertenecen a los géneros *Nymphaea*, *Nuphar*, *Nymphoides*, *Brasenia* y algunas especies de *Potamogeton* y *Sagittaria*.

La asociación de *Nymphaea ampla* es una de las más importantes por su abundancia en ambientes dulceacuícolas en todo el Golfo, y también en lagunas y bajos inundables de salinidad variable cercanos a la costa donde crecen incluso los manglares.

HIDRÓFITAS ENRAIZADAS SUMERGIDAS

Este tipo de vegetación, al igual que el de hidrófitas emergentes, es altamente significativo en la conservación de la vida silvestre, por albergar a las aves acuáticas y en general proveer de alimento y refugio para la reproducción a la mayoría de los grupos de vertebrados e invertebrados de los humedales. A esta forma de vida también pertenecen los llamados pastos marinos presentes en lagunas costeras y arrecifes coralinos.

Algunos de los numerosos géneros que mejor están representados por las especies sumergidas, son *Potamogeton*, *Vallisneria*, *Egeria*, *Hydrila*, *Myriophyllum*, *Cabomba*, *Mayaca* y *Zannichellia*. Los géneros *Ruppia* y *Najas*, representados por *R. maritima* y *N. marina* se distribuyen preferentemente en ambientes salinos y alcalinos, pero no marinos.

Algunas asociaciones crecen masivamente y pueden ser favorecidas indirectamente por el hombre causando serios daños en la navegación, control de canales de irrigación y como malezas invasoras que sustituyen la flora nativa. Entre estas sobresale *Hydrilla verticillata*, verdadera plaga en EE.UU. y que cuenta con primeros registros en la parte mexicana (Tamaulipas) (Novelo y Martínez 1989). Algunas especies de *Egeria*, *Potamogeton*, *Myriophyllum* y *Najas* también pueden causar problemas de invasión y crecimiento indeseable en los cuerpos de agua manejados por el hombre. La familia Podostemaceae integra un pequeño grupo de plantas que habitan cascadas y rápidos de los ríos y son indicadores de aguas limpias y ambientes conservados.

HIDRÓFITAS LIBREMENTE FLOTADORAS

Las comunidades representativas de esta forma de vida dependen del viento y las corrientes en lagos, lagunas y ríos, por lo que su distribución puede ser muy cambiante y difícil de cuantificar. En ocasiones y muy relacionado con el manejo del hombre, algunas especies forman agrupaciones puras que desplazan a otras poblaciones nativas determinando una baja en la diversidad de la flora acuática. El ejemplo más claro es el lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, planta naturalizada que invade diversos humedales de la región subtropical y tropical. Un caso de un alto interés fitogeográfico está representado por una planta sudamericana muy rara de la familia Euphorbiaceae, *Phyllanthus fluitans*, de distribución discontinua presente en los pantanos de Tabasco (Lot *et al.* 1980). Otras plantas que constituyen importantes

comunidades son *Pistia stratiotes*, *Neptunia oleraceae* y especies de los géneros *Lemna*, *Wolffia*, *Wolffiella*, *Spirodela* y de los helechos *Azolla* y *Salvinia*.

HIDRÓFITAS LIBREMENTE SUMERGIDAS

No forman asociaciones importantes pero localmente pueden cubrir grandes superficies en cuerpos de agua de cierta profundidad, como ocurre con las especies de *Ceratophyllum*. En esta forma de vida se presentan las llamadas plantas carnívoras del género *Utricularia* con más de 20 especies.

LA FLORA DE LOS HUMEDALES Y SU CONSERVACIÓN

En los apéndices 1 y 2 se enlistan las especies de leñosas y de herbáceas respectivamente y su distribución en las seis grandes subdivisiones regionales consideradas en el presente trabajo.

Por supuesto que el listado no pretende ser exhaustivo, pero nos da una idea de la riqueza florística de los humedales del Golfo de México. Su elaboración se basa en la información proveniente de diversas publicaciones, entre las que sobresalen, además de las citadas anteriormente, las siguientes: Diego-Pérez *et al.* (2001), Dressler *et al.* (1987), Guadarrama y Ortiz (2000), León (1946), Lot y Novelo (1988), Lot *et al.* (1980 y 1999), Martínez y Galindo Leal (2002), Martínez y Novelo (1993), Olmsted (1993), Olvera (1996), Reed (1988), Rico-Gray (1982), Shaw y Fredine (1971).

A primera vista el listado de las especies acuáticas y subacuáticas de los humedales (apéndices 1 y 2), nos da una idea del gran número de plantas vasculares propias de ambientes palustres, lacustres y ribereños del Golfo. Entre éstas una buena parte es común a la mayoría de las subdivisiones regionales, pero también resulta claro que algunos grupos de especies presentan una distribución restringida a una o dos regiones, lo cual en muchos casos corresponden a endemismos.

En el cuadro 1 se presenta el número de géneros y especies leñosas y herbáceas enumeradas en los apéndices 1 y 2. Estas cifras preliminares, si bien son indicativas de la riqueza de cada región, no deben ser tomadas como definitivas, ya que el esfuerzo de exploración y recolección no es el mismo. Por otro lado, el número de publicaciones y de colecciones herborizadas, así como su accesibilidad, también explican, en parte, las regiones mejor estudiadas, aunque no necesariamente con mayor diversidad.

CUADRO 1. NÚMERO DE GÉNEROS Y ESPECIES REGISTRADAS PRELIMINARMENTE
PARA CADA REGIÓN*

	FLORIDA	MISISIPI	CENTRO GOLFO	USUMACINTA	P. YUCATANENSE	CUBA
Leñosas	41/55	4/4	38/52	31/35	18/20	21/23
Herbáceas	98/200	61/131	77/156	62/102	19/27	56/117
Total	139/255	65/135	115/208	93/137	37/47	77/140

* Basada en los listados de especies incluidas en los apéndices 1 y 2.

La diversidad de especies y de formas biológicas es notable y nos ilustra un gran espectro, representado no sólo por diferentes taxa, sino por variedad de arbustos, árboles, palmas, trepadoras, herbáceas enraizadas emergentes, sumergidas y de hojas flotantes, de tallos postrados, libres flotadoras y libres sumergidas. Esta lista preliminar arroja 82 géneros de leñosas y 130 de herbáceas, lo cual es indicativo de que el número de especies de la flora de los humedales del Golfo de México debe ser mayor al millar de plantas vasculares.

Como se sabe las comunidades de hidrófitas juegan un papel crucial en la alimentación, anidación, refugio y reproducción de innumerables elementos de la fauna de los humedales, por lo que su acelerada destrucción y modificación puede desencadenar una pérdida irreparable de la biodiversidad de una gran región estratégica en el Atlántico americano.

DEDICATORIA

A la memoria de Ingrid Olmsted, tenaz estudiosa de los humedales del Golfo de México.

BIBLIOGRAFÍA

- Aznar, J.C., A. Dervieux y P. Grillas 2003. Association between aquatic vegetation and landscape indicators of human pressure. *Wetlands* 23(1): 148-160.
- Barrera, A. 1982. Los petenes del noroeste de Yucatán: su exploración ecológica en perspectiva. *Biótica* 7(2): 163-169.

- Birkett, S.H. y D.J. Rapport 1999. A stress-response assessment of the northwestern Gulf of Mexico Ecosystem. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 438-458.
- Chavez, M.L. 1988. Presentación. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. s/p.
- Darnell, R.M. y R.E. Defenbaugh 1990. Gulf of México: environmental overview and history of environmental research. *American Zoologist* 30: 3-6.
- Day, J.W. 1988. Impactos del desarrollo humano sobre marismas y sistemas costeros en Louisiana. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 77-89.
- Diego-Pérez, N. y C.H. Ramos y E. Martínez 2001. Un nuevo registro de *Cyperus* para México. *Acta Botánica Mexicana* 55: 17-20.
- Dressler, R.L., D.W. Hall, K.D. Perkins y N.H. Williams 1987. *Identification manual for wetland plant species of Florida*. Institute of Food and Agricultural Sciences/University of Florida, Gainesville.
- Giattina, J.D. y D.T. Altsman 1999. Gulf of México Program: partnership with a purpose. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 3-13.
- Guadarrama, M.A.O. y G.G. Ortiz 2000. Análisis de la flora de la Reserva de la Biosfera de los Pantanos de Centla, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 15(30): 67-104.
- Higer, A.L. y M.C. Kolipinski 1988. Changes of vegetation in Shark River Slough Everglades National Park, 1940-64. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 217-230.
- Hofstetter, R.H. 1988. Vegetational changes in Souther Florida wetlands in relation to anthropogenic disturbances. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 65-75.
- León Hermano 1946. *Flora de Cuba*. Vol. 1 Gymnospermas, Monocotiledóneas. Contribuciones Ocasionales del Museo de Historia Natural del Colegio de la Salle. Cultural S.A. La Habana. 8: 9-439.
- Lot, A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del Estado de Veracruz. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lot, A. y A. Novelo 1988. El pantano de Tabasco y Campeche: la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 537-547.

- 1990. Forested wetlands of México. En Lugo, A.E., M. Brinson y S. Brown (eds.) *Ecosystems of the World* 15, Forested Wetlands. Elsevier, Amsterdam. 287-298.
- Lot, A., A. Novelo y C.P. Cowan 1980. Hallazgo en México de una euforbiacea acuática originaria de Sudamérica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 39: 83-89.
- Lot, A., A. Novelo, M. Olvera y P. Ramírez-García 1999. *Catálogo de angiospermas acuáticas de México: hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*. Cuadernos 33, Instituto de Biología, UNAM, México.
- Martínez, E. y C. Galindo-Leal 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 7-32.
- Martínez, M. y A. Novelo 1993. La vegetación acuática del estado de Tamaulipas, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 64(2): 59-86.
- Moreno-Cassasola, P. 1999. Dune vegetation and its biodiversity along the Gulf of México, a large marine ecosystem. En: Kumpf, H., K. Steidinger y K. Sherman (eds.) *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: assessment, sustainability and management*. Blackwell Science, Inc. Oxford, England. 593-612.
- Niering, W.A. 1985. Wetlands. *The Audubon Society Nature Guides*. Chanticleer Press, Inc., New York.
- Novelo, A. 1981. *Didiplis diandra* (Lythraceae) in Southeastern México. *Sida* 9(2): 182.
- Novelo, A. y M. Martínez 1989. *Hydrilla verticillata* (Hydrocharitaceae), problemática maleza acuática de reciente introducción en México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 58: 97-102.
- Ocaña, D. y A. Lot 1996. Estudio de la vegetación acuática vascular del sistema fluvio-deltáico del Río Palizada, en Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 67(2): 303-327.
- Olmsted, I. 1993. Wetland of México. En: Whigham, D.F. (ed.) *Wetland of the World* 1, Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 637-677.
- Olmsted, I. y L. Loope 1984. *Plant communities of Everglades National Park*. Environments of South Florida Geological Society, Miami. 167-184.
- Olmsted, I. y R.G. Durán 1986. Aspectos ecológicos de la selva baja inundable de la reserva Sian Ka'an, Quintana Roo, México. *Biótica* 11(3): 151-179.
- 1988. Aspectos ecológicos de los Petenes en Florida, Campeche y Quintana Roo. En: *Ecología y Conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*. INIREB/Gobierno del Estado de Tabasco. 517-535.
- Olvera, M.G. 1996. El género *Utricularia* (Lentibulariaceae) en México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 67(2): 347-384.
- Orozco, A.S. y A. Lot 1976. La vegetación de las zonas inundables del sureste de Veracruz. *Publicación del Instituto de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos (Biótica)* 1(1): 1-44.

- Penfound, W.T. 1952. Souther swamps and marshes. *The Botanical Review* 18(6): 413-446.
- Reed, P.B. 1988. *National list of plants species that occur in wetlands: Caribbean (Regional C)*. Biological Report 88(26,12). Fish and Wildlife Service, Washington.
- Rico-Gray, V. 1982. Estudio de la vegetación de la zona costera inundable del noroeste de Campeche, México: Los Petenes. *Biótica* 7(2): 171-188.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México.
- Semeniuk, V. y C.A. Semeniuk 1997. A geomorphic approach to global classification for natural inland wetlands and rationalization of the system used by the Ramsar Convention: a discussion. *Wetlands Ecology and Management* 5: 145-158.
- Shaw, S.P. y C.G. Fredine 1971. Wetlands of the United States. Fish and Wildlife Service, United States Department of the Interior. Circular 38.

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Acoelorrhaphe wrightii</i>						
<i>Aeschynomene deami</i>						
<i>Aeschynomene sensitiva</i>						
<i>Alnus serrulata</i>						
<i>Andira galeottiana</i>						
<i>Annona glabra</i>						
<i>Aspidosperma cruentum</i>						
<i>Aster carolinianus</i>						
<i>Astianthus viminalis</i>						
<i>Ateleia gumífera</i>						
<i>Betula nigra</i>						
<i>Bravaisia berlandieriana</i>						
<i>Bravaisia tubiflora</i>						
<i>Bucida buceras</i>						
<i>Byrsonima crassifolia</i>						
<i>Calophyllum brasiliense</i>						
<i>Calypttranthes perlaevigata</i>						
<i>Calyptrogyne dulcis</i>						
<i>Callicarpia dichotoma</i>						
<i>Cameraria latifolia</i>						
<i>Carpinus caroliniana</i>						
<i>Carya aquatica</i>						
<i>Cephalanthus occidentalis</i>						
<i>Cephalanthus salicifolius</i>						
<i>Clethra alnifolia</i>						
<i>Combretum laxum</i>						
<i>Crataegus aestivalis</i>						
<i>Crataegus marshallii</i>						
<i>Cynometra retusa</i>						
<i>Cyrilla raceuniflora</i>						
<i>Chamaecyparis thyoides</i>						
<i>Chrysobalanus icaco</i>						
<i>Dalbergia brownei</i>						
<i>Dalbergia glabra</i>						
<i>Decodon verticillatus</i>						
<i>Diospyros digyna</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Erythrina fusca</i>						
<i>Ficus cotinifolia</i>						
<i>Ficus glabrata</i>						
<i>Ficus maxima</i>						
<i>Ficus obtusifolia</i>						
<i>Ficus padifolia</i>						
<i>Fraxinus caroliniana</i>						
<i>Fraxinus chiapensis</i>						
<i>Fraxinus uhdei</i>						
<i>Gleditsia aquatica</i>						
<i>Gordonia lasianthus</i>						
<i>Gymnopodium floribundum</i>						
<i>Haematoxylum campechianum</i>						
<i>Hibiscus tiliaceus</i>						
<i>Hibiscus urbanii</i>						
<i>Hydrolea cubana</i>						
<i>Hypericum chapmanii</i>						
<i>Hypericum lissophoeus</i>						
<i>Hypericum nitidum</i>						
<i>Ilex cassine</i>						
<i>Ilex coriaceae</i>						
<i>Ilex decidua</i>						
<i>Ilex myrtifolia</i>						
<i>Ilex opaca</i>						
<i>Inga vera</i>						
<i>Itea virginica</i>						
<i>Iva frutescens</i>						
<i>Ixora coccinea</i>						
<i>Jacquinia aurantiaca</i>						
<i>Leucothoe papulifolia</i>						
<i>Litsea aestivalis</i>						
<i>Lonchocarpus castilloi</i>						
<i>Lonchocarpus hondurensis</i>						
<i>Lonchocarpus luteomaculatus</i>						
<i>Lonchocarpus xuul</i>						
<i>Machaerium falciforme</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Magnolia virginiana</i>						
<i>Malpighia lundellii</i>						
<i>Malvaviscus arboreus var. brihondus</i>						
<i>Metopium brownei</i>						
<i>Metopium Toxiferum</i>						
<i>Mimosa pigra</i>						
<i>Nectandra glabrescens</i>						
<i>Nyssa aquatica</i>						
<i>Nyssa ogeche</i>						
<i>Nyssa sylvatica var. Biflora</i>						
<i>Ouratea nitida</i>						
<i>Pachira aquatica</i>						
<i>Persea palustris</i>						
<i>Pinckneya bracteata</i>						
<i>Pinus serotonina</i>						
<i>Pithecellobium dulce</i>						
<i>Pithecellobium pachypus</i>						
<i>Pithecellobium brownii</i>						
<i>Pithecellobium kellense</i>						
<i>Pithecellobium oblongum</i>						
<i>Planera aquatica</i>						
<i>Platanus mexicana</i>						
<i>Platanus occidentalis</i>						
<i>Platanus rzedowskii</i>						
<i>Populus heterophylla</i>						
<i>Populus mexicana</i>						
<i>Prosopis juliflora</i>						
<i>Quercus lyrata</i>						
<i>Roystonea dunlapiana</i>						
<i>Roystonea regia</i>						
<i>Salix bonplandiana</i>						
<i>Salix caroliniana</i>						
<i>Salix chilensis</i>						
<i>Salix exigua</i>						
<i>Salix floridana</i>						
<i>Salix humboldtiana</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 1. FLORA LEÑOSA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Salix humilis</i>						
<i>Salix nigra</i>						
<i>Salix taxifolia</i>						
<i>Sambucus canadensis</i>						
<i>Sesbania emerus</i>						
<i>Sesbania sericea</i>						
<i>Symphonia globulifera</i>						
<i>Tabebuia gracilipes</i>						
<i>Tabebuia rosea</i>						
<i>Talisia florestii</i>						
<i>Taxodium ascendens</i>						
<i>Taxodium distichum</i>						
<i>Taxodium mucronatum</i>						
<i>Thevetia ahouai</i>						
<i>Thevetia gaumeri</i>						
<i>Vaccinium corymbosum</i>						
<i>Viburnum acerifolium</i>						
<i>Vochysia hondurensis</i>						
<i>Zygia longifolia</i>						

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Acorus americanus</i>						
<i>Alternanthera philoxeroides</i>						
<i>Amaranthus australis</i>						
<i>Andropogon glomeratus</i>						
<i>Aster elliotii</i>						
<i>Aster subulatus</i>						
<i>Aster tenuifolius</i>						
<i>Bacopa caroliniana</i>						
<i>Bacopa innominata</i>						
<i>Bacopa monnieri</i>						
<i>Bacopa procumbens</i>						
<i>Bacopa repens</i>						
<i>Bergia texana</i>						
<i>Bidens aurea</i>						
<i>Bidens laevis</i>						
<i>Bidens mitis</i>						
<i>Bletia purpurea</i>						
<i>Borrichia arborescens</i>						
<i>Borrichia frutescens</i>						
<i>Brasenia schreberi</i>						
<i>Cabomba caroliniana</i>						
<i>Cabomba palaeformis</i>						
<i>Canna glauca</i>						
<i>Caperonia palustris</i>						
<i>Carex</i> (41 especies en humedales)						
<i>Ceratophyllum demersum</i>						
<i>Ceratophyllum echinatum</i>						
<i>Ceratophyllum muricatum</i>						
<i>Cicuta mexicana</i>						
<i>Cladium jamaicense</i>						
<i>Colocassia esculenta</i>						
<i>Coreopsis nudata</i>						
<i>Crinum americanum</i>						
<i>Crinum erubescens</i>						
<i>Cyperus articulatus</i>						
<i>Cyperus canus</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Cyperus digitatus</i>						
<i>Cyperus distans</i>						
<i>Cyperus elegans</i>						
<i>Cyperus esculentus</i>						
<i>Cyperus flavescens</i>						
<i>Cyperus gardneri</i>						
<i>Cyperus giganteus</i>						
<i>Cyperus haspan</i>						
<i>Cyperus imbricatus</i>						
<i>Cyperus macrocephalus</i>						
<i>Cyperus niger</i>						
<i>Cyperus ochraceus</i>						
<i>Cyperus odoratus</i>						
<i>Cyperus surinamensis</i>						
<i>Datura ceratocaula</i>						
<i>Didiplis diandra</i>						
<i>Drosera brevifolia</i>						
<i>Drosera capillaris</i>						
<i>Drosera filiformis</i>						
<i>Drosera intermedia</i>						
<i>Drosera rotundifolia</i>						
<i>Echinichloa holciformis</i>						
<i>Echinochloa colona</i>						
<i>Echinochloa polystachia</i>						
<i>Echinodorus andrieuxii</i>						
<i>Echinodorus berteroi</i>						
<i>Echinodorus cordifolius</i>						
<i>Echinodorus nymphaeifolius</i>						
<i>Echinodorus ovalis</i>						
<i>Echinodorus paniculatus</i>						
<i>Echinodorus parvulus</i>						
<i>Echinodorus rostratus</i>						
<i>Echinodorus tenellus</i>						
<i>Eclipta prostrata</i>						
<i>Egeria densa</i>						
<i>Eichhornia azurea</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Eichhornia crassipes</i>						
<i>Eichhornia diversifolia</i>						
<i>Eichhornia heterosperma</i>						
<i>Eichhornia paniculata</i>						
<i>Eleocharis caribea</i>						
<i>Eleocharis cellulosa</i>						
<i>Eleocharis elegans</i>						
<i>Eleocharis fallax</i>						
<i>Eleocharis fistulosa</i>						
<i>Eleocharis flavescens</i>						
<i>Eleocharis interstincta</i>						
<i>Eleocharis macrostachya</i>						
<i>Eleocharis montana</i>						
<i>Eleocharis montevidensis</i>						
<i>Eleocharis mutata</i>						
<i>Eleocharis retroflexa</i>						
<i>Eleocharis rostellata</i>						
<i>Elodea canadensis</i>						
<i>Eriocaulon compressum</i>						
<i>Eriochloa punctata</i>						
<i>Eupatorium betoncifolium</i>						
<i>Fimbristylis ferruginea</i>						
<i>Fimbristylis miliacea</i>						
<i>Fimbristylis simplex</i>						
<i>Fuirena scirpoidea</i>						
<i>Fuirena squarrosa</i>						
<i>Fuirena umbellata</i>						
<i>Gratiola virginiana</i>						
<i>Habenaria bractescens</i>						
<i>Habenaria ciliaris</i>						
<i>Habenaria cristata</i>						
<i>Habenaria nivea</i>						
<i>Habenaria pringlei</i>						
<i>Habenaria repens</i>						
<i>Heteranthera dubia</i>						
<i>Heteranthera limosa</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Heteranthera mexicana</i>						
<i>Heteranthera oblongifolia</i>						
<i>Heteranthera peduncularis</i>						
<i>Heteranthera reniformis</i>						
<i>Heteranthera rotundifolia</i>						
<i>Heteranthera seubertiana</i>						
<i>Hibiscus grandiflorus</i>						
<i>Hydrocotyle bonariensis</i>						
<i>Hydrilla verticillata</i>						
<i>Hydrochloa caroliniensis</i>						
<i>Hydrocotyle pusilla</i>						
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>						
<i>Hydrocotyle umbellata</i>						
<i>Hydrocotyle verticillata</i>						
<i>Hydrolea corymbosum</i>						
<i>Hydrolea quadrivalvis</i>						
<i>Hydrolea spinosa</i>						
<i>Hydrolea uniflora</i>						
<i>Hydromystria laevigata</i>						
<i>Hygrophila lacustris</i>						
<i>Hygrophila polysperma</i>						
<i>Hymenanchne amplexicaulis</i>						
<i>Hymenocallis latifolia</i>						
<i>Hymenocallis littoralis</i>						
<i>Ipomoea acuática</i>						
<i>Ipomoea fistulosa</i>						
<i>Iris hexagona</i>						
<i>Iris virginica</i>						
<i>Iva annua</i>						
<i>Juncus acuminatus</i>						
<i>Juncus coriaceus</i>						
<i>Juncus dichotomus</i>						
<i>Juncus effusus</i>						
<i>Juncus gymnocarpus</i>						
<i>Juncus marginatus</i>						
<i>Juncus megacephalus</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Juncus repens</i>						
<i>Juncus romerianus</i>						
<i>Juncus scirpoides</i>						
<i>Juncus tenuis</i>						
<i>Juncus validus</i>						
<i>Justicia americana</i>						
<i>Justicia comata</i>						
<i>Justicia ovata</i>						
<i>Kosteletzkya virginica</i>						
<i>Lachnocaulon anceps</i>						
<i>Leersia hexandra</i>						
<i>Lemna aequinoctialis</i>						
<i>Lemna gibba</i>						
<i>Lemna minor</i>						
<i>Lemna perpusilla</i>						
<i>Lemna trinervis</i>						
<i>Lemna trisulca</i>						
<i>Lemna valdiviana</i>						
<i>Leptochloa fascicularis</i>						
<i>Lilaeopsis carolinensis</i>						
<i>Lilaeopsis chinensis</i>						
<i>Lilaeopsis occidentalis</i>						
<i>Limnobium spongia</i>						
<i>Limnocharis flava</i>						
<i>Limonium carolinianum</i>						
<i>Limosella aquatica</i>						
<i>Lindernia alterniflora</i>						
<i>Lindernia dubia</i>						
<i>Lindernia grandiflora</i>						
<i>Lindernia antipoda</i>						
<i>Lobelia cardinalis</i>						
<i>Lobelia glandulosa</i>						
<i>Lobelia purpusii</i>						
<i>Ludwigia decurrens</i>						
<i>Ludwigia erecta</i>						
<i>Ludwigia helmintorrhiza</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Ludwigia leptocarpa</i>						
<i>Ludwigia natans</i>						
<i>Ludwigia octovalis</i>						
<i>Ludwigia palustris</i>						
<i>Ludwigia peploides</i>						
<i>Ludwigia peruviana</i>						
<i>Ludwigia repens</i>						
<i>Ludwigia suffruticosa</i>						
<i>Marathrum schiedeanum</i>						
<i>Marathrum tenue</i>						
<i>Mayaca fluviatilis</i>						
<i>Melanthera aspera</i>						
<i>Micranthemum umbrosum</i>						
<i>Mikania scandens</i>						
<i>Mimulus glabratus</i>						
<i>Monanthochloe littoralis</i>						
<i>Muhlenbergia capillaris</i>						
<i>Myriophyllum aquaticum</i>						
<i>Myriophyllum heterophyllum</i>						
<i>Myriophyllum laxum</i>						
<i>Myriophyllum pinnatum</i>						
<i>Myriophyllum sparsiflorum</i>						
<i>Myriophyllum spicatum</i>						
<i>Najas guadalupensis</i>						
<i>Najas marina</i>						
<i>Najas wrightiana</i>						
<i>Nasturtium microphyllum</i>						
<i>Nasturtium officinale</i>						
<i>Nelumbo lutea</i>						
<i>Nelumbo nucifera</i>						
<i>Neptunia oleracea</i>						
<i>Neptunia plena</i>						
<i>Nuphar advena</i>						
<i>Nuphar luteum</i>						
<i>Nymphaea amazonum</i>						
<i>Nymphaea ampla</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Nymphaea conardii</i>						
<i>Nymphaea elegans</i>						
<i>Nymphaea jamesoniana</i>						
<i>Nymphaea mexicana</i>						
<i>Nymphaea odorata</i>						
<i>Nymphaea prolifera</i>						
<i>Nymphaea pulchella</i>						
<i>Nymphaea rudgeana</i>						
<i>Nymphaea speciosa</i>						
<i>Nymphoides aquatica</i>						
<i>Nymphoides cordata</i>						
<i>Nymphoides grayana</i>						
<i>Nymphoides indica</i>						
<i>Orontium aquaticum</i>						
<i>Oryza latifolia</i>						
<i>Oxycarium cubense</i>						
<i>Oxypolis filiformis</i>						
<i>Panicum aquaticum</i>						
<i>Panicum gymnocarpon</i>						
<i>Panicum maximum</i>						
<i>Paspalum distichum</i>						
<i>Paspalum vaginatum</i>						
<i>Peltandra sagittifolia</i>						
<i>Peltandra virginica</i>						
<i>Phragmites australis</i>						
<i>Phyllanthus fluitans</i>						
<i>Pistia stratiotes</i>						
<i>Pluchea purpurascens</i>						
<i>Podostemum ricciiforme</i>						
<i>Polygonum acuminatum</i>						
<i>Polygonum densiflorum</i>						
<i>Polygonum ferrugineum</i>						
<i>Polygonum hydropiperoides</i>						
<i>Polygonum mexicanum</i>						
<i>Polygonum punctatum</i>						
<i>Polygonum virginianum</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Pontederia cordata</i>						
<i>Pontederia parviflora</i>						
<i>Pontederia rotundifolia</i>						
<i>Pontederia sagittata</i>						
<i>Potamogeton foliosus</i>						
<i>Potamogeton illinoensis</i>						
<i>Potamogeton nodosus</i>						
<i>Proserpinaca palustris</i>						
<i>Proserpinaca pectinata</i>						
<i>Ranunculus cymbalaria</i>						
<i>Ranunculus dichotomus</i>						
<i>Ranunculus flabellaris</i>						
<i>Ranunculus laxicaulis</i>						
<i>Ranunculus longirostris</i>						
<i>Ranunculus pusillus</i>						
<i>Ranunculus scleratus</i>						
<i>Rhynchospora alba</i>						
<i>Rhynchospora colorata</i>						
<i>Rhynchospora inundata</i>						
<i>Rhynchospora odorata</i>						
<i>Rotala ramosior</i>						
<i>Ruppia maritima</i>						
<i>Sabatia dodecandra</i>						
<i>Sacciolepis striata</i>						
<i>Sagittaria guayanensis</i>						
<i>Sagittaria intermedia</i>						
<i>Sagittaria lancifolia</i>						
<i>Sagittaria latifolia</i>						
<i>Sagittaria longiloba</i>						
<i>Sagittaria montevidensis</i>						
<i>Samolus ebracteatus</i>						
<i>Samolus parviflorus</i>						
<i>Sarracenia flava</i>						
<i>Sarracenia leucophylla</i>						
<i>Sarracenia minor</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Sarracenia psittacina</i>						
<i>Sarracenia purpurea</i>						
<i>Sarracenia rubra</i>						
<i>Saururus cernuus</i>						
<i>Schoenoplectus americanus</i>						
<i>Schoenoplectus californicus</i>						
<i>Schoenoplectus lacustris</i>						
<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>						
<i>Scirpus cubensis</i>						
<i>Scirpus cyperinus</i>						
<i>Scirpus erismanae</i>						
<i>Scirpus olneyi</i>						
<i>Scleria cubensis</i>						
<i>Scleria latifolia</i>						
<i>Scleria reticularis</i>						
<i>Sium suave</i>						
<i>Sparganium americanum</i>						
<i>Spartina alterniflora</i>						
<i>Spathiphyllum cochlearispathum</i>						
<i>Sphenoclea zeylanica</i>						
<i>Spirodela intermedia</i>						
<i>Spirodela polyrhiza</i>						
<i>Spirodela punctata</i>						
<i>Stuckenia pectinata</i>						
<i>Thalia geniculata</i>						
<i>Triadenum virginicum</i>						
<i>Tristicha trifaria</i>						
<i>Typha angustifolia</i>						
<i>Typha domingensis</i>						
<i>Typha latifolia</i>						
<i>Utricularia cornuta</i>						
<i>Utricularia foliosa</i>						
<i>Utricularia gibba</i>						
<i>Utricularia hidrocarpa</i>						
<i>Utricularia hispida</i>						

(Continúa)

APÉNDICE 2. FLORA HERBÁCEA DE LOS HUMEDALES

	PEN. FLORIDA	MISISIPÍ	CENTRO GM	USUMACINTA	P.YUC.	CUBA
<i>Utricularia inflata</i>						
<i>Utricularia juncea</i>						
<i>Utricularia macrorrhiza</i>						
<i>Utricularia obtusa</i>						
<i>Utricularia olivacea</i>						
<i>Utricularia purpurea</i>						
<i>Utricularia pusilla</i>						
<i>Utricularia radiata</i>						
<i>Utricularia resupinata</i>						
<i>Utricularia simulans</i>						
<i>Utricularia striata</i>						
<i>Utricularia subulata</i>						
<i>Vallisneria americana</i>						
<i>Wedelia trilobata</i>						
<i>Wolffia brasiliense</i>						
<i>Wolffia columbiana</i>						
<i>Wolffia papulifera</i>						
<i>Wolffia punctata</i>						
<i>Wolffiella floridana</i>						
<i>Wolffiella gladiata</i>						
<i>Wolffiella lingulata</i>						
<i>Wolffiella oblonga</i>						
<i>Wolffiella welwitschii</i>						
<i>Xanthosoma robustum</i>						
<i>Xyris</i> (16 especies de humedales)						
<i>Zannichellia palustris</i>						
<i>Zizania aquatica</i>						
<i>Zizaniopsis miliaceae</i>						

LOS ARRECIFES CORALINOS DEL GOLFO DE MÉXICO: CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO

*Eric Jordán-Dahlgren **

GENERALIDADES

El Golfo de México es un mar tropical a subtropical, oligotrófico en partes y con una circulación marina relativamente restringida debido a que se trata de un mar interior. La dinámica oceánica está determinada principalmente por la Corriente de Lazo, la que también influye sobre los movimientos de agua costeros, particularmente cuando los giros que se desprenden de esa corriente contribuyen a la formación de corrientes de chorro cerca de las costas. El esfuerzo del viento sobre la superficie del agua juega un papel importante en la dinámica de las aguas costeras y oceánicas. A diferencia de lo que sucede en la mayor parte del Caribe, en el Golfo existen dos sistemas de oleaje diferentes anualmente, uno generado por los vientos alisios durante la mayor parte del año y otro por los Nortes, durante la temporada invernal. El Golfo se caracteriza además, por la influencia de grandes sistemas fluviales (desde laguna de Términos hasta el delta del Misisipi y la plataforma continental de Florida), que generan condiciones ambientales poco propicias para la biota coralina arrecifal. Pero incluso en la parte NE de la plataforma continental yucateca, donde no hay ríos, el efecto de surgencias en el Canal de Yucatán y quizás también de la derrama continental subsuperficial, determinan un ambiente poco propicio para la formación de arrecifes coralinos. Por ello, en gran parte

de la plataforma continental del Golfo de México las condiciones para el desarrollo de arrecifes coralinos no es adecuado; de hecho, de los aproximadamente 360,000 km² de superficie que tiene la parte somera (menos de 50 m de profundidad) de la plataforma continental del Golfo, menos del 1% está cubierta por arrecifes coralinos, aunque el área colonizada por biota coralina es considerablemente mayor.

Este trabajo se enfoca en los arrecifes coralinos emergentes y casiemergentes porque son los que han sido capaces de mantener un crecimiento sostenido durante el ascenso del nivel del mar, durante la transgresión holocénica. Este tipo de arrecifes se encuentra únicamente sobre la plataforma continental mexicana en el interior del Golfo de México y en las áreas someras asociadas al estrecho de Florida, como son los Cayos de Florida y los arrecifes de la parte NW de Cuba. Sin embargo, en este artículo se excluyen estos últimos porque su desarrollo y condición son determinadas por circunstancias ambientales muy diferentes de las que imperan al interior del Golfo, ya que en el Estrecho de Florida existe una intensa dinámica oceánica resultado del flujo constante de la corriente de Yucatán hacia el Atlántico. Por esa misma razón, es poco probable que esos arrecifes interactúen directamente con los arrecifes internos del Golfo.

En el interior del Golfo existen otras formaciones que no alcanzan la superficie del mar y que no tienen origen arrecifal, los que se caracterizan por una limitada o nula capacidad de acreción, no obstante que pueden estar densamente colonizadas por biota coralina. Tal es el caso de las crestas que conforman los Middle Grounds en la parte NW de la plataforma de Florida y particularmente la de los numerosos bancos diapíricos de los Flower Gardens a lo largo del borde de la plataforma continental de Texas y Luisiana (Rezak *et al.* 1990). Además de que estos bancos tienen un emplazamiento relativamente profundo (los ápices se encuentran a 20 m de profundidad o más), las condiciones ambientales que los rodean son un tanto particulares, razón por la que no se encuentran corales del género *Acropora*, uno de los constructores arrecifales más importantes, así como tampoco gorgonáceos, otro componente común de los arrecifes caribeños. En la cuenca interna del Golfo existen también unos "arrecifes profundos" a cientos de metros bajo la superficie, que en realidad no tienen una matriz arrecifal, sino que se trata de densas comunidades de corales no-simbióticos, por ejemplo del género *Lophelia*.

LOS ARRECIFES CORALINOS EMERGENTES DEL GOLFO DE MÉXICO

Los arrecifes coralinos emergentes que existen al interior del Golfo de México sólo se encuentran sobre la plataforma continental mexicana y su grado de desarrollo es considerablemente elevado, análogo al de arrecifes del mismo tipo en el mar Caribe. Estos sistemas arrecifales se encuentran localizados principalmente en dos regiones de la plataforma: en el Sonda de Campeche y sobre la plataforma frente a Veracruz. Las características principales de estos arrecifes han sido científicamente descritas por numerosos autores comenzando por Heilprin en 1890 y existe una amplia literatura al respecto (véase una revisión en Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2003). Sin embargo, a fin de dar los antecedentes necesarios haré una síntesis de sus características.

Arrecifes frente al litoral veracruzano. Existen cuatro conjuntos arrecifales compuestos por arrecifes de banco geomorfológicamente bien constituidos, que se caracterizan por taludes relativamente abruptos y una parte superior somera (figura 1), en áreas geográficamente discretas: Antón Lizardo (8 arrecifes); Veracruz (7 arrecifes); Tuxpan (3 arrecifes) e Isla Lobos (3 arrecifes). Se hallan relativamente cerca de la costa, entre algunos cientos de metros y poco más de 20 km (algunos, como el de Hornos y la Gallega en Veracruz, son tan cercanos que ya han sido invadidos por la expansión litoral antropogénica). Su extensión es moderada, menor a los 10 km² y el basamento se encuentra a profundidades que oscilan entre los 20 y 45 m. El patrón de distribución de estos arrecifes sugiere un basamento de restos de arrecifes fósiles, aunque no es posible descartar domos basálticos o salinos (Freeland-Lockwood 1971). Además de esos arrecifes, en diversos puntos a lo largo del litoral se pueden encontrar parches coralinos sobre fondos duros, que se caracterizan por una escasa o nula acreción.

Biológicamente estos arrecifes se caracterizan por una comunidad coralina diversa y abundante, en la que los corales escleractinios tienen una alta riqueza específica (Emery 1963, Horta-Puga y Carricart-Ganivet 1993), con patrones de zonación pronunciadamente marcados a barlovento y a sotavento del arrecife. La parte somera externa a barlovento está dominada por extensos cinturones monoespecíficos conformados por grandes colonias del coral ramificado «cuerno de alce», *Acropora palmata*, mientras que a sotavento la comunidad alterna entre extensos campos del coral «cuerno de ciervo», *Acropora cervicornis* y de corales mixtos, donde predominan las especies masivas. En las partes intermedias y profundas tienden a dominar

corales masivos de los géneros *Montastraea*, *Diploria* y *Colpophyllia*, pero en general la riqueza específica es relativamente alta. Otro conjunto biótico importante, que juega un papel destacado en la consolidación de la matriz arrecifal, está constituido por algas coralíneas de diversos géneros que dominan los ambientes de sombra y penumbra. En contraste, los gorgonáceos están muy pobremente representados en estos arrecifes, no obstante que son un componente típico de la biota arrecifal caribeña.

Un hecho significativo es que prácticamente todas las colonias de ambas especies de *Acropora*, que conforman los extensos cinturones y campos coralinos arriba mencionados, mueren hacia la década de los ochenta debido probablemente a la enfermedad de la banda blanca (Gladefelter 1982), quedando únicamente los esqueletos en pie y en proceso de erosión. Jordán-Dahlgren (1992) reporta un proceso de recolonización inicial muy lento y observaciones parciales posteriores, hechas por diferentes investigadores, indican que ese lento ritmo no ha cambiado recientemente. A la fecha, se desconoce si otras enfermedades letales en corales han proliferado en estos arrecifes y si lo han hecho, a qué nivel; pero es notorio que en algunos de ellos existan elevados niveles de bioerosión en colonias vivas del género *Diploria*.

Arrecifes del Sonda de Campeche. Los arrecifes coralinos de esta región se encuentran principalmente cerca del borde de la plataforma continental, muy distantes de tierra firme, aunque existe un grupo de tres arrecifes pequeños cerca de la costa, frente a Sisal, Yucatán (figura 1). Morfológicamente son del tipo banco, pero existe una amplia diferencia estructural entre ellos y forman estructuras aisladas, aunque algunos arrecifes forman grupos como es el caso de los arrecifes de Triángulos. Varios de estos arrecifes están emergidos y forman islas, denominadas cayos, mientras que otros están a unos cuantos metros por debajo de la superficie del mar. Las dimensiones de los arrecifes externos oscilan entre tres y poco más de 20 km², exceptuando el arrecife de Alacranes que tiene más de 650 km² de superficie. Aunque no se ha confirmado, Logan (1969) postula que el basamento sobre el que se han formado estos arrecifes corresponde a dunas antiguas y que el crecimiento arrecifal ocurre durante etapas transgresivas. Datos recientes demuestran que las tasas de acreción son lo suficientemente elevadas para haber mantenido el crecimiento arrecifal durante el último ascenso del nivel del mar (Blanchon y Perry en prensa), e incluso son de las más elevadas que se han reportado para la transgresión Holocénica (Macintyre *et al.* 1977). De hecho, muchos de estos arrecifes muestran pronunciados rasgos de crecimien-

to arrecifal activo, como son los sistemas de canales y macizos e incluso fosos longitudinales, tanto a barlovento como a sotavento.

La comunidad de corales escleractinios que coloniza y mantiene estos arrecifes es diversa y abundante (Bonet 1967, Logan 1969, Farrel *et al.* 1983), al igual que otros componentes de la biota arrecifal coralina (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2003). La parte somera de los arrecifes tiende a estar dominada por *Acropora palmata* y *A. cervicornis* asociados a un conjunto multiespecífico variable en función del hábitat particular. Mientras que *A. palmata* llega a formar en algunos casos extensas estructuras de tipo panal en la zona de barlovento, como se observa en Cayos Arenas, *A. cervicornis* forma extensos campos en las partes protegidas y someras, e incluso hasta los 35 m de profundidad a sotavento de Triángulos Este. Eventualmente el híbrido no fértil *A. prolifera* es abundante en partes someras de estos arrecifes. En las zonas de profundidad intermedia predominan sustratos duros, de bajo relieve, que están colonizados por un conjunto diverso de especies donde predominan corales, gorgonáceos y esponjas. Aquí, las colonias de escleractinios son abundantes aunque relativamente pequeñas, de manera que no alcanzan a formar estructuras arrecifales secundarias. Sin embargo, aunque espacialmente predominan los fondos duros de bajo relieve, también hay áreas con rasgos estructurales secundarios bien desarrollados. De hecho, la proporción entre fondos de bajo y alto relieve es muy variable entre los arrecifes del Sonda de Campeche, pero en ambos predominan corales masivos de los géneros *Montastraea*, *Diploria* y *Siderastrea*. En las partes más profundas puede existir el mismo patrón, pero en general la dominancia específica es considerablemente más elevada y en varios sitios el alga carnosa *Lobophora variegata*, capaz de competir efectivamente con corales por el control del sustrato, es muy abundante. Las algas coralíneas son también muy abundantes, incluso en las áreas de alta iluminación de la plataforma superior, donde juegan un activo papel en la consolidación de los restos de esqueletos de *A. cervicornis*. Los gorgonáceos están relativamente bien representados, aunque muestran un proceso de relativo aislamiento con respecto a las biotas dominantes en el mar Caribe (Jordán-Dahlgren 2002). Particularmente notorio es que en las partes arenosas someras y protegidas hay poca presencia de algas calcáreas pediceladas y en muchos arrecifes los pastos marinos están ausentes.

Al igual que en los arrecifes frente al litoral veracruzano y en otros del Gran Caribe, casi la totalidad de las colonias de acropóridos murieron hace una década, probablemente a causa de la enfermedad de la banda blanca. El

proceso de recolonización por estas especies es más acelerado que el observado en los arrecifes frente al litoral de Veracruz (Jordán-Dahlgren 2003). Otra situación observada en estos arrecifes es la creciente incidencia del síndrome letal de la banda amarilla (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, en prensa) que ataca principalmente a corales del género *Montastraea*. Esta situación es preocupante porque estas especies, junto con los acropóridos, constituyen el conjunto fundamental de constructores arrecifales en la región biogeográfica del Caribe.

LA CALIDAD DEL AMBIENTE, IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS Y PERTURBACIONES NATURALES

En general se puede afirmar que en la época moderna han ocurrido severos cambios en la calidad del ambiente marino a escala local y planetaria, que afectan en diverso grado a las comunidades y arrecifes coralinos del Golfo de México y del resto del mundo. Las causas del deterioro ambiental son múltiples pero en general se trata del efecto acumulado de impactos ambientales a escala local, regional y global, que pueden dar como resultado situaciones catastróficas. Primero plantearé la situación local para cada uno de los sistemas arrecifales descritos y posteriormente los potenciales efectos regionales y globales que afectan a ambos; finalmente se discuten los escenarios ecológicos que pueden resultar de esta situación.

Arrecifes frente al litoral veracruzano. El sistema arrecifal más impactado en el Golfo de México es sin duda el de los arrecifes frente al litoral veracruzano. Esto resulta en mucho de su emplazamiento geográfico, ya que se encuentran en un medio marino con fuerte influencia continental por la descarga de los grandes sistemas fluviales que caracterizan esta región del Golfo, y también porque es una de las zonas con mayor desarrollo urbano, agrícola e industrial del país. Las descargas fluviales afectan el entorno arrecifal, particularmente durante la época de lluvias, en primer lugar porque acarrear grandes cantidades de sedimentos suspendidos, los que entre muchas otras cosas, provocan una drástica reducción en la transparencia del agua y se precipitan sobre el fondo cubriendo corales y otros organismos sésiles de la comunidad coralina, dando lugar a una drástica modificación del ambiente oligotrófico que requiere esta biota. Las descargas fluviales también acarrear gran cantidad de diversos tipos de contaminantes urbanos, agrícolas e industriales, que son liberados en la cuenca de captación de esos sistemas fluviales, lo que aunado a los escurrimientos directos

de ciudades y pueblos a lo largo de las costas, da como resultado un ambiente marino litoral muy contaminado que alcanza las zonas arrecifales (Horta-Puga y Barba-Santos, 2003). Un efecto potencial muy preocupante de la eutroficación resultante es el cambio del ambiente oligotrófico, el exceso de nutrientes en el agua que pueda dar lugar a explosiones poblacionales de algas carnosas sésiles, las que pueden eliminar a los corales porque tienen tasas de crecimiento y proliferación mucho más rápidas.

Además de los impactos indirectos, también existen impactos directos y los más importantes están relacionados con las actividades extractivas, particularmente la pesca (sobrepesca) y la extracción, con poco o nulo control de corales, conchas y otros organismos para su venta al turista como «recuerdos». Estas actividades extractivas tienen diversos efectos en las comunidades coralinas y son más severos que en otros sistemas por muchas razones; una muy evidente es que los corales crecen muy lentamente y no es fácil compensar la extracción. Otro efecto potencialmente muy peligroso es mantener niveles de sobrepesca, puesto que hay evidencia de arrecifes del Caribe, en los que cuando está asociado a otros factores de estrés, puede resultar en colapsos de la comunidad coralina (Hughes, 1994). Otro tipo de impacto directo que ha existido desde hace mucho tiempo es el encallamiento de buques, que destrozan la biota coralina del área de impacto, la que posteriormente puede incrementarse por los esfuerzos de salvamento o por el movimiento del buque durante temporales. Finalmente, en el caso de los arrecifes frente a la ciudad de Veracruz un impacto muy importante ha resultado de la modificación del litoral, primero por la construcción del castillo de San Juan de Ulúa (en mucho con roca arrecifal extraída de los arrecifes locales) y posteriormente por la construcción del puerto y el malecón de la ciudad, que cambiaron drásticamente la dinámica de transporte litoral y de playas. El resultado evidente es la progresión de la línea de costa sobre los arrecifes más cercanos al litoral, efecto claramente observable hoy en día en el arrecifes de Hornos y el de la Gallega.

Los arrecifes del Sonda de Campeche. A diferencia de lo que sucede con los neríticos arrecifes veracruzanos, los del Sonda de Campeche (excepto los pequeños arrecifes frente a Sisal), crecen en un ambiente netamente oceánico por la gran distancia que los separa del litoral. Pero además, el acarreo de terrígenos es muy reducido ya que la Península de Yucatán es un macizo continental predominantemente kárstico, que tiene muy poco suelo y no hay ríos superficiales. La fuente de influencia continental más cercana proviene de los aportes fluviales del sistema Grijalva-Usumacinta, pero el efecto

importante termina al sur del arrecife más septentrional del Sonda de Campeche, el de Cayos Arcas (Logan 1969). El efecto de la derrama freática de la Península de Yucatán hacia la Sonda de Campeche y los arrecifes coralinos que en él se encuentran es desconocido, pero es probablemente de escasa importancia para los arrecifes externos por las grandes distancias que los separan de la costa. Por lo tanto, los impactos antropogénicos indirectos originados en la Península de Yucatán son mínimos, si es que existen, aunque podría haber contaminación proveniente del mar Caribe.

Los impactos directos en los arrecifes del Sonda de Campeche son básicamente la pesca y los encallamientos. A la fecha los niveles de sobrepesca corresponden a las especies de alto valor comercial, y en ese sentido este recurso resulta menos afectado que el de los arrecifes frente al litoral veracruzano, mientras que los encallamientos son relativamente escasos, pues no es una zona con mucho tránsito marino. En un arrecife en particular, el de Cayos Arcas, ha habido impactos de tipo industrial asociados con la construcción y operación de una plataforma para la carga de buques tanque petroleros. Sin embargo, nuestras investigaciones sugieren que si hubo daños mayores en la comunidad coralina por efecto de esa actividad durante la etapa anterior a nuestros estudios (1996 a la fecha), la evidencia de ellos desapareció por el efecto catastrófico que causó el oleaje generado por los ciclones Roxana y Opal en 1995 (datos no publicados). Actualmente no hay evidencia de daños mayores, pero queda por conocer si las actividades industriales en las cercanías del Arrecife de Cayos Arcas pueden tener un efecto negativo y significativo en la recuperación natural de la comunidad coralina.

LOS EFECTOS REGIONALES Y GLOBALES EN EL ECOSISTEMA ARRECIFAL CORALINO

A escala del Golfo de México, uno de los factores naturales de cambio es el oleaje producido por huracanes y tormentas tropicales en el verano e incluso por Nortes huracanados en invierno. Este oleaje destructivo tiene la capacidad de provocar cambios en la comunidad coralina de los arrecifes y evidentemente los ciclones de alta intensidad tienen un efecto mayor, pero incluso ciclones de baja categoría pueden provocar daños catastróficos si se desplazan alrededor de un sistema arrecifal, como fue el caso del ciclón Roxana (1995) en la parte sur del Sonda de Campeche. De acuerdo con Jordán- Dahlgren y Rodríguez-Martínez (2003), y con base en un análisis de la información dis-

ponible para un lapso de 111 años, el período de retorno de huracanes de alta intensidad (categorías 3 a 5 en la escala Saffir-Simpson) es de 37.1 años para el litoral veracruzano, pero de tan sólo 12.3 años para el Sonda de Campeche. Sin embargo, si a consecuencia del calentamiento global hubiera un incremento significativo en la frecuencia e intensidad de ciclones (como predicen los modelos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático Global), los efectos podrían ser devastadores ya que la tasa de recuperación de la comunidad coralina es naturalmente muy lenta. Otro efecto potencial, particular de los Nortes fuertes, sería el de generar un choque térmico como resultado de un abrupto descenso de la temperatura superficial del mar que pudiese provocar mortalidades masivas en algunos componentes de la comunidad coralina, como ha sido documentado para arrecifes de la Florida.

Otro efecto regional potencialmente importante es la contaminación por sólidos y sustancias disueltas que, siendo liberados en el mar Caribe, llegan a los arrecifes del Golfo, ya que el sistema de circulación predominante en el Caribe es hacia el canal de Yucatán y de ahí eventualmente al Golfo de México. Aún cuando la importancia relativa de su efecto sobre las comunidades coralinas del interior del Golfo es desconocida, el mecanismo de transporte indudablemente existe. De hecho, buena parte de la basura que llegan a las playas de los Cayos de la Sonda de Campeche y del estado de Veracruz provienen del Caribe, y la mayor parte de los asfaltos de escurrimientos petroleros en Venezuela o Trinidad y Tobago. Por otro lado, evidencia reciente y aún un tanto polémica, sugiere que incluso la calidad de las aguas pelágicas en el mar Caribe está siendo significativamente degradada por las actividades antropogénicas que se dan alrededor y dentro de este mar mediterráneo. Sin embargo, si esto en realidad ya está sucediendo, es en principio más preocupante para los arrecifes de la Sonda de Campeche que para los del litoral veracruzano, que tienen niveles de contaminación locales muy diversos y elevados.

El cambio climático global, particularmente el calentamiento de la atmósfera y el incremento de radiación UV-B, tiene numerosos efectos negativos en la comunidad coralina, aunque su efecto difiere entre regiones y localidades. Además de sus efectos en el clima oceánico, el calentamiento global tiene consecuencias biológicas muy serias en la estabilidad y salud del ecosistema arrecifal-coralino. Un ejemplo de esta situación es el incremento en los episodios de blanqueamiento que afectan a corales y otros organismos simbióticos; otro de importancia es la emergencia de enfermedades infecciosas letales para muchas especies de la comunidad, especialmente los

corales. El fenómeno del blanqueamiento resulta de que el hospedero expulsa las zooxantelas cuando es severamente estresado, lo que es señal inequívoca de condiciones ambientales muy difíciles de soportar para el par simbiote. Esto puede suceder por muchos factores, pero el calentamiento superficial de los mares es el más importante porque abarca grandes extensiones del océano. Dependiendo de la severidad del evento, el blanqueamiento puede tener un efecto pasajero o provocar mortalidades masivas que pueden llevar al colapso de la comunidad coralina, como ha sucedido en varios lugares del Pacífico, el más reciente en 2001. A la fecha, no hay reportes de blanqueamientos masivos letales en los arrecifes coralinos del Golfo de México, sin embargo comúnmente se observan colonias blanqueadas aisladas y en todo caso, eventos suaves de blanqueamiento pueden pasar desapercibidos «a ojo». Aún cuando el episodio de blanqueamientos no sea letal, la pérdida parcial de zooxantelas reduce la capacidad fisiológica del simbiote, lo que entre otras cosas puede dar como resultado una resistencia reducida a competidores, parásitos y patógenos.

En contraste con lo que sucede en el Pacífico, en el Caribe y en el Golfo de México, la incidencia de enfermedades infecciosas en corales y otros organismos, es relativamente elevada y además, ampliamente distribuida. Situación que probablemente resulta de la combinación de los efectos de muchos factores directos e indirectos, pero el calentamiento de los mares en particular es muy importante, porque muchos patógenos aumentan su actividad y sus tasas de reproducción a temperaturas mayores (Dazsak *et al.* 2001; Harvell *et al.* 2002). Debido a que la biota coralina es fisiológicamente debilitada por el deterioro de su entorno ambiental, mientras que la actividad de los patógenos es incrementada por esas mismas condiciones, se tiende a niveles de incidencia y mortalidad elevados. Los arrecifes del Golfo de México ya están sufriendo los efectos de estas enfermedades como demuestra la mortalidad de acropóridos (Jordán-Dahlgren 1992, 2003) y la creciente incidencia de otras enfermedades como la de la banda amarilla (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, en prensa). Algunos de los patógenos identificados como causantes de las enfermedades que hemos identificado en arrecifes del Golfo son de origen terrestre, como el hongo *Aspergillus sydowii*, o bacterias comunes en el trato digestivo de humanos y otros muchos animales marinos y terrestres (*Serratia marcescens*, Paterson *et al.* 2002), lo que señala un efecto combinado de efectos locales y globales. Otra enfermedad letal que proliferó en los arrecifes del Golfo, así como en los del Caribe, es la que provocó la mortalidad masiva del erizo *Diadema*

antillarum, herbívoro muy importante en el ambiente arrecifal ya que es capaz de controlar el crecimiento de algas carnosas y cuya importancia aumenta significativamente cuando hay sobrepesca de peces herbívoros.

CONSIDERACIONES GENERALES Y ESCENARIOS POSIBLES

Con base en lo anterior se puede afirmar que en la actualidad hay un deterioro significativo en la calidad del ambiente marino, resultado de impactos locales, regionales y globales, que afecta en diverso grado a las comunidades y arrecifes coralinos del Golfo de México. El mayor problema potencial de esta situación es que las especies clave son diezmadas y que ésto lleva a un catastrófico colapso de la comunidad coralina. Evidentemente los arrecifes frente al litoral veracruzano son los que sufren la mayor presión ambiental, debido a la multitud de impactos locales, y por ello la posibilidad de eventos masivos de mortalidad producidos por enfermedades y/o por blanqueamientos letales, es potencialmente alta. Los arrecifes del Sonda de Campeche no escapan a esta amenaza, pero aparentemente el nivel de riesgo ecológico es menor porque los impactos por efectos locales son bajos (cuadro 1).

En el caso de una reducción severa en la densidad poblacional de especies clave, como ya ha sucedido con los acropóridos, se reduce o incluso elimina la capacidad de reproducción local. En esta situación el mantenimiento y/o eventual restitución de densidades poblaciones adecuadas, dependerá de la inmigración de larvas producidas en áreas distantes (del Caribe, por ejemplo). Sin embargo, para que este mecanismo tenga un efecto poblacional significativo se requiere de un alto nivel de conectividad ecológica, lo que depende del esfuerzo reproductor de la especie en las áreas de producción distantes y también de la eficiencia de los mecanismos de transporte en términos de la viabilidad de las larvas. El grado de conectividad ecológica es un elemento fundamental para el manejo racional y la conservación de estos sistemas arrecifales, sin embargo hay muy poca información al respecto. Existen evidencias parciales de que los niveles de conectividad ecológica en los arrecifes del Golfo es potencialmente baja, como sugiere el análisis de patrones de riqueza específica y abundancia de gorgonáceos (Jordán-Dahlgren 2002), que muestra la existencia de gradientes decrecientes en riqueza y abundancia del Caribe al interior del Golfo. Estos patrones parecen ser mejor explicados por los modelos actuales de circulación oceánica y costera en el Golfo que por causas locales, ya que existen diversas barreras a la distribución de larvas que van desde el Canal de Yucatán (por efecto de

CUADRO 1. IMPACTO RELATIVO DE FACTORES LOCALES Y EXTERNOS EN ARRECIFES DEL GOLFO DE MÉXICO

FACTORES ANTROPOGÉNICOS	VERACRUZ	ARRECIFES
		SONDA DE CAMPECHE
Sobre pesca ¹	A	A
Métodos destructivos de pesca	N	N
Colecta de especímenes	A	SD
Minería de coral (pasado)	A	N
Dragados	A	N
Encallamientos	A	M
Daño por anclas	M	B
Deforestación local	A	N
Turismo	M	B
Contaminantes urbanos	A	N
Contaminantes industriales	A	B-M
Contaminantes oceánicos ²	M	B
Contaminantes terrestres ³	A	N
Eventos «naturales»		
Pérdida de acropóridos	A	A
Pérdida de <i>Diadema</i>	A	A
Sobre-crecimiento de macroalgas	M	M
Huracanes ⁴	A	A
Blanqueamiento ⁵	SD	SD

A = Alto; M = Medio; B = Bajo; N = Nulo; X = Desconocido; SD = Sin datos.

1. Pesca: principalmente carnívoros de alto valor. 2. Contaminantes oceánicos: basura y sustancias transportadas a estos arrecifes por las corrientes superficiales del Caribe occidental.

3. Contaminantes terrestres: basura y sustancias acarreadas por ríos. 4. Huracanes: condición actual de los arrecifes después de recuperarse del impacto de huracanes. 5. Blanqueamiento: se desconoce si ha ocurrido blanqueamiento en los arrecifes del Banco de Campeche.

Eventos «naturales»: situaciones que pueden ser provocadas y/o potencializadas por impactos antropogénicos indirectos.

surgencias), hasta el litoral interno del Golfo (por efecto de las descargas fluviales). Ambos tipos de información, la de los gradientes decrecientes en gorgonáceos y los modelos de circulación, permiten considerar que una conectividad ecológica eficiente a escala poblacional es esporádica y relati-

vamente poco frecuente, particularmente entre el Caribe y/o Sonda de Campeche y los arrecifes frente al litoral veracruzano.

Como se planteó anteriormente, uno de los peligros de la pérdida masiva de especies clave es la alta posibilidad de un colapso comunitario, ya que en este caso podría darse un reemplazo de corales por otro tipo de organismos (como macroalgas, esponjas o zoantarios coloniales) que sin ser constructores arrecifales, también pueden dominar el sustrato arrecifal. Entre las muchas consecuencias ecológicas de un cambio de comunidad de este tipo, estaría la dificultad de una recolonización exitosa por corales y biota asociada a ellos, porque la comunidad alternativa tendería a ser estable mientras se mantengan las condiciones que le permitieron colonizar los arrecifes (Done 1992). De hecho, si acaso las condiciones ambientales originales fueran restituidas, la lenta tasa de renovación de la biota coralina determinaría un lento proceso de recolonización y cambio, de muchas décadas probablemente. Si bien los cambios de estado en la comunidad coralina son muy factibles cuando hay un cambio significativo en la calidad del ambiente (Knowlton 1992, Wilkinson 2000), es difícil predecir cómo y cuándo se daría ese cambio en un arrecife dado. Esta dificultad obedece a la compleja naturaleza de estos ecosistemas que no responden en forma monotónica a las causas de estrés, porque en su funcionamiento hay muchos elementos que actúan sinérgicamente, a la vez que hay diversas rutas para el flujo de energía dentro y entre los diferentes niveles tróficos, lo que entre otras cosas, elimina la posibilidad de encontrar especies indicadoras de la condición global de la comunidad.

Pero además de lo anterior, la posibilidad del colapso de la comunidad coralina y su sustitución por otra, que no contribuya al crecimiento y mantenimiento de la estructura arrecifal, es muy preocupante porque la parte superior del arrecife puede ser rápidamente erosionada. Esto sucedería porque si bien la matriz arrecifal es principalmente formada y mantenida por la biota coralina, las estructuras de alto relieve que se forman son también un fino modulador del entorno ambiental para la comunidad coralina, lo que potencializa su desarrollo. De hecho, mientras que la comunidad coralina de un arrecife coralino tiende a ser muy estable, la que existe sobre fondos duros, no arrecifales, pero adecuados para la biota coralina es transitoria (Jordán-Dahlgren 1992). La importancia de un medio potencializador para el crecimiento de corales estriba en que eso es lo que garantiza la formación y mantenimiento de la estructura arrecifal, porque los arrecifes son resultado de un balance positivo en la dinámica relación que hay entre procesos

constructivos y procesos erosivos, indispensables para la producción del material que requiere la conformación de la matriz arrecifal. Si por el contrario, en ese balance predominan los procesos erosivos, entonces la estructura arrecifal superficial es rápidamente destruida por el efecto combinado de la bioerosión y el impacto del oleaje de tormenta, ya que mientras que los procesos constructivos requieren del crecimiento y proliferación de corales (y otros organismos productores de carbonatos), los erosivos sólo necesitan la existencia de la caliza arrecifal.

CONCLUSIÓN

Por todo lo anterior es evidente que la elevada presión ambiental en los arrecifes del Golfo, particularmente en los que están en la plataforma continental del estado de Veracruz, que es generada por efectos locales, regionales y globales, puede dar lugar a un colapso de las comunidades coralinas que los mantienen. El problema principal de ello no es solamente la posibilidad de que el ambiente arrecifal sea colonizado por otros organismos incapaces de mantener la estructura arrecifal, sino la lenta recuperación potencial, que incluso en condiciones óptimas, determina la complejidad de la comunidad coralina.

En términos de la acelerada dinámica humana, un cambio de esta naturaleza bien puede implicar la pérdida del sistema para muchas generaciones. A la fecha, los métodos de restitución artificial son claramente insuficientes para enfrentar problemáticas de escala arrecifal; menos aún si el deterioro ambiental, que es la causa original del problema, persiste o aumenta. Esta situación, en la que hay un progresivo deterioro del ambiente y en la que los recursos tecnológicos disponibles son inadecuados para lograr una efectiva restauración artificial a escala arrecifal, determina una sola estrategia viable para la conservación razonable de estos ecosistemas arrecifal-coralinos, como se expresa en las siguientes recomendaciones.

RECOMENDACIONES

- 1) Garantizar que no aumente la intensidad de los impactos directos e indirectos de origen local que actualmente afectan la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita en los arrecifes mencionados.
- 2) Reducir la magnitud de esos impactos a través de la aplicación estricta de

las regulaciones existentes.

- 3) Impedir efectivamente la generación de nuevos impactos o de efectos de antiguos impactos que potencial o efectivamente puedan afectar la calidad de las aguas costeras y a la comunidad coralina que habita en los arrecifes mencionados.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanchon, P., Perry, C.T. (en prensa). Taphonomic differentiation of *Acropora palmata* facies in cores from Campeche-Bank Reefs, Gulf of México. *Sedimentology*.
- Bonet, F. 1967. Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán. Univ. Nal. Auton. de México. Instituto de Geología. *Boletín* 80: 1-191.
- Daszak, P., Cunningham, A.A., Hyatt, A.D. 2001. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Tropica* 78: 103-116.
- Done, T. 1992. Constancy and change in some Great Barrier Reef coral communities: 1980-1990. *American Zoologist* 32: 655-662.
- Emery, K.O. 1963. Arrecifes coralinos en Veracruz, México. *Geofísica Inter.* 3: 11-17.
- Farrel, T.M., D'Elia, C.F., Lubbers, L., Pastor, L.J. Jr. 1983. Hermatypic coral diversity and reef zonation at Cayos Arcas Campeche, Gulf of México. *Atollon Research Bulletin* 270: 1-7.
- Freeland-Lockwood, G. 1971. Carbonate sediments in a terrigenous province: the reefs of Veracruz, Mexico. Ph.D. Dissertation. Rice University, Houston, Texas. Pp. 253.
- Gladfelter, W.B. 1982 White-band disease in *Acropora palmata*: Implications for the structure and growth of shallow reefs. *Bulletin of Marine Science* 32(3): 639-643.
- Harvell, C.D., Kim, K., Burkholder, J.M., Colwell, R.R., Epstein, P.R., Grimes, D.J., Hofmann, E.E., Lipp, E.K., Osterhaus, A.D.M.E., Overstreet, R.M., Porter, J.W., Smith, G.W., Vasta, G.R. 1999. Emerging marine diseases—climate links and anthropogenic factors. *Science* 285: 1505-1510.
- Harvell, C.D., Mitchell, C.E., Ward, J.R., Altizer, S., Dobson, A.P., Ostfeld, R.S., Samuel, M.D. 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* 296: 2158-2162.
- Heilprin, A. 1890. The corals and coral reefs of the western waters of the Gulf of México. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 42: 303-316.
- Horta-Puga, G., Carricart-Ganivet, J.P., 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. Salazar-Vallejo S.I. y González, N.E. (eds). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO/CIQRO, México, DF. Pp. 64-78.
- Horta-Puga, G., Barba-Santos, G. 1999. Veracruz Reef System, Gulf of México. AGRRA

- Field Reports. [En línea. Fecha de acceso: septiembre de 2003]. Disponible: <http://www.coral.noaa.gov/agra/reports/Veracruz.html>
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265: 1548-1551.
- Jordán-Dahlgren, E. 1992. Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bulletin of Marine Science* 51(1): 104-117.
- Jordán-Dahlgren, E. 2002. Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity? *Coral Reefs* 21: 205-215.
- Jordán-Dahlgren, E. 2003. Status of Acroporids in the Mexican Atlantic. En: *Proceedings of the Caribbean Acropora workshop: potential application of the U.S. endangered species act as a conservation Strategy*. Bruckner, A.W. (ed). Miami, Florida. Pp 156-159.
- Jordán-Dahlgren, E., Rodríguez-Martínez, R.E. 2003. The Atlantic coral reefs of México. En: *Latin American Coral Reefs*. Cortés, J. (Ed.). Elsevier. 508 pp.
- Knowlton, N. 1992. Thresholds and multiple stable states in coral reef community dynamics. *American Zoologist* 32: 674-682.
- Logan, B.W. 1969. *Coral reefs and banks, Yucatán shelf, Mexico*. The American Association of Petroleum Geologists. Mem. **11**: 129-198.
- Macintyre, I.G., Burke, R.B., Stuckenrath, R. 1977. Thickest recorded Holocene reef section, Isla Perez core hole, Alacran Reef, Mexico. *Geology* 5: 749-754.
- Patterson, K.L., Porter, J.W., Ritchie, K.B., Poison, S.W., Mueller, E., Peters, E.C., Santavy D.L., Smith, G.W. 2002. The etiology of white pox, a lethal disease of the Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*. *Proceedings of the National Academy of Science (PNAS)* 99(13): 8725-8730.
- Rezak, R., Gittings, S.R., Bright, T.J. 1990. Biotic Assemblages and Ecological Controls on Reef and Banks of the Northwest Gulf of Mexico. *American Zoologist* 30: 23-35.
- Wilkinson, C. 2000. Status of Coral Reefs of the World: 2000. [En línea. Fecha de acceso: septiembre de 2003]. Disponible: http://www.coral.noaa.gov/gcrmn/Status_2000.pdf

LA GEOLOGÍA AMBIENTAL DE LA ZONA LITORAL

*Arturo Carranza-Edwards, Leticia Rosales-Hoz, Margarita Caso
Chávez y Eduardo Morales de la Garza*

INTRODUCCIÓN

Aun cuando la geología ambiental se inicia desde la década de 1970 a nivel mundial, en México empieza a adquirir un carácter más formal a partir de los últimos diez años del siglo pasado. De acuerdo con Keller (1996), el principal problema ambiental es el exceso de población, ya que el incremento demográfico demanda una mayor cantidad de recursos principalmente energéticos, minerales, vegetales y espaciales, los cuales son finitos.

El rápido crecimiento de la población urbana se ha concentrado en pocas capitales del país, pero es de suponer que en el largo plazo la población mexicana se distribuya en una forma más equitativa. Cabe esperar que en un futuro no lejano se produzcan migraciones hacia las zonas costeras, pues en ellas se contará aún con una mayor cantidad de recursos hídricos.

La zona costera del Golfo de México cuenta con una actividad petrolera en creciente desarrollo que impacta a los estados de litorales del Golfo de México, principalmente Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche (Yañez-Arancibia 1999, Yañez-Arancibia *et al.* 1999).

El concepto de zona costera puede tener muchas definiciones. No obstante, si se acepta que el continente tiene influencia sobre el mar y viceversa, es importante considerar a la zona costera desde la vertiente del Golfo hasta la elevación continental (al pie del talud). Incluso cuando una cuenca

endorreica (como la Cuenca de México) se transforma antrópicamente en exorreica, la influencia continental sobre los mares se extenderá aún más. Lo mismo sucede cuando una corriente fluvial es represada, pues entonces los sedimentos y nutrientes que les acompañan no llegarán a su destino final que es el mar. Debido a los aportes antrópicos, son importantes los estudios de metales pesados en sedimentos fluviales, lacustres y marinos (Álvarez-Rivera *et al.* 1986, Rosales-Hoz *et al.* 1986a, Rosales-Hoz *et al.* 1986b, Rosales-Hoz *et al.* 1992, Rosales-Hoz *et al.* 1993, Rosales-Hoz y Carranza-Edwards 1998, Rosales-Hoz *et al.* 1999).

En los estudios ambientales y geoquímicos el análisis granulométrico de los sedimentos sirve para entender de forma integral las condiciones del área fuente y del sitio de depósito (Carranza-Edwards 1997).

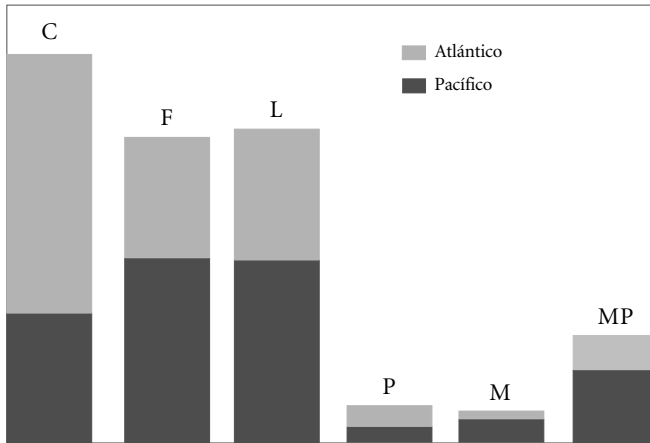
El objetivo de este capítulo es analizar la importancia de la franja litoral, con énfasis en las playas, desde un punto de vista ambiental; esto es, considerando las relaciones que las playas guardan con los ambientes terrestres y marinos que las rodean y con la influencia de la actividad antrópica.

LAS PLAYAS Y SU COMPOSICIÓN

Los principales componentes de las playas terrígenas o siliciclásticas son: cuarzos, feldespatos y fragmentos de roca o líticos. Dentro del proyecto "Sedimentología de playas de México" del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, se han recolectados numerosas muestras de sedimentos de playas. Si se comparan los sedimentos arenosos de las playas, se observa (figura 1) que las playas de la vertiente del Atlántico son más ricas en cuarzo que las del Pacífico. Esto se debe a que los ríos que drenan hacia el Atlántico son de mayor longitud por lo que los sedimentos fluviales han sido más retrabajados; en consecuencia, al descargarse en el litoral enriquecen a las playas en cuarzos, por ser éstos más resistentes al intemperismo físico y químico. En los sitios donde no existen aportes de sedimentos la turbiedad del agua es menor, y si las condiciones de energía son propicias, entonces se favorece la precipitación de carbonatos (Carranza-Edwards *et al.* 1996).

Los ríos han sido afectados por la mano del hombre, toda vez que en ellos se han construido cortinas para represar el agua o se han hecho canales para riego o para el abastecimiento de agua en general. El hecho es que por estas acciones no solamente se retiene el agua, sino que los sedimentos y los nutrientes naturales tampoco alcanzan la línea de costa. Por otra parte,

FIGURA 1. COMPOSICIÓN PROMEDIO DE ARENAS DE PLAYAS EN MÉXICO



C = cuarzós, F = feldespato, L = líticos, M = micas, P = pedernal, MP = minerales pesados.

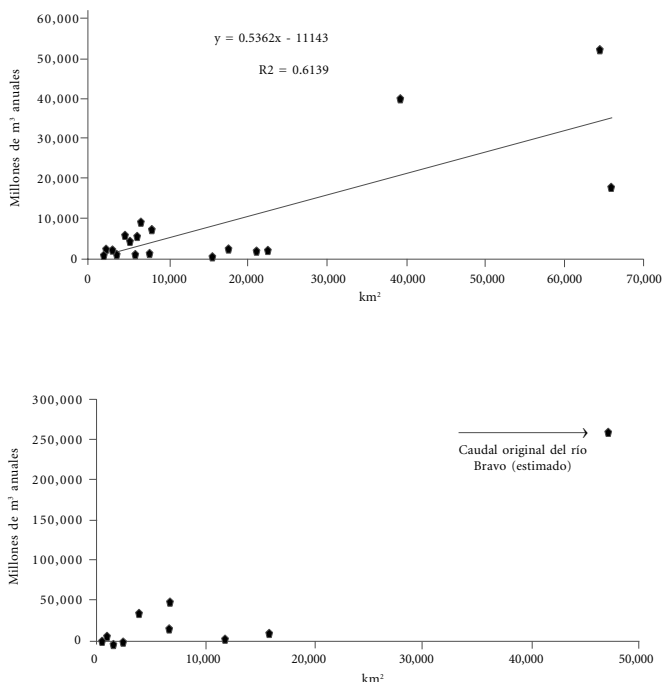
desde hace 40 años se ha incrementado la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en casi todos los ríos, y de acuerdo con Berner y Berner (1996) el incremento de nutrientes puede estar en factores de 2 ó 3, razón por la cual en las franjas costeras es cada vez más común el fenómeno de eutrofización.

Berner (1996) señala para el Golfo de México que las descargas del río Pánuco se inician de manera artificial desde la Ciudad de México, y son de impacto potencial por sus aportes de drenaje antropogénico o de aguas residuales de campos agrícolas.

Por su parte, el caudal "teórico original" del río Bravo se estima considerando la tendencia de los ríos de la parte superior de la figura, tomando en cuenta el área total de la cuenca.

El río más importante por su descarga de sedimentos en condiciones originales era el río Bravo. Tamayo (2002) considera que su caudal actual, en el lado mexicano, es de unos 5,000 millones de metros cúbicos anuales. Las mediciones actuales que se hagan de los escurrimientos en territorio mexicano más los del territorio estadounidense ya no pueden ser similares a los caudales

FIGURA. 2. CAUDAL DE LOS PRINCIPALES RÍOS QUE DESCARGAN SUS AGUAS, SEDIMENTOS, NUTRIENTES Y CONTAMINANTES AL GOLFO DE MÉXICO



Los datos de caudales y áreas de cuenca con la cual se construyó la gráfica de arriba corresponden a los ríos: San Fernando, Soto la Marina, Tamesí, Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Actopan, La Antigua, Jamapa, Blanco, Papaloapan, Coatzacoalcos, Tonalá, Mezcalapa, Alto Grijalva, Macuspana, Usumacinta, Candelaria y Champotón
Fuente: Tamayo 2002.

originales, considerados como los previos a cualquier represaminento. No obstante, se podría estimar que su caudal original, antes de ser modificado por las actividades humanas, pudo ser del orden de 250,000 millones de metros cúbicos anuales (figura 2). De hecho, es uno de los ríos más largos de Norteamérica ya que su longitud rebasa los 3,000 km y se inicia desde las

montañas San Juan, del estado de Colorado y constituye una frontera natural entre la República Mexicana y el estado de Texas. Entre sus principales usos está el consumo de agua potable y la agricultura. Las aguas de desechos urbanos y los pesticidas usados en la agricultura son vertidos hacia el río Bravo.

La falta de sedimentos terrígenos causa erosión continua y como resultado de ésta, es de esperarse un retroceso de la línea de costa, derivado de la actividad antropogénica.

EL PERFIL DE PLAYA

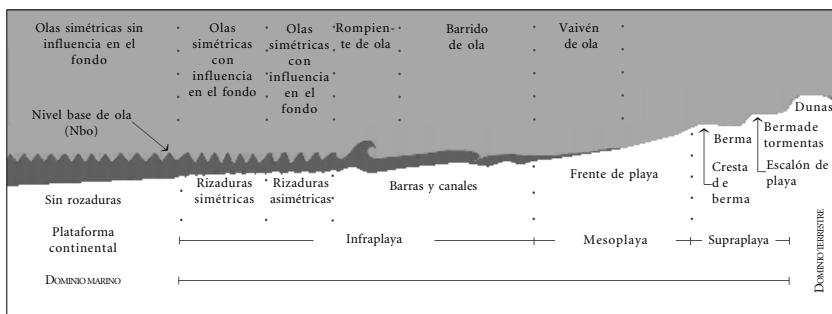
En México y en el resto de los países de habla hispana (más de 310 millones de habitantes), no hay una terminología uniforme con respecto a los diferentes rasgos asociados con el perfil de playa. Los 18 países cuya lengua materna es el castellano suman un total de 45, 000 km de litorales (considerados en línea recta). Tomando en cuenta estos hechos, Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994) hicieron una propuesta sobre terminología de las zonas de las playas, ya que el ambiente de playa es muy sensible a los cambios naturales y antrópicos, por lo que es básico contar con términos aplicables a sus distintos rasgos.

En la figura 3 aparece una síntesis modificada de dicha propuesta, en la cual se inserta la presencia del nivel base de ola (Nbo) como un sitio que da inicio a la playa, yendo de mar hacia tierra. De acuerdo con Komar (1976) una playa está constituida por material no consolidado, el cual entra en movimiento una vez que el oleaje empieza a "sentir" fondo. Es precisamente en el nivel base de ola donde sucede esto y como el nivel base de ola es bastante variable, el límite inferior de la playa también lo es. En el extremo opuesto se encuentra el límite superior, el cual puede estar determinado por la presencia de dunas, construcciones, vegetación, afloramientos rocosos, etc.

LAS PLAYAS DEL GOLFO

El perfil de las playas (figuras 4 a 9) del Golfo de México es muy variable. A continuación se discuten diversas playas de cada uno de los estados del Golfo. En el caso de Tamaulipas se resalta que ahí existen los perfiles más largos, los cuales están asociados con el Delta del río Bravo. La playa más extensa es la de Bagdad en Matamoros, la cual tiene un ancho mayor a los 250 metros. El color de las arenas de playa varía entre café pálido, gris claro e incluso

FIGURA. 3. EL PERFIL DE PLAYA



Nbo = nivel base de ola. De las tres zonas de playa, generalmente la de mayor extensión es la infraplaya.

Fuente: Modificado de la propuesta de Carranza y Caso 1994.

blanco cuando el contenido de fragmentos de conchas de moluscos (gasterópodos y pelecípedos) es alto. La composición es principalmente de subfeldsarenita, lo que refleja el alto contenido de cuarzos y feldespatos.

A medida que se incrementa la distancia del centro del Delta del río Bravo el ancho de la playa tiende a disminuir y la pendiente del frente de playa se incrementa. Asimismo, se observa que el tamaño de las partículas es menor en pendientes suaves y aumenta en pendientes mayores, excepto cuando se trata de fragmentos biogénicos, cuyo tamaño resulta independiente de la pendiente del frente de playa. Las clases dominantes de sedimentos terrígenos se encuentran en el rango de arenas finas.

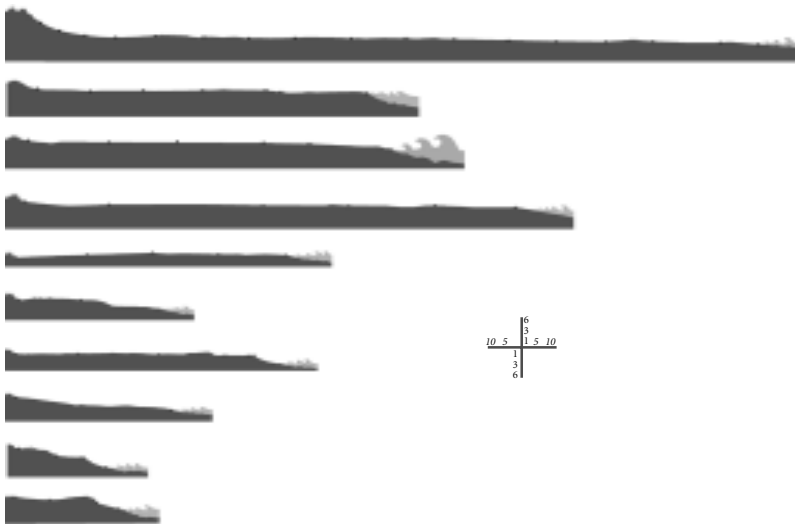
La clasificación del sedimento terrígeno tiende a variar desde muy bien clasificado a moderadamente clasificado; no obstante, en las arenas de la porción sur del estado hay una mayor tendencia a la mala clasificación, en particular en las arenas de las playas La Industria, La Pesca, Barra del Tordo y Miramar (figura 4). Esto es debido a la presencia de los fragmentos de conchas, los cuales a su vez son frecuentes hacia las zonas de influencia del ambiente de laguna costera.

En las arenas de las playas de Veracruz los cambios en composición son mayores que para el estado de Tamaulipas, toda vez que existen cuatro dominios geológicos distintivos: i) porción sur de la Cuenca de Tamaulipas, ii) extremo

oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (Kasper-Zubillaga *et al.* 1999), iii) Cuenca de Veracruz y iv) Macizo Volcánico de Los Tuxtlas. Las provincias volcánicas favorecen que en el litoral veracruzano haya una mayor exposición de litoral rocoso que en el resto de los estados del Golfo.

De acuerdo con Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) las arenas de

FIG. 4. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE TAMAULIPAS
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)



playa del estado de Veracruz se pueden subdividir en dos grandes grupos: a) arenas asociadas con una fuente de rocas volcánicas y b) arenas asociadas con áreas no volcánicas. Ambos dominios pueden ser discriminados utilizando índices de madurez e índices de procedencia.

Por otro lado, a medida que se alejan los dominios volcánicos las arenas de las playas son más ricas en cuarzo, debido a un largo transporte fluvial. El tipo de fauna bentónica litoral se asocia con los diferentes tipos de sedimentos, según Méndez-Ubach *et al.* (1986). Hacia la porción media del estado y en la región de Los Tuxtlas, tanto la llanura costera como la plata-

forma continental son estrechas y relacionadas con actividad volcánica del Cuaternario. Las cuencas que drenan hacia el mar cruzan por terrenos donde hay una fuerte dominancia de afloramientos sedimentarios (con índices de madurez y de procedencia altos) y volcánicos (índices de madurez y procedencia bajos), según Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995).

La Playa de la Barra (figura 5) presenta un perfil con un frente de playa cóncavo que sugiere un estado erosivo (lámina 1), siendo además esta playa la más angosta de las muestreadas en el litoral veracruzano.

Los perfiles de playas de Tabasco muestreados son de menor anchura que los de Tamaulipas y Veracruz. Las muestras de arenas de las playas tabasqueñas son las que tienen un mayor carácter terrígeno. La gran carga procedente de los ríos Grijalva, Usumacinta y Tonalá hace que las aguas costeras sean turbias, inhibiendo la precipitación de carbonatos. Por otro lado, el tamaño de las arenas varía de fino a muy fino, lo que hace que estas arenas sean de potencial interés económico, ya que es en los tamaños más pequeños y mejor clasificados en los que se concentran minerales pesados (Carranza-Edwards 1991), tales como la ilmenita y la magnetita (Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards 2002). Cabe mencionar que en las playas del estado de Tabasco no se han encontrado sitios de anidación para tortugas marinas, lo que tal vez se pueda explicar por los excesos de cargas de sedimentos fluviales, principalmente arenosos finos y lodosos.

En una de las playas de Tabasco (Pailebot) se encontró en la supraplaya un horizonte de chapopote (lámina 2) que se pudo deber al derrame que tuvo el pozo Ixtoc.

En contraste, las playas de Campeche exhiben sedimentos litorales que se enriquecen en carbonatos a medida que se incrementa la distancia a la desembocadura de los ríos Grijalva y Usumacinta. La región carbonatada de las playas de Campeche forma parte del litoral de la Península de Yucatán. El litoral terrígeno es parte de la unidad morfotectónica continental III, definida por Carranza-Edwards *et al.* (1975), pues dicha unidad está comprendida desde Coatzacoalcos, Veracruz hasta la porción oriental de la Laguna de Términos, Campeche. Es en la porción oriental de la Laguna de Términos donde Ayala-Castañares (1963) describe un aumento en los aportes de carbonato de calcio.

Posteriormente Carranza-Edwards *et al.* (1993) definen el límite de 50% de carbonatos en la plataforma continental justo frente a la porción intermedia de la Isla del Carmen. No obstante, según Carranza-Edwards (2001) el límite entre arenas carbonatadas y terrígenas está desfasado hacia el po-

FIGURA 5. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE VERACRUZ
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

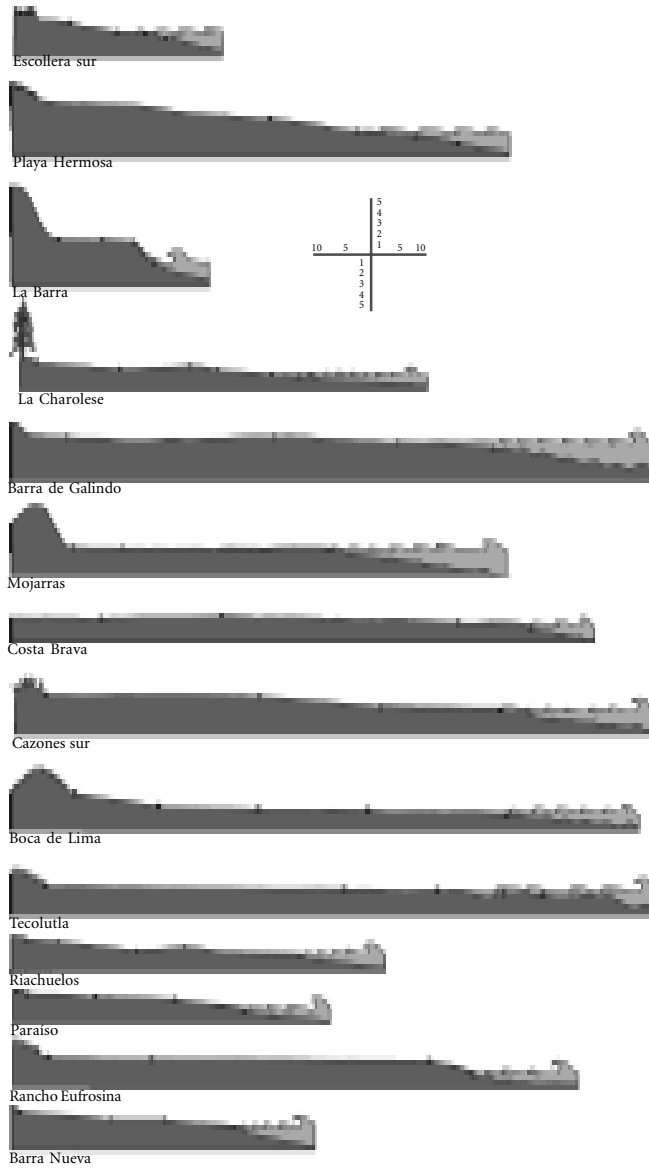


FIGURA 5A. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE VERACRUZ
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2x)

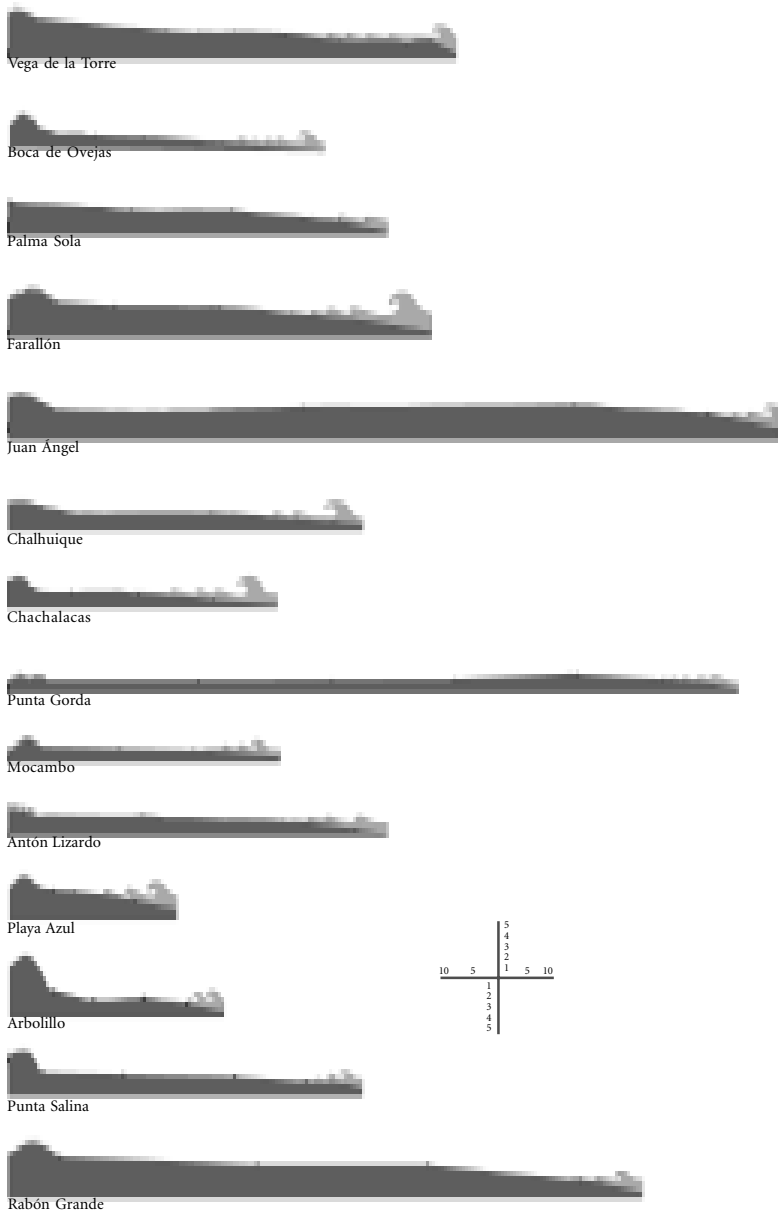


LÁMINA 1. EROSIÓN EN LA BARRA, VERACRUZ



niente, en la playa La Gloria (figura 8), lo cual significa que el transporte litoral de arenas carbonatadas ejerce influencia hacia el poniente de Boca del Carmen, y a medida que se profundiza la batimetría costera el límite se desplaza hacia el oriente. Los sedimentos arenosos de la playa de Campechito son terrígenos, los de La Gloria son biógenos y terrígenos, y desde Playa Norte hasta Playa Bonita se trata de sedimentos ricos en carbonato de calcio. La Playa Campechito se erosiona y para su protección se utilizan "pali-zadas". De hecho esta playa se encuentra en el área de influencia erosiva del antiguo delta del río San Pedro y San Pablo, y aparentemente existe una tendencia geológica de migración del cauce del río Usumacinta hacia el poniente. El actual delta del río Grijalva es un rasgo constructivo, mientras que el delta inmediato al oriente se encuentra en erosión, como se puede observar en diversas imágenes de satélite.

En general las playas de Campeche son más angostas que las playas de Tabasco.

FIGURA 6. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE TABASCO
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

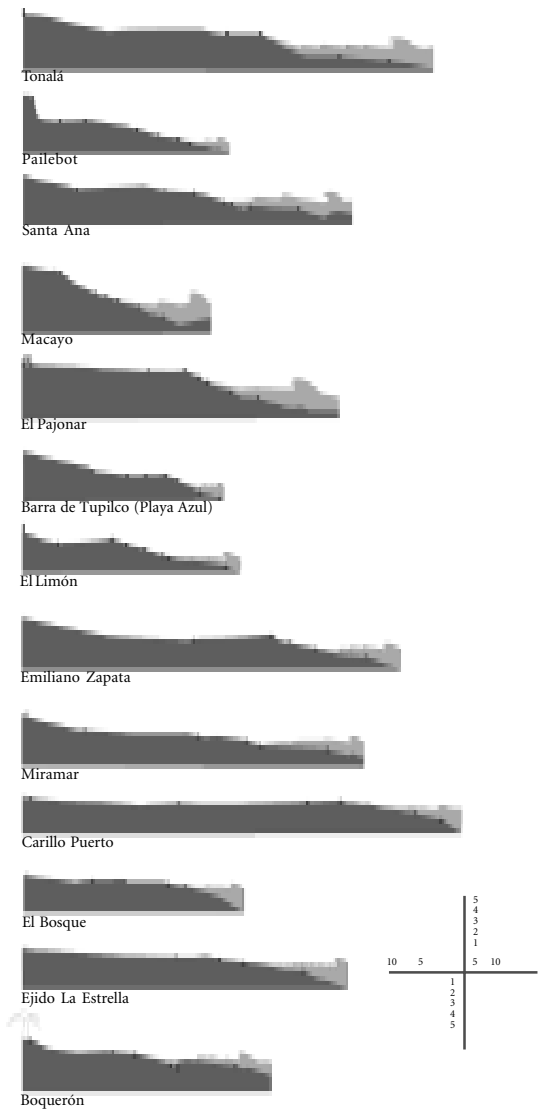


LÁMINA 2. HORIZONTE CON CHAPOPOTE EN UNA PLAYA DE TABASCO,
UBICADA FRENTE AL POZO IXTOC



Las seis localidades de playas muestreadas en el estado de Yucatán son variables en anchura, siendo la más angosta la de Dzilam de Bravo y la más amplia la de Chicxulub. Todas son carbonatadas y en ellas es frecuente observar fragmentos de conchas de moluscos gasterópodos y pelecípedos, principalmente. (lámina 3)

La composición de los sedimentos de las playas carbonatadas de Campeche y de Yucatán corresponde a clarciruditas y calcarenitas, la mayoría de las veces mal clasificadas hacia la infraplaya, mientras que en la mesoplaya y la supraplaya están mejor clasificadas. En Yucatán predominan las calcarenitas medias y finas, moderadamente bien clasificadas y la mayoría de los sedimentos van de simétricos a gruesos, debido principalmente a la influencia de fragmentos de conchas (Nolasco-Montero y Carranza-Edwards 1988). Los sedimentos de Yucatán están mejor clasificados mientras son más finos. Los vientos conocidos como

FIGURA 7. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE CAMPECHE
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)

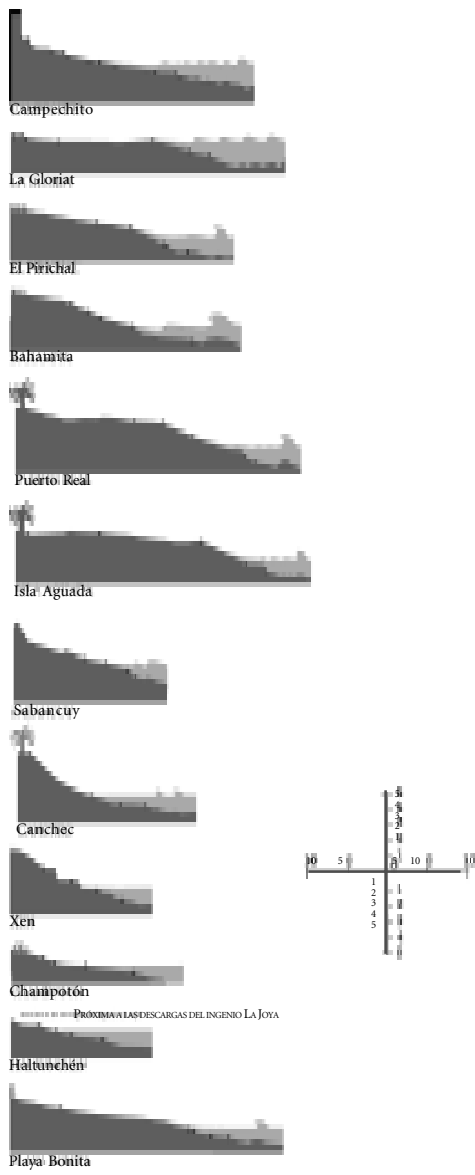
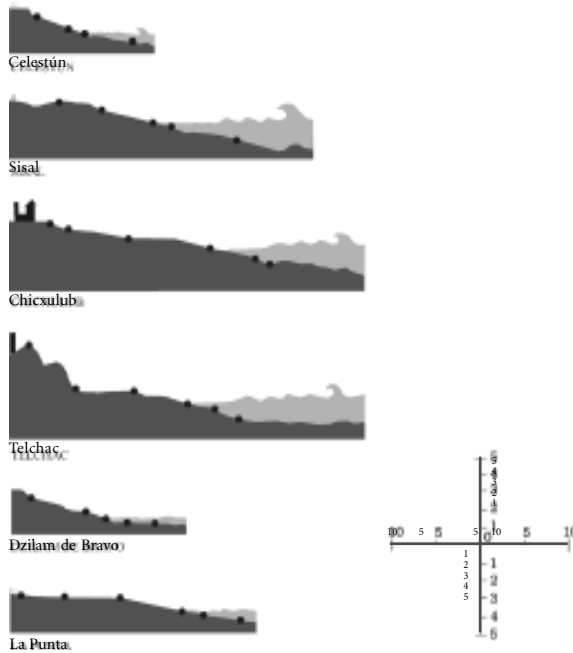


FIGURA 8. PERFILES DE PLAYA CORRESPONDIENTES AL ESTADO DE YUCATÁN
(EXAGERACIÓN VERTICAL = 2X)



Nortes producen marejadas de gran intensidad, que pueden ser la causa de que los perfiles de las playas yucatecas sean angostos.

Uno de los aspectos más importantes de las playas es su relación con los sitios de anidación de tortugas. De acuerdo con Márquez-M. (en prensa) las tortugas que desovan en el Golfo de México son: blanca (*Chelonia mydas*), caguama (*Caretta c. caretta*), carey (*Eretmochelys i. Imbricata*), lora (*Lepidochelis kempi*) y laúd (*Dermochelys c. coriacea*). Con excepción del estado de Tabasco, en el resto de los estados del Golfo hay sitios de anidación de tortugas marinas. En cambio, en el estado de Tabasco hay solamente anidación de tortugas de pantano. En Yucatán existen playas ricas en carbonatos, y ahí se reporta la anidación de las tortugas blanca, caguama, carey y laúd. Aparentemente la presencia de playas carbonatadas puede ser de im-

portancia para la anidación de algunas de estas especies . Uno de los sitios ricos en anidación de tortuga lora es Rancho Nuevo, Tamps., donde se han logrado con éxito implantes de huevos de esta tortuga en Isla del Padre, ya que las condiciones geológicas son parecidas a la de Laguna de Tamiahua. Además de las condiciones geológicas, seguramente se habrán de considerar otros parámetros tales como clima, fisiografía, pendiente de playa, contenido de carbonatos, etc.; de ahí la importancia del trabajo interdisciplinario.

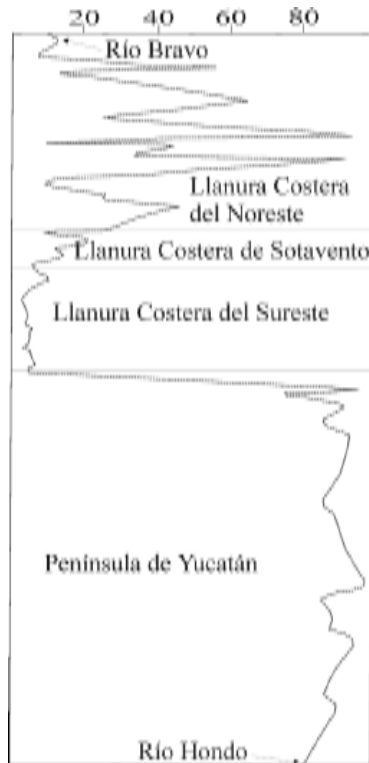
SEDIMENTOS CARBONATADOS

En la figura 10 se aprecia el contenido de carbonato (Carranza-Edwards *et al.* 1996) de las arenas del frente de playa de 68 localidades de playas muestreadas dentro del proyecto "Sedimentología de playas de México". Se incluyen muestras de sedimentos del frente de playa desde el río Bravo, en Tamaulipas, hasta el río Hondo en Quintana Roo. En la Llanura Costera del Noreste se aprecia una gran variabilidad en el contenido de carbonatos, la que parece corresponder con la influencia del ambiente de laguna costera.

LÁMINA 4. ESTRATIFICACIÓN MASIVA CON UN HORIZONTE DE CONCHAS EN CANCHEC, CAMPECHE



FIGURA 9. PORCENTAJE DE CARBONATOS (EN PORCENTAJE) EN LAS ARENAS DE PLAYA, DESDE EL RÍO BRAVO, TAMPS. HASTA EL RÍO HONDO, Q. ROO



La zona deltáica del río Bravo presenta valores bajos de carbonatos, pero las barras arenosas que delimitan a la Laguna de Tamiahua, y que se forman también por la sedimentación deltáica, se ven interrumpidas ocasionalmente, generándose condiciones propicias para el enriquecimiento de carbonatos por influencia de sedimentación de origen marino. Si se compara la composición de los sedimentos litorales con la sedimentación terrígena de la plataforma proximal (figura 11), se observa cierta correspondencia, toda vez que la plataforma continental está caracterizada por limos y arenas

cuando se trata de regiones de influencia terrígena. En cambio, en las zonas arrecifales o en la región de sedimentos carbonatados de la Plataforma de Yucatán, la parte superior de la plataforma presenta sedimentos que varían entre limos, arenas y gravas de composición carbonatada.

En la figura 11 se puede apreciar que los sedimentos del piso del Golfo de México son más ricos en carbonatos que los del Pacífico mexicano. Esto se debe por un lado, a la influencia de la provincia carbonatada de la Península de Yucatán, y por el otro, a que los afloramientos de rocas carbonatadas de la Sierra Madre Oriental contribuyen al aporte de carbonatos a través de los productos de lixiviación. En la misma figura 11 se observa el área de influencia deltáica de los sedimentos procedentes del río Bravo.

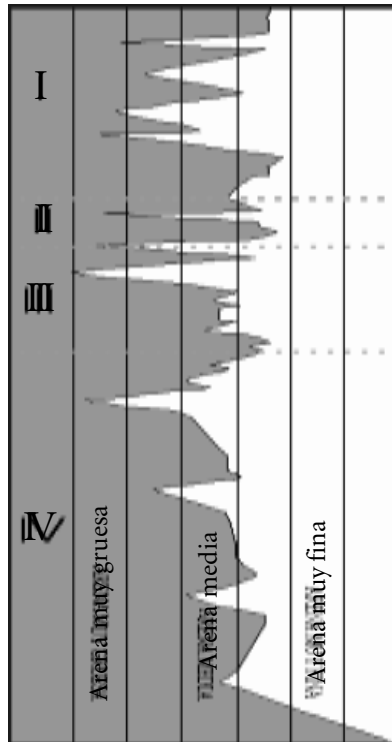
El tamaño de partícula es muy variable en los sedimentos litorales (figura 12), y aún cuando hay una mayor abundancia de arenas gruesas, medias y finas, algunas de las muestras pueden estar en los rangos de arenas muy gruesas o de arenas muy finas. En la figura 12 se observa que en la porción inferior (extremo caribeño de la unidad morfotectónica IV) (Carranza-Edwards *et al.* 1975), hay arenas muy finas que se asocian con la corriente Sur-Norte de Quintana Roo, la cual al ser de alta energía favorece la formación de calcarenitas. En contraste, los sedimentos terrígenos del delta del río Bravo son homogéneos, como se ve en la parte superior de la unidad morfotectónica I. En general la variación hacia tamaños gruesos parece deberse en la mayoría de los casos a la influencia de biógenos, los cuales también se asocian con altos valores de carbonatos.

LOS PRINCIPALES DESASTRES NATURALES

Debido a fenómenos naturales cabe la posibilidad de que materiales de diversos tamaños y composiciones sean llevados de manera repentina hacia las playas con la consecuente alteración del medio. En el Golfo se presentan huracanes (figura 13), los cuales han sido registrados por la SARH (1981) y por la CNA (2003). En dicha figura se vierten las trayectorias ciclónicas, por lo que se puede apreciar que no ha habido una incidencia directa en la porción sur del Golfo, en los alrededores del Macizo Volcánico de Los Tuxtlas. No obstante que en más de 20 años no ha habido una incidencia directa entre el Puerto de Veracruz y la región de Los Tuxtlas, ésta podría ocurrir cuando localmente se den las condiciones meteorológicas apropiadas.

Cuando la trayectoria ciclónica intercepta el litoral, cabe esperar que la profundización del nivel base de ola genere un fuerte incremen-

FIGURA 10. TAMAÑO DE LAS ARENAS DE PLAYA, DESDE EL RÍO BRAVO, TAMPS. HASTA EL RÍO HONDO, Q. ROO



Fuente: modificado de Carranza *et al.* 1996). Los números romanos corresponden con las unidades morfoestructurales según Carranza *et al.* (1975).

to en la energía del oleaje y una zona de gran erosión (representada por el punto B de la figura 14). Esto puede dar como resultado un serio daño para la playa expuesta, ya que en condiciones no ciclónicas la acumulación de sedimentos muy finos se da por debajo del nivel de base de ola promedio.

Es en los sedimentos finos lodosos donde se presentan condiciones propicias para el alojamiento y la concentración de metales pesados. Un fenóme-

no de este tipo puede alterar las condiciones naturales en los sitios de anidación de tortugas. En contraste, en el punto C de la misma figura se pueden presentar azolves por excesos en la sedimentación terrígena, alterándose la sedimentación a la cual está adaptada la fauna bentónica. Esto imprime una situación de estrés en los organismos marinos.

Una de las consecuencias de los huracanes es el desarrollo de inundaciones. Sin embargo, hay que considerar que de cualquier forma las zonas costeras sufren frecuentemente de inundaciones cuando los regímenes pluviométricos alcanzan aumentos repentinos, los cuales se dan con frecuencia en los estados costeros del Golfo y en Quintana Roo. Por ello, es muy importante conocer el relieve de la zona costera y el uso de cartas topográficas, en las cuales se estimen las franjas potenciales de inundación en situaciones de escorrentías máximas, las cuales se pueden presentar aún cuando no existan huracanes. Una medida preventiva para mitigar los desastres por inundaciones es construir casas de dos pisos, en las cuales la planta baja esté vacía y el primer piso cuente con una salida al techo para casos de rescate de pobladores.

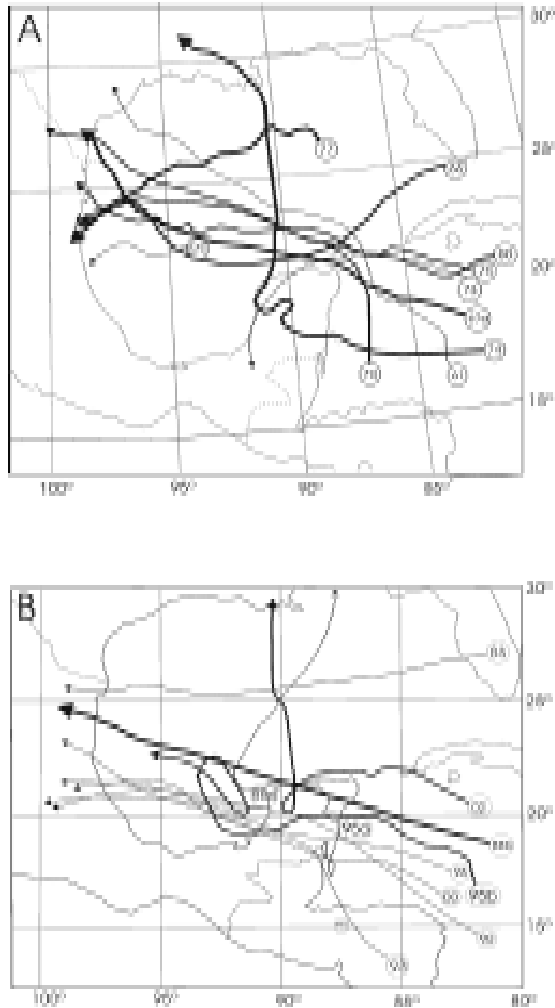
EL DESARROLLO PORTUARIO

De acuerdo con Carranza-Edwards (2002), debido al desarrollo económico y al crecimiento demográfico del país, se requiere de puertos marítimos con mayor capacidad, y que incluso en un futuro próximo el agua tenga que transportarse por barco o por tuberías, desde regiones de alta precipitación hasta regiones áridas. Agrega el mismo autor que la importación y exportación de mercancías se mueven cada vez en mayores volúmenes; además los buques petroleros aumentan continuamente su tonelaje.

Por ejemplo, en el caso de un puerto alterno para Veracruz debería considerarse que la mercancía debe llegar y salir de manera expedita, y por ello hay que evitar que los movimientos de carga y descarga se lleven a cabo dentro o cerca de la ciudad. Además, una desconcentración disminuye el riesgo de contaminación del agua potable por intrusiones salinas, así como el riesgo de contaminación de aguas de desecho, que sería indeseable para la salud de la población y de los corales que se encuentran en la zona de arrecifes ubicada al ESE del Puerto de Veracruz (figura 16).

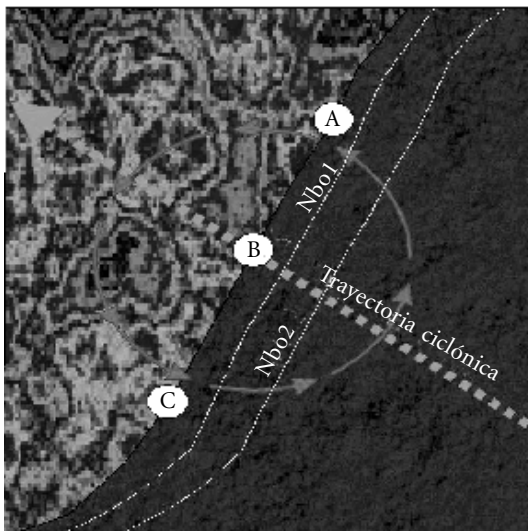
Es importante señalar que los fuertes vientos del norte se presentan año con año, y ello debe considerarse en la selección de la alternativa que se elija; de tal forma que dichos vientos, frecuentes en el área, no afecten a las costas.

FIGURA 13. TRAYECTORIAS DE HURACANES



A) Ocurredos entre 1960 y 1980 (modificado de la SARH 1981): 61.- Carla (5-12 Sep.), 66.- Inés (27 Sep. - 10 Oct.), 67a.- Beulah (8-23 Sep.), 67b.- Fern (2-4 Oct.), 70.- Ella (10-12 Sep.). 73 (Brenda (18-22 Ago.), 74.- Carmen (29 Ago.- 8 Sep.), 75.- Caroline (26 Ago.1º. Sep.), Anita (29 Ago.- 2 Sep.), Allen (1-11 Ago.). B) Ocurredos entre 1981 y 2002 (Modificado de la CNA, 2003): 83.- Barry (23-29 Ago.), 88a.- Debby (31 Ago. 8 Sep.), 88b.- Gilbert (8-13 Sep.), 90.- Diana (4-8 Ago.), 93.- Gert (14-21 Sep.), 95a.- Opal (27 Sep. 6 Oct.), 95b.- Roxane (8-20 Oct.), 96.- Dolly (19-24 Ago.), 00.- Keith (3-5 Oct.), 02.- Isidore (18-25 Sep.). Nota.- 61 = 1961, 02 = 2002.

FIGURA 14. EFECTOS SEDIMENTOLÓGICOS ASOCIADOS CON EL ARRIBO DE LOS HURACANES

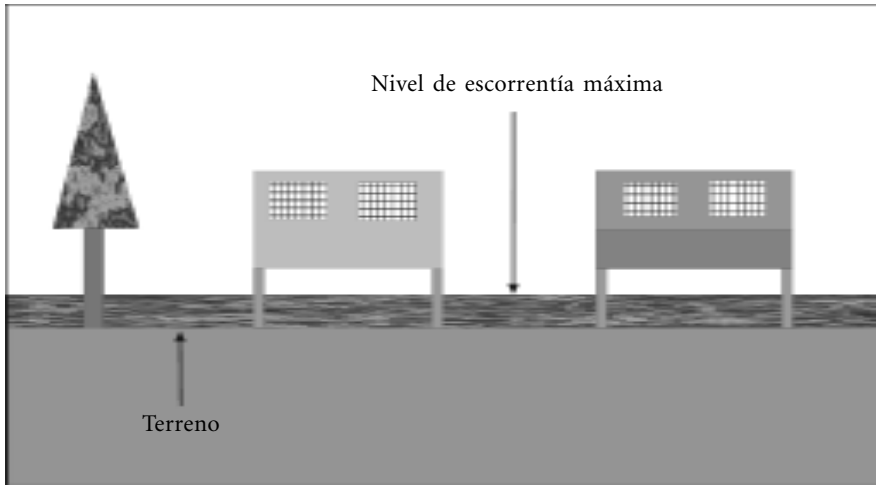


Nbo1 = nivel base de ola antes del arribo del huracán. Nbo2 = nivel base de ola después del arribo del huracán. A = ojo del huracán, B = zona de erosión principal, C = zona de azolve de sedimentos.

Las más afectadas serán las que tengan orientación este-oeste y las menos, las que se orienten norte-sur. Estas últimas tendrán un efecto de acumulación de masas de agua, menor que cuando se presenten mareas por tormentas, las cuales pueden producir inundaciones. El oleaje también afectaría menos a las costas orientadas norte-sur; en caso contrario se podría esperar una mayor pendiente del frente de playa y también una mayor erosión (Carranza-Edwards 2002). Por ello una alternativa que merece analizarse podría estar entre los puntos 7 y 8 de la figura 16, donde se esperaría un punto de equilibrio entre erosión y depósito. Los rompeolas del puerto alternativo deberían "seguir la corriente" a los Nortes, esto es, que su orientación debería ejercer la mínima resistencia al embate de los vientos más fuertes.

La zona sugerida se encuentra al sur de la zona de arrecifes, la cual es una barrera natural que genera una zona de "sombra" que favorece el depósito de sedimentos arenosos (Carranza-Edwards 2002), y además se evitaría que

FIGURA 15. ESQUEMA IDEALIZADO DE CONSTRUCCIONES SUGERIDAS PARA LAS REGIONES VULNERABLES A LAS INUNDACIONES EN LAS ZONAS COSTERAS, EN LAS CUALES SE CONSIDERAN LOS MÁXIMOS NIVELES DE AGUA

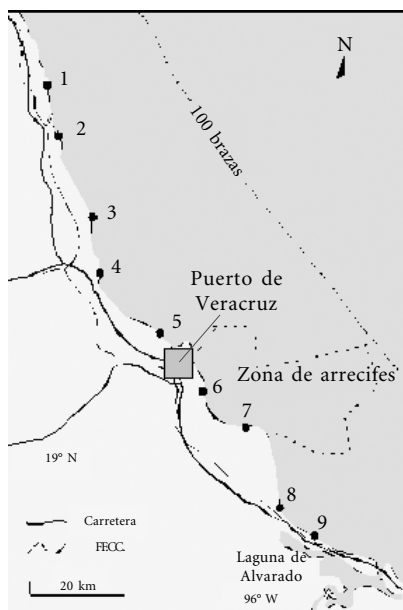


las zonas de arrecifes se vieran amenazadas por las rutas navieras, ya que son nichos ecológicos muy sensibles a las alteraciones antrópicas. Por ejemplo, las embarcaciones que no hayan podido ingresar durante un fuerte Norte en el puerto alternativo sugerido por Carranza-Edwards (2002), podrían fondear afuera de él, y en caso de desastre no chocarían contra la zona de arrecifes, por encontrarse al sur de ella. De esta manera, el desarrollo económico del Golfo de México implica una nueva percepción en lo que se refiere a capacidad portuaria de puertos tales como Tampico, Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos, que en un futuro próximo requerirán de ampliaciones o de sitios alternativos.

LA PROTECCIÓN DE ÁREAS NATURALES

Los arrecifes del Golfo deben protegerse de las descargas de aguas de desechos urbanos o industriales, ya que hay tubos de drenaje que se encuentran próximos a la zona arrecifal (figura 17). Las aguas deben ser tratadas para

FIGURA 16. EN ESTA FIGURA LOS NÚMEROS REPRESENTAN LOCALIDADES DE MUESTREOS PREVIOS Y SE USAN AQUÍ COMO PUNTOS DE REFERENCIA. UNA ALTERNATIVA PARA EL NUEVO PUERTO DE VERACRUZ SE PODRÍA UBICAR ENTRE LOS PUNTOS 7 Y 8, BUSCANDO LA PROTECCIÓN DE LA ZONA DE ARRECIFES Y LA RÁPIDA ENTRADA Y SALIDA DE PRODUCTOS DE IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN



evitar que las bacterias o los sólidos suspendidos, orgánicos o inorgánicos, produzcan daños irreversibles a los corales del Golfo. El cuidado de la calidad del agua que se descargue al medio marino no debe menospreciarse, toda vez que es menos costoso desde el punto de vista ambiental y económico prevenir que mitigar. Asimismo, los dragados que pudieran realizarse al norte de la ciudad de Veracruz son una amenaza latente para los corales, ya que una de las condiciones fundamentales para la vida del coral es la transparencia de las aguas que les rodean.

Según la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, "el ambiente es el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres

humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados". Por ello, el entendimiento de tal conjunto de elementos es un gran reto ya que para acotar su multiplicidad se deben conocer primero los factores y elementos que intervienen. De acuerdo con Carranza-Edwards (2003a), para promover el cuidado del ambiente se han de integrar distintas áreas del conocimiento (humanísticas, científicas, sociales, económicas y de la salud).

EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

El aumento en la concentración de gases invernadero ha generado un aumento en la temperatura de la atmósfera lo que influye en el deshielo de los casquetes polares, que a su vez eleva el nivel del mar. Ésta elevación del nivel del mar tal vez no sea peligrosa para las regiones costeras de gran relieve, pero para las regiones de relieve suave sí constituye una amenaza mayor (Ortiz-Pérez *et al.* 1996). Al menos se perciben dos daños potenciales: a) el retroceso de la línea de costa y b) intrusiones salinas en los mantos freáticos cerca de la línea de costa. El ascenso de algunos centímetros en el nivel del mar puede repercutir en retrocesos de la línea de costa del orden de decenas de metros, dependiendo de la pendiente de las llanuras costeras (Carranza-Edwards 2003b).

En la figura 18 se aprecian las regiones del Golfo de México con mayor grado de vulnerabilidad por el cambio climático global. Se trata precisamente de los lugares donde la cota de 100 m (o de 200 m) se aleja más de la línea de costa. En particular se piensa que, dado el bajo grado de pendiente, la porción norte de la Plataforma de Yucatán y la región de influencia del delta del río Bravo son las zonas que requieren da mayor cuidado y planeación en el desarrollo de obras de infraestructura, dado lo bajo de su relieve. No obstante, debido a represamientos existen actualmente áreas también vulnerables, como las correspondientes a los deltas de los ríos Grijalva-Usumacinta y el delta del río Papaloapan (Ortiz-Pérez *et al.* 1996).

CONCLUSIONES

1. La concentración y el crecimiento de la población en las zonas costeras incrementan el riesgo de intrusiones salinas en las aguas subterráneas, por exceso en los abatimientos del manto freático.
2. El crecimiento demográfico pone en riesgo a la Zona de Arrecifes de

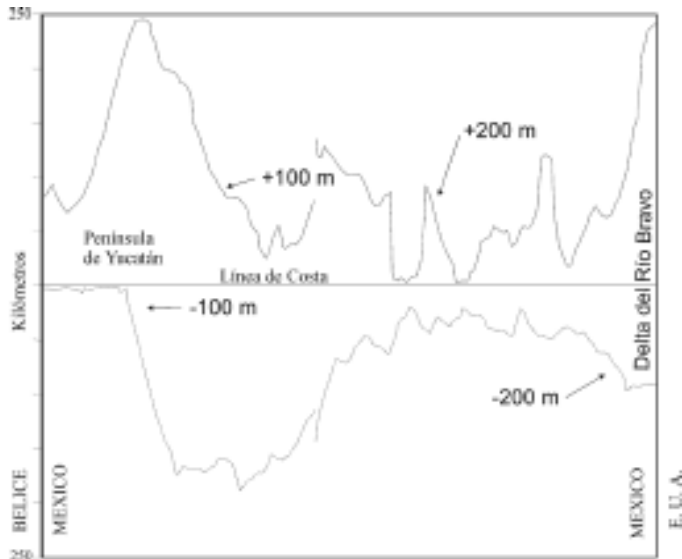
FIGURA 17. EL DRENAJE DE AGUAS DE DESECHO ES UN PELIGRO POTENCIAL PARA LOS ARRECIFES POR SU TURBIDEZ Y POR BACTERIAS PATÓGENAS



Veracruz si no hay un monitoreo y control de los sólidos suspendidos y de las bacterias patógenas, que son comunes en las aguas de desechos municipales.

3. La retención de sedimentos en las presas de los principales ríos que drenan hacia el Golfo es causante de erosión de la línea de costa. Esto, aunado al calentamiento global, hace que las zonas donde se espera un mayor retroceso de la línea de costa sean aquellas donde la pendiente sea más suave, como sucede con los ríos Bravo y Papaloapan.
4. El represamiento de corrientes es causa también de retención de nutrientes naturales, a los cuales la fauna y la flora se han adaptado a lo largo de su evolución. Los contaminantes que arriban a los litorales del Golfo pueden proceder de lugares tan distantes como la Cuenca de México.
5. La zona de infraplaya amerita una mayor atención, pues en su límite con la plataforma continental es donde empiezan a depositarse sedimentos más finos, los cuales son receptores potenciales de contaminantes. Como este límite es dinámico, en condiciones de tormentas o ciclones, los sedimentos se pueden resuspender y ser llevados

FIGURA 18. ELEVACIONES DE LAS CURVAS TOPOGRÁFICAS Y BATIMÉTRICAS EN EL GOLFO DE MÉXICO Y EL CARIBE



hacia la costa, donde pueden impactar al ecosistema litoral.

6. Los desastres naturales más frecuentes en el Golfo de México se deben a los huracanes, los cuales provocan que el nivel base de ola se profundice, generándose tanto problemas de erosión como de azolve.
7. Entre las playas estudiadas la de mayor anchura es la de Bagdad, Tamps. (mayor que 250 m) y la de menor anchura es la de Dzilam de Bravo, Yucatán (del orden de 15 m). Esto se debe a la influencia de los aportes terrígenos, siendo mayor en las playas de mayor anchura.
8. Se puede decir que en la franja litoral, el límite entre playas carbonatadas y terrígenas está dado por la Playa La Gloria, en el estado de Campeche. Al Oeste de esta playa son terrígenas o terrígenas con sedimentos carbonatados, pero el Este son predominantemente carbonatadas.
9. Los sedimentos del Golfo de México son más ricos en carbonatos que

- los del Pacífico, debido a la influencia de la Península de Yucatán y a los aportes fluviales derivados de la Sierra Madre Oriental en la cual son abundantes los afloramientos calcáreos.
10. Asociados con los huracanes y las tormentas tropicales se presentan frecuentemente desastres por inundaciones. Por ello es importante diseñar casas habitación de dos pisos, cuya planta baja esté libre de mobiliario de interés económico.
 11. Dada la complejidad del ambiente litoral su estudio interdisciplinario es prioritario, en particular porque frecuentemente los fenómenos naturales y antrópicos rebasan la capacidad de carga del ecosistema litoral.
 12. El desarrollo económico de México se vincula con la necesidad de contar con nuevos puertos o ampliaciones de los existentes. Un falso ahorro, en el presente puede significar pérdidas en el futuro; en este sentido es mejor prevenir que mitigar.
 13. La protección de tortugas ha de iniciarse desde los sitios de anidación y sus relaciones con el sustrato y los contaminantes que pudieran transportarse hacia la supraplaya durante huracanes requieren de una atención interdisciplinaria.
 14. La riqueza petrolera del Golfo no es eterna, por ello las inversiones para el conocimiento de energía limpia y renovable son prioritarias.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), del Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat y de la Secretaría de Marina por el apoyo brindado durante diversas etapas del trabajo y a la QFB Susana Santiago-Pérez por su apoyo académico así como a todos los alumnos y participantes en el proyecto "Sedimentología de las playas de México" del ICMyL.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Rivera, U., L. Rosales-Hoz, A. Carranza-Edwards, 1986. Heavy metals in Blanco River sediments, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México*, 13(2): 1-10.
- Ayala-Castañares, A., 1963. Sistemática y distribución de los foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos. *Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México*, 67(3):150 pp.
- Berner E. K. and R. A. Berner, 1996. *Global Environment: Water, Air and Gechemical*

- Cycles*. Prentice Hall, New Jersey, 376 pp.
- Carranza-Edwards, A., 2001. Grain size and sorting in modern beach sands. *Journal of Coastal Research*. 17(1):38-52.
- 2002. Opinión sobre el Puerto Alterno de Veracruz. <http://www.tuobra.unam.mx/publicadas/020612140544.html>
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada y R. Rodríguez Torres 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 2(1): 81-88.
- Carranza-Edwards, A. 1991. Perspectivas de los Recursos Minerales del Mar en el México del Siglo XXI. *Revista de Geografía*, vol.III, Núm. 4, enero 1991:66-77.
- Carranza-Edwards, A. y J.E. Aguayo-Camargo 1992. Sedimentología Marina. Carta de Geología Marina (esc. 1:12,000,000) del Atlas Nacional del Instituto de Geografía, Vol. II, Naturaleza.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y M. A. Monreal-Gómez, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Mar. Geol.*, 112: 257-269.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y S. Santiago-Pérez, 1994. Provenance memories and maturity of holocene sands in Northwest Mexico. *Can. J. Earth Sci.* 31: 1550-1556.
- Carranza-Edwards, A. y M. Caso-Chávez, 1994. Zonificación del perfil de playa. *Geo-UNAM*, 2 (2):26-32.
- Carranza-Edwards, A. y L. Rosales-Hoz, 1995. Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Can. J. Earth Sci.* 32:2009-2014.
- Carranza-Edwards, A. y L. Rosales-Hoz, 1995. Grain-size trends and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Can. J. Earth Sci.* 32:2009-2014.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz and S. Santiago-Pérez, 1996. A reconnaissance study of carbonates in Mexican beach sands. *Sedimentary Geology*, 101:261-268.
- Carranza-Edwards, A., 1997. *La granulometría y su uso en estudios ambientales*. Actas INAGEQ, 3: 235-243.
- Cabrera-Ramírez, M.A. y A. Carranza-Edwards, 2002. The beach environment in México as a potential source of placer minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*, 20:187-198.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, M. López-Hernández, y M. A. Cabrera-Ramírez, 2003a. Educación y Cultura Ambiental. III Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental (Symposio V: Educación y Medio Ambiente). Tlaxcala, Tlax., 6 a 10 de octubre de 2003.
- Carranza-Edwards, A., H.L. Macías-González y A. Arias-Paz, 2003b. El Calentamiento global y las intrusiones salinas de la zona costera. IV Congreso Nacional de Aguas Subterráneas, San Luis Potosí, S.L.P., México, 10-12 Septiembre de 2003.
- CNA, 2003. Comisión Nacional del Agua. <http://smn.cna.gob.mx/ciclones>.

- Kasper-Zubillaga, J., A. Carranza-Edwards and L. Rosales-Hoz, 1999. Petrography and geochemistry of holocene sands in the western Gulf of Mexico: implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, 69(5):1003-1010.
- Keller, E.A., 1996. *Environmental Geology*. Prentice Hall, Nueva Jersey, 558 pp.
- Komar, P.D., 1976. *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 429 pp.
- Márquez-M., R., (en prensa). Las tortugas marinas del Golfo de México, Abundancia, distribución y protección. En: *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F.
- Méndez-Ubach, M.N., V. Solís-Weiss y A. Carranza-Edwards, 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del Estado de Veracruz, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):45-56.
- Nolasco-Montero, E. y A. Carranza-Edwards, 1988. Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 15(2):49-66.
- Ortiz-Pérez, A. M., C. Valverde y N.P. Psuty, 1996. The impacts of sea level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gula COSAT, p. 459-470. In: A. V. Botello, J.L. Rojas Galavíz, J.A. Benítez, D. Zárate Lomeli (eds.). *Golfo de México, Contaminación, Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX, Serie Científica, 5, 666p.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y U. Alvarez-Rivera, 1986a. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon system, Veracruz, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):19-28.
- 1986b. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, Mexico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 13(3):263-272.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Arias-Reynada y S. Santiago-Pérez, (1992) 1993. Distribución de metales en sedimentos recientes del sureste del Golfo de México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, Univ. Nal. Autón. México, 19(2): 123-130.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Santiago-Pérez, C. Méndez-Jaime y R. Doger-Badillo, 1994. Study of anthropogenically induced trace metals on the continental shelf in the southeastern part of the Gulf of Mexico. *Rev. Int. Cont. Amb.*, 10 (1): 9-13.
- Rosales-Hoz, L. y A. Carranza-Edwards, 1998. Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60:553-561.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, C. Méndez-Jaime y M.A. Monreal-Gómez 1999. Metals in shelf sediments and their association with continental discharges in a tropical zone. *Marine and Freshwater Research*, 50:189-196.
- SARH 1981. *Trayectorias ciclónicas 1960-1980*. Secretaría de Agricultura y Recursos

- Hidráulicos, México, D. F., 342 pp.
- Tamayo, J. L., 2002. *Geografía Moderna de México*. Editorial Trillas, México, D.F., 512p.
- Yañez-Arancibia, A., 1999. Terms of reference towards coastal management and sustainable development in Latin America. *Ocean and Coastal Management*, 42(1-4):1-28.
- Yañez-Arancibia, A., A.L. Lara-Domínguez, J.L. Rojas, D. Zárate, G. Villalobos, P. Sánchez-Gil, 1999. Integrating science and management on coastal marine protected areas in the Southern Gulf of Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 42(1-4):217-242.

LOS ECOSISTEMAS MARINOS DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA

Gaspar González-Sansón y Consuelo Aguilar-Betancourt

INTRODUCCIÓN

El límite suroccidental del Golfo de México es la región noroccidental de Cuba (NOAA 2003). La entrada y la salida del agua hacia y desde el Golfo de México se produce por estrechos que están limitados, en una de sus orillas, por Cuba. El archipiélago cubano, sin embargo, es típicamente caribeño en lo que se refiere a sus ecosistemas marinos. Por estas razones, puede decirse que las aguas costeras de Cuba constituyen un componente de características muy peculiares en el contexto ecológico marino del Golfo de México. Resulta conveniente, por tanto, realizar una presentación integral de esta región.

Desde mediados de los años 60 hasta mediados de los 80 se realizaron un conjunto de investigaciones que abarcaron toda la región y que permitieron tener una idea general de sus características geológicas, oceanográficas y biológicas (Kondratieva y Sosa 1967, Murina *et al.* 1969, Zenkovich y Ionin 1969, Ionin *et al.* 1972; Buesa, 1974 a, b, c, Pavlidis y Avello 1975, Guitart 1975, Guitart *et al.* 1981, Popowski *et al.* 1982, Lluís-Riera 1983, Fabré 1985, entre otros). Gran parte de los resultados fueron publicados en revistas de circulación nacional y son muy poco conocidos en general, por lo que se les puede considerar en gran medida como “literatura gris”. Posteriormente, la atención de las instituciones e investigadores se volcó hacia otras zonas de la

plataforma cubana con mayor productividad pesquera o vocación para el desarrollo turístico. Recientemente se han reiniciado las investigaciones en áreas específicas de la región noroccidental, pero con un enfoque más localizado y buscando el análisis detallado de la estructura y procesos ecológicos en algunos ecosistemas, principalmente arrecifales (González-Sansón *et al.* 1997 a, b, c, Guardia y González-Sansón 1997 a, b, c, Aguilar y González-Sansón 1998, 2000, Aguilar *et al.* 2000, Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001, Aguilar y González-Sansón 2002, entre otros). Al hacer un balance actual se puede decir que en términos generales la región noroccidental de la plataforma submarina cubana se conoce de manera incompleta en sus aspectos específicos. Por otra parte, los ecosistemas presentes en esta región son típicos de todo el Caribe insular, por lo que resulta posible extrapolar algunos procesos que han sido comprendidos más o menos bien en otras zonas.

El propósito de este capítulo es presentar una revisión crítica de la información existente sobre la región noroccidental de Cuba; proponer algunos procesos básicos que deben regir la dinámica de sus ecosistemas marinos y sugerir algunas líneas de investigación que deberían ser acometidas en el futuro para lograr una mejor comprensión de los procesos ecológicos, el impacto humano y la vía para la conservación y manejo racional de los recursos vivos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REGIÓN

Para los efectos de este trabajo, la región noroccidental de la plataforma insular de Cuba es aquélla que constituye el límite del Golfo de México en su porción suroriental. Esta se ubica entre los 21° 51' 40" y los 23° 8' 52" de latitud norte, y entre los 84° 57' 54" y los 82° 21' 35" de longitud oeste (figura 1). Aquí se incluye lo que la mayoría de los autores cubanos reconocen como "plataforma noroccidental", que se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta la Punta Gobernadora en el extremo occidental de la entrada de Bahía Honda (figura 2), más la porción costera de plataforma muy estrecha que se extiende desde la Punta Gobernadora hasta la entrada de la bahía de la Habana (figura 3). La superficie total estimada de esta plataforma es de 4,050 km², considerando que la misma se extiende desde la línea costera de la marea alta hasta la isobata de 200 m, donde la pendiente del fondo cambia bruscamente y comienza el talud insular, muy inclinado. En su porción oriental (figura 3) es una plataforma muy estrecha que tiene menos de un kilómetro de ancho,

mientras que en su porción occidental (figura 2) es mucho más amplia, llegando a tener más de 50 km de ancho en el Golfo de Guanahacabibes. La profundidad media de esta plataforma es de 4 a 5 metros, aunque en algunos sitios del Golfo de Guanahacabibes se pueden registrar valores de hasta 18 m. En la región existen alrededor de 160 cayos pequeños que en su conjunto forman el archipiélago de los Colorados.

El clima se caracteriza por presentar una estación de lluvias (mayo a octubre) y una de seca (noviembre a abril). Esta última incluye una temporada de nortes o frentes fríos que son más frecuentes en la etapa enero-marzo. Los vientos predominantes soplan desde el este y el nordeste (alisios).

FIGURA 1. REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA



FACTORES ABIÓTICOS

Desde el punto de vista geomorfológico, la plataforma de la región noroccidental es una prolongación de las estructuras emergidas, formadas

La zona costera está formada principalmente por la llanura ondulada del norte, la cual se extiende entre el mar y la cordillera de Guaniguanico con un ancho medio de unos 15 km. A lo largo de toda la costa desembocan numerosos ríos de curso muy corto, el más largo de los cuales es el Mantua (figura 2) con 66 km de longitud y una cuenca equivalente a 293 km² (ICGC 1978). La descarga de estos ríos produce un impacto estacional (en época de lluvias) en zonas relativamente pequeñas de la plataforma cercanas a la costa, por lo que se puede considerar que, de manera general, no existe un efecto notable del escurrimiento desde tierra en la región.

Desde el punto de vista hidrológico, la investigación más completa que existe de la región fue realizada por Lluís-Riera (1983). La información obtenida en una red de 21 estaciones fijas (17 en plataforma y 4 en aguas oceánicas), en la cual se tomaron muestras durante tres cruceros de investigación entre agosto de 1977 y julio de 1978 permitió comprobar los siguientes aspectos (cuadros 1 y 2):

- La columna de agua es considerablemente homogénea debido a una mezcla vertical intensa. Sólo se observó una estratificación ligera en tres áreas costeras muy reducidas durante la época de lluvias (bahía de la Mulata, zona costera cerca de Santa Lucía y bahía de Guadiana, ver figura 2).
- La variación horizontal de la temperatura y la salinidad fue muy moderada, mostrando gradientes débiles en el sentido perpendicular a la costa. Estas variaciones fueron máximas en las zonas costeras mencionadas anteriormente.
- La concentración de nutrientes en la plataforma varió poco, tanto en el sentido vertical como en el horizontal. Los valores fueron en general bajos y similares a los de la región oceánica adyacente. Sólo en las áreas costeras influidas por el escurrimiento desde tierra se observaron valores más altos durante la época de lluvias.
- Las aguas de la plataforma están bien oxigenadas. Las fluctuaciones principales en el contenido de oxígeno se deben a los cambios que ocurren a lo largo del día, como consecuencia de la actividad biológica, especialmente de los pastos marinos.

En la región oceánica adyacente a la parte occidental de la región de interés, García (1981a) consignó temperaturas medias en aguas superficiales (capa de mezcla que se extiende hasta los 50 m de profundidad, según García, 1981b) que variaron aproximadamente entre 29.7 °C (julio) y 24.8

CUADRO 1. VALORES MEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LA TEMPERATURA, LA SALINIDAD Y EL OXÍGENO DISUELTO EN LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL Y LA REGIÓN OCEÁNICA ADYACENTE (CAPA DE 0 A 50 m)

		TEMPERATURA (°C)	SALINIDAD (‰)	OXÍGENO (ML/L)	SATURACIÓN (%)
Crucero CM-1 (Agosto 1977)					
Superficie	Media	28.9	35.8	4.3	99
	Min-max	28.4 – 29.9	35.3 – 36.3	4.1 – 4.4	95 -104
Fondo	Media	28.8	35.8	4.1	102
	Min-max	28.1 - 29.5	35.3 – 36.4	3.7 – 5.2	92 - 110
Océano	Media	28.6	36.2	4.4	102
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-2 (Marzo 1978)					
Superficie	Media	23.8	36.2	4.7	104
	Min-max	21.6 – 25.8	35.3 – 36.5	4.5 – 4.8	94 - 111
Fondo	Media	23.6	36.3	4.7	105
	Min-max	21.6 – 25.3	35.3 – 36.5	4.6 – 4.8	93 - 113
Océano	Media	25.2	36.3	4.6	100
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-3 (Julio 1978)					
Superficie	Media	29.7	35.6	4.3	100
	Min-max	29.0 – 31.0	34.0 – 36.3	4.2 – 4.4	94 -111
Fondo	Media	29.6	35.8	4.3	101
	Min-max	28.8 – 30.9	35.2 – 36.2	4.2 – 4.3	92 -113
Océano	Media	28.8	36.2	4.3	103
	Min-max	-	-	-	-

Fuente: tomado de Lluís-Riera 1983.

°C (febrero), según se deduce de las gráficas presentadas. Siam y García (1981) afirman que la profundidad de inicio de la termoclina varía en esta región de acuerdo a la estación del año, siendo más superficial en verano (35 m en julio) y más profunda en invierno (105 m en enero).

El sistema de circulación superficial de las aguas en la región oceánica adyacente está relacionado con tres corrientes principales:

CUADRO 2. VALORES MEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE LOS NUTRIENTES PRINCIPALES EN LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL Y LA REGIÓN OCEÁNICA ADYACENTE (CAPA DE 0 A 50 M)

		SILICATOS (ÁT- μ G Si/L)	FOSFATOS (ÁT- μ G P/L)	NITRATOS (ÁT- μ G N/L)	NITRITOS (ÁT- μ G N/L)
Crucero CM-1 (Agosto 1977)					
Superficie	Media	9.0	0.24	0.66	0.08
	Min-max	4.7 – 24.6	0.00 – 0.63	0.20 – 1.06	0.00 – 0.16
Fondo	Media	10.0	0.26	0.74	0.08
	Min-max	3.2 – 34.0	0.00 – 0.63	0.16 – 1.02	0.00 – 0.16
Océano	Media	-	0.10	0.74	0.08
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-2 (Marzo 1978)					
Superficie	Media	5.0	0.05	-	0.01
	Min-max	2.7 – 7.2	0.00 – 0.16	-	0.00 – 0.06
Fondo	Media	5.0	0.02	-	0.01
	Min-max	3.2 – 8.2	0.00 – 0.24	-	0.00 – 0.05
Océano	Media	5.0	0.03	-	0.01
	Min-max	-	-	-	-
Crucero CM-3 (Julio 1978)					
Superficie	Media	7.0	-	-	-
	Min-max	5.3 – 23.5	-	-	-
Fondo	Media	7.0	-	-	-
	Min-max	5.4 – 15.8	-	-	-
Océano	Media	5.0	-	-	-
	Min-max	-	-	-	-

Fuente: tomado de Lluís-Riera 1983.

- La corriente de Yucatán, que fluye hacia el norte por el estrecho del mismo nombre. Es común observar una contracorriente hacia el sur cerca del Cabo de San Antonio en el extremo occidental de Cuba (Rossov, 1967, García *et al.* 1991);
- La corriente de Lazo (*Loop current*) que forma un amplio sistema de circulación anticiclónica cuyo borde inferior colinda con la porción

occidental de la región noroccidental de Cuba (Rossov 1967, Gómez 1979). Esta zona se reconoce por una anomalía positiva en la elevación del nivel del mar que resulta casi permanente en los mapas sinópticos elaborados con datos del sistema TOPEX/Poseidon (CCAR 2003). Esta anomalía tiene asociada una circulación anticiclónica que genera una zona de hundimiento en la región oceánica que colinda con la plataforma cubana, la cual ya había sido identificada por Rossov y Santana (1966).

- La corriente de la Florida, que fluye hacia el este cerca de la porción oriental de la región noroccidental. Entre esta corriente y la costa se observa frecuentemente una contracorriente hacia el oeste (Gómez 1979).

Varios autores cubanos consignan para la región noroccidental un flujo general del agua hacia el este, con la presencia de una contracorriente más cercana a la costa hacia el oeste (Gómez 1979, Siam 1988, Victoria y Penié 1998).

En la zona de la plataforma no existen estudios detallados sobre la circulación, pero es de suponer que la acción del viento y las corrientes de marea jueguen un papel primordial en la dinámica de las aguas y la mezcla vertical intensa, aspecto que ha sido comprobado para otras zonas de la plataforma insular cubana (Emilsson y Tápanes 1971). La información disponible indica un intercambio notable de aguas de la plataforma con la región oceánica adyacente (Blázquez 1981). Las mareas son de tipo diurno irregular en la porción central y de tipo semidiurno irregular en los extremos occidental (Golfo de Guanahacabibes) y oriental de la región. La amplitud del cambio entre marea baja y marea alta es muy pequeña y se ubica entre 25 y 50 cm (Rodríguez y Rodríguez 1983).

COMPONENTES Y PROCESOS BIOLÓGICOS

El fitoplancton de la región noroccidental se caracteriza por su baja productividad, debido a la inexistencia de afloramientos o descargas fluviales importantes que influyan de forma efectiva sobre toda la plataforma. Popowski *et al.* (1982) plantean que el alto índice de diversidad específica y la baja concentración de los organismos (entre 3.07 y 23.32×10^6 células/m³) denotan condiciones estables de la columna de agua y baja concentración de nutrientes. Fabré (1985) afirma que estos valores son los más bajos de toda la plataforma cubana. Las diatomeas y los dinoflagelados fueron los grupos dominantes y mos-

traron tallas pequeñas (3-40 mm), típicas de regiones tropicales oligotróficas. Kondratieva y Sosa (1967) estimaron la producción primaria en aguas someras (3-5 m) de la plataforma y obtuvieron valores entre 11 y 244 mg C/m³/día, con un promedio de 78 mg C/m³/día. Estos mismos autores encontraron que la producción en la zona profunda (100 m) cercana al borde de la plataforma osciló entre 153 y 1129 mg C/m³/día, con promedios entre 428 y 927 mg C/m³/día. Estos valores más altos podrían estar relacionados con la existencia de un frente de mareas asociado al borde de la plataforma, aunque un fenómeno de ese tipo no ha sido documentado.

Los valores de producción primaria calculados en la columna de agua por Kabanova y López (1973, en Claro *et al.* 2001) resultaron mayores y presentaron un gradiente de la zona costera hacia el océano con valores desde 200 (cerca de la orilla) hasta 1-19 mg C/m³/día (cerca del borde de la plataforma).

Marikova y Campos (1967) encontraron que la abundancia del zooplancton (dominado por copépodos de tamaño pequeño) disminuye desde la costa hasta aguas oceánicas cercanas al borde la plataforma. En las regiones costeras se obtuvieron valores entre 1,680 y 1,860 ejemplares/m³, mientras que en océano los valores fueron de 40 a 150 ejemplares/m³. Según Fabré (1985), la concentración de organismos zooplanctónicos en esta región es la más baja de toda la plataforma cubana, con valores que oscilaron entre 57 y 120,766 ejemplares/m³. El grupo predominante fue el de los copépodos, representado principalmente por las especies *Paracalanus parvus*, *P. aculeatus*, *Acartia spp.*, *Clausocalanus furcatus* y *C. arcuicornis*. Las investigaciones sobre ictioplancton en la región noroccidental (Orozco 1983) permitieron determinar una concentración baja de larvas de peces, lo que ha sido considerado como una confirmación de la productividad relativamente baja del subsistema pelágico de esta región.

Los lechos marinos de la región pueden ser clasificados básicamente en dos tipos principales: a) fondos con sedimentos no consolidados y que pueden estar desprovistos de vegetación o formar seibadales marinos (conocidos en Cuba como seibadales), dominados por *Thalassia testudinum* y b) fondos rocosos donde abundan los arrecifes de coral.

La fuente de producción primaria principal en los fondos blandos es el macrofitobentos. El 77 % de la biomasa húmeda de este componente está formado por fanerógamas y el 22 % por algas verdes, principalmente del género *Halimeda* (Buesa, 1974b). Entre las fanerógamas, domina ampliamente (75 % del peso húmedo) la llamada hierba de tortuga (conocida

localmente como seiba) *Thalassia testudinum*, la cual forma extensas praderas submarinas (que se denominan localmente seibadales). Buesa (1974b) estimó una densidad media de hojas de *Thalassia* en la zona noroccidental de 152 g/m² y una biomasa total (incluyendo las partes enterradas) de 241 g/m². La tasa de fotosíntesis fue de 4 a 5 ml O₂/mg de peso seco (Buesa 1974c), con un cociente de fotosíntesis/respiración anual promedio de 2.1 (1974a) y un tiempo de duplicación estimado para todos los seibadales de la región equivalente a 57-86 días (Buesa 1974c). Estas cifras indican una producción muy elevada, típica de esta formación vegetal marina, y que en su inmensa mayoría no es consumida fresca y toma la vía del detrito para incorporarse a las tramas alimentarias (Day *et al.* 1989).

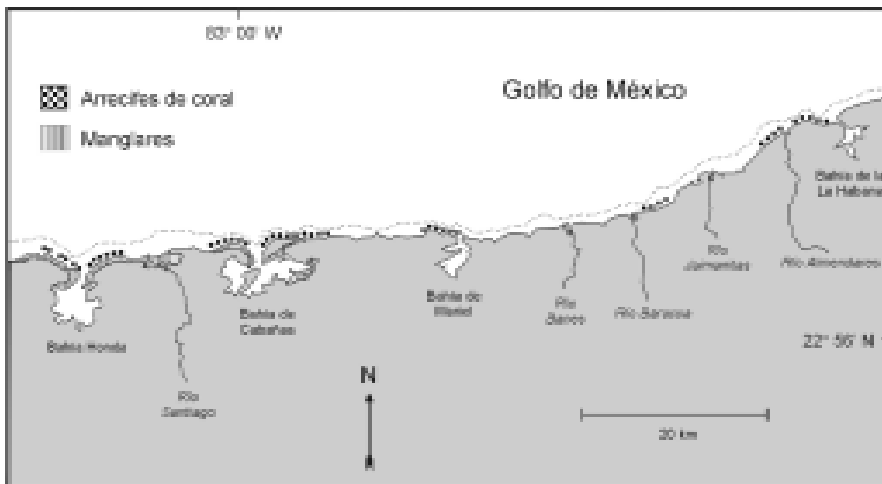
La fauna de los fondos blandos de la plataforma noroccidental ha sido descrita por Murina *et al.* (1969). Las muestras fueron colectadas con dragas y redes de arrastre. Los valores medios de biomasa y número de individuos variaron de acuerdo al biotopo investigado, y fueron máximos en los fondos de arena fangosa cubiertos de *Thalassia testudinum* (69.14 g/m² y 616 ejemplares/ m²) y mínimos en los fondos de arena (14.74 g/m² y 354 ejemplares/ m²). Según los propios autores, la comparación con otras zonas del mundo permite considerar estos valores como bastante altos, lo cual concuerda con la alta tasa de producción primaria consignada anteriormente. Los grupos dominantes por su biomasa fueron las esponjas y los moluscos (36.9 y 34.7 % del total, respectivamente), mientras que por el número de individuos dominaron los poliquetos y los crustáceos (40.3 y 24.2 % del total, respectivamente).

El bentos de los fondos rocosos y el asociado a los arrecifes de coral ha sido estudiado sólo en algunas zonas de la plataforma noroccidental y no existe una investigación que haya abarcado toda la región. En un tramo de 10 km de longitud del sublitoral rocoso al oeste de la entrada de la bahía de la Habana (figura 3), donde la plataforma insular es muy estrecha, se encontró un desarrollo modesto de arrecifes frontales que presentan su mayor desarrollo en la terraza sumergida a profundidades entre 10 y 15 m. Aquí dominan los corales escleractíneos, las esponjas y los gorgonáceos, variando su importancia relativa de acuerdo a las condiciones ambientales, fuertemente influidas por la descarga del puerto habanero y del río Almendares, fuertemente contaminados (Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001). El arrecife costero de la playa Herradura, ubicado a 5 km al este de la entrada de la bahía de Cabañas (figura 3) fue investigado con bastante nivel de detalle. Aquí se pudo comprobar una zonación bien definida, con áreas cubiertas de

gorgonáceos cuya composición específica varía de acuerdo a la profundidad; un área donde dominó *Acropora palmata*; una área donde existen arrecifes de parche pequeños y una zona diferenciada formando una pared, con una composición faunística diferente a las anteriores (Guardia y González-Sansón 1997 a; b; c). En la zona alrededor de cayo Levisa (figura 2) se realizó un inventario de las especies más comunes en los arrecifes de coral (Guardia, comunicación personal). Un análisis comparativo de los grupos principales de invertebrados en los tres sitios mencionados anteriormente, da una idea clara de la variabilidad que puede presentar este componente de la diversidad biológica en la región (cuadro3).

Trabajos similares a los anteriores, y en los mismos sitios, se han realizado para caracterizar la estructura de la ictiofauna de los arrecifes (Aguilar *et al.* 1997, Aguilar y González-Sansón 2000, 2002, González-Sansón *et al.* 1997a, b, González-Sansón y Aguilar 2000, 2002, Aguilar *et al.* en prensa). Un aspecto común en todos los casos es la casi total ausencia ejemplares

FIGURA 3. PORCIÓN ORIENTAL DE LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL DE CUBA



CUADRO 3. COMPARACIÓN DE TRES ÁREAS ARRECIFALES EN LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA, TOMANDO COMO INDICADORES LOS CORALES ESCLERACTÍNEOS, LAS ESPONJAS Y LOS GORGONÁCEOS

COMPONENTE	ZONA COSTERA HABANA	LA HERRADURA	CAYO LEVISA
Indicadores generales			
No. de especies de esponjas	50	15	37
Densidad de esponjas (col/m ²)	5.20	1.09	4.19
No. de especies de gorgonias	25	23	15*
Densidad de gorgonias (col/m ²)	0.90	2.9	5.26
No. de especies de corales	26	29	37
Diversidad de corales**	2.5	3.3	2.9
Densidad de corales (col/m ²)	3.6	10.4	9.0
Cubrimiento de corales (%)	4.4	15.9	25.0
Talla media de los corales (cm)	12.7	33.3	43.2
Especies de coral			
<i>Agaricia agaricites</i>	5.9	22.9	24.0
<i>Porites astroides</i>	14.4	7.4	10.6
<i>Siderastrea siderea</i>	12.0	no	9.0
<i>Montastraea annularis</i>	1.6	18.8	13.9
<i>Siderastrea radians</i>	31.1	14.9***	1.4
<i>Porites porites</i>	0.3	9.1	4.5
<i>Montastraea cavernosa</i>	4.7	3.9	1.8
<i>Millepora alcicornis</i>	3.4	2.9****	4.1
<i>Millepora complanata</i>	3.1	no	3.3
<i>Dicochoenia stokeisi</i>	5.4	0.1	0.4
<i>Diploria strigosa</i>	0.8	1.1	3.2
<i>Eusmilia fastigiata</i>	2.8	1.2	0.8
<i>Meandrina meandrites</i>	2.4	0.5	0.6

* En esta evaluación la identificación de algunos ejemplares se llevo solo a la categoría taxonómica de género. Implica que hay mas especies.

** Índice de diversidad de Shannon (utilizando ln).

*** Incluye *Siderastrea siderea*.

**** Incluye *Millepora complanata*.

Fuente: según Guardia y González-Sansón 1997 a, b, c, Guardia y González-Sansón 2000 a, b, Guardia *et al.* 2001; Guardia, com. pers.

grandes de pargos (Lutjanidae), meros (Serranidae), jureles (Carangidae), loros (Scaridae) y otras especies. La opinión generalizada, tanto entre los científicos como entre los propios pescadores es que la ausencia de estas especies se debe a la pesca excesiva de las mismas, pues hace unos 20 años era frecuente observar individuos grandes de esos grupos en los arrecifes estudiados. Esto hace que actualmente la ictiofauna se pueda considerar modificada con una tendencia a estar dominada por especies pequeñas. El análisis comparativo de la estructura de esta ictiofauna modificada permite concluir que existen variaciones notables entre los arrecifes investigados (cuadro 4). Estas variaciones deben estar inducidas por un conjunto de factores naturales y antrópicos que es preciso dilucidar en un futuro.

La composición de la ictiofauna oceánica en aguas cercanas a la plataforma se puede inferir parcialmente de la composición de las capturas que se realizan con palangre en la porción oriental de la región (tramo entre las bahías de Cabañas y de la Habana) y mediante la pesca deportiva (Guitart 1975, Guitart *et al.* 1981). Las especies más frecuentes son el pez espada o emperador (*Xiphias gladius*), el castero (*Makaira nigricans*), la aguja blanca (*Tetrapturus albidus*), la aguja prieta o voladora (*Istiophorus americanus*) y varias especies de tiburones (*Carcharhinus longimanus*, *C. falciformis*, *C. obscurus*, *Hypoprion sygnatus*, e *Isurus oxyrinchus*, entre otras). Según nuestras propias observaciones, también son frecuentes el dorado (*Coryphaena hippurus*), algunas especies de atunes (Scombridae), el peto (*Acanthocybium solandri*) y el conejo de lo alto (*Alepisaurus ferox*). Como es de suponer, un número aún mayor de especies pequeñas, que no son objeto de actividad pesquera, debe constituir parte de esta ictiofauna.

ECOSISTEMAS MARINOS

Al igual que en la inmensa mayoría de las plataformas insulares de la provincia biogeográfica marina antillana, el ecosistema más característico de la región noroccidental de Cuba es el que se estructura en torno a los arrecifes de coral. En estrecha asociación con el mismo se encuentran los ecosistemas acuáticos asociados a los manglares y a los fondos arenosos o areno-fangosos donde crecen fanerógamas submarinas (seibadales). Actualmente se reconoce la existencia de una fuerte interacción entre estos tres ecosistemas y el complejo manglar-seibadal-arrecife se da como el elemento clave para el análisis ecológico marino de la región caribeña (Ogden 1987, Wells 1995, Caricomp 1997).

CUADRO 4. ESPECIES DE PECES MÁS ABUNDANTES EN TRES ARRECIFES DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA, SEGÚN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR CENSO VISUAL

	COSTA DE		
	CIUDAD DE LA HABANA	LA HERRADURA	CAYO LEVISA
<i>Abudefduf saxatilis</i>	2.0	3.9	1.6
<i>Acanthurus bahianus</i>	10.3	4.8	1.0
<i>Acanthurus coeruleus</i>	3.2	7.0	1.0
<i>Caranx ruber</i>	1.6	5.7	0.0
<i>Chromis cyanea</i>	4.0	2.1	14.2
<i>Chromis multilineata</i>	2.7	0.7	0.9
<i>Clepticus parrae</i>	1.1	0.0	3.9
<i>Granma loreto</i>	0.4	1.2	8.6
<i>Haemulon flavolineatum</i>	4.3	3.4	0.3
<i>Haemulon plumieri</i>	2.1	0.3	1.0
<i>Halichoeres bivittatus</i>	7.0	10.7	1.8
<i>Mulloidichthys martinicus</i>	1.4	5.3	0.2
<i>Pempheris schomburgki</i>	0.3	5.4	0.0
<i>Halichoeres garnoti</i>	2.1	0.7	4.3
<i>Scarus taeniopterus-iserti</i>	0.4	3.1	15.1
Scaridae (juveniles)	1.3	5.0	2.7
<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	2.1	3.9	4.3
<i>Stegastes leucostictus</i>	0.8	0.8	2.6
<i>Stegastes partitus</i>	17.5	1.5	9.2
<i>Thalassoma bifasciatum</i>	26.2	23.4	12.7
Total	90.8	88.8	85.4

Se incluyen aquellas que quedaron entre las 10 más abundantes en cada arrecife. La abundancia se da en términos relativos, como porcentaje en número de individuos con respecto al número total de individuos contados de todas las especies en cada sitio

Fuente: según Aguilar *et al.* 1997; Aguilar y González-Sansón 2000, 2002 y datos no publicados de G. González-Sansón.

Los ecosistemas marinos de la región noroccidental deben presentar importantes interacciones que han sido bien documentadas en otras regiones similares del Caribe (UNESCO 1983). Los manglares juegan un papel esencial en la retención de los flujos de agua dulce y de los sedimentos, creando condiciones para que las aguas se mantengan limpias en la zona costera,

facilitando así el crecimiento de los seibadales y corales. Los seibadales disminuyen la velocidad de la corriente y permiten que el sedimento precipite, ejerciendo un papel también de limpieza del agua. Por su parte, los arrecifes constituyen en muchas partes una barrera efectiva que disipa gran parte de la energía del oleaje, creando zonas de calma a sotavento y permitiendo la acumulación de sedimentos finos, los cuales ofrecen un sustrato ideal para el crecimiento de los seibadales y los manglares. Debido a los procesos de erosión, los corales son también fuente de sedimentos carbonatados que contribuyen a la estabilización de los seibadales.

Los manglares retienen gran parte de los nutrientes que vienen con el escurrimiento, permitiendo así amortiguar los procesos de nutricación y eutrofización que tienen origen terrestre. No obstante, hay un flujo neto de nutrientes desde la orilla hacia los seibadales, lo que incrementa la productividad de los mismos, cuando la carga no es mucha. La entrada de nutrientes inorgánicos desde aguas oceánicas es mínima, por lo que los corales generalmente no sufren eutrofización. Muchos animales que durante el día se refugian en los manglares y en los arrecifes de coral, durante la noche salen a buscar su alimento en los seibadales (langosta, muchos peces de importancia comercial). Estas son migraciones diarias. Por otra parte, un grupo de especies que habitan en los seibadales y arrecifes someros, realizan grandes concentraciones para el desove en la zona cercana al borde de la plataforma, generalmente en puntos con salientes que se adentran en el océano (coronas). Estas son migraciones estacionales. Muchos de los animales que habitan en el arrecife todo el tiempo o se refugian en el mismo, tienen sus áreas de crianza en los manglares (entre las raíces) o en los seibadales. Estas son migraciones a lo largo del ciclo de vida.

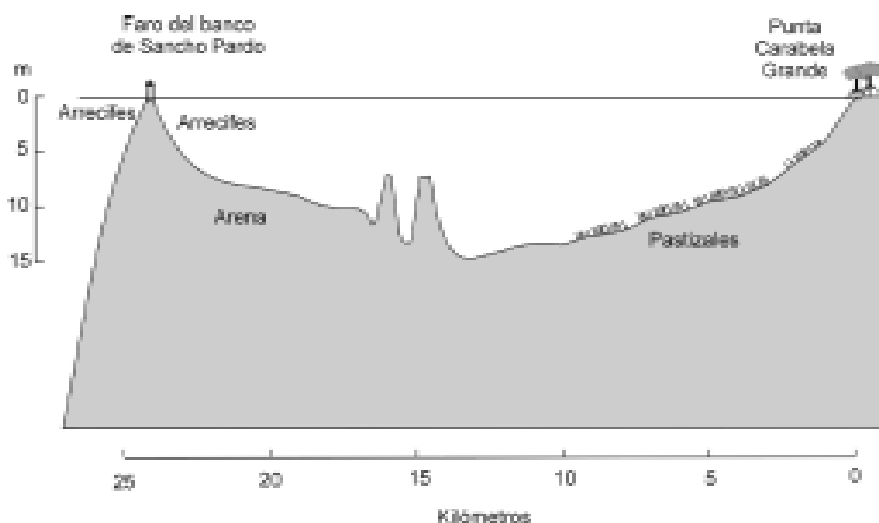
Existen zonas con buen desarrollo de arrecifes en prácticamente toda la región noroccidental, pero la zona más extensa se ubica en el banco de Sancho Pardo, en la porción occidental de la región (figura 2) y se continúa en un sistema arrecifal a lo largo de del borde de la plataforma que es conocido localmente como arrecife de los Colorados. Aunque Pavlidis y Avello (1975) afirman que éste se puede considerar un arrecife de barrera (y el único verdadero de este tipo en todo el archipiélago cubano), parece más apropiado considerar el mismo como un arrecife costero del tipo de banco o si se quiere, de banco-barrera. En esta zona se puede verificar que la disposición de los ecosistemas marinos costeros coincide plenamente con el modelo discutido anteriormente (figura 4). Las interacciones de tipo físico y biológico entre estos ecosistemas que fueron descritas anteriormente deben ser carac-

terísticas de la región.

ACTIVIDAD HUMANA

La pesca es la actividad humana principal que ejerce un efecto amplio sobre los recursos vivos en la región noroccidental. En esta porción de la plataforma cubana sólo se captura el 5 % del total de la pesca comercial del país, y su

FIGURA 4. ESQUEMA DEL PERFIL COSTERO CORRESPONDIENTE A LA ZONA OCCIDENTAL DEL GOLFO DE GUANAHACABIBES



El perfil sigue la línea AA' que aparece en la figura 2.

rendimiento por unidad de área, que es de los más bajos, ha sido calculado en 920 kg/km² (Claro *et al.* 2001). La mayor parte de estas capturas está formada por peces (cuadro 5), aunque se pescan cantidades pequeñas de langosta y moluscos.

La mayoría de las especies de peces con mayor valor comercial (biajaiba, cherna, bonitos) han presentado una tendencia a disminuir en los últimos

años, mientras que especies con menor valor (más pequeñas y de nivel trófico más bajo) muestran la tendencia inversa (mojarras, jureles, otros peces). Esta situación coincide con la caracterización hecha recientemente por Baisre

CUADRO 5. ESPECIES PRINCIPALES EN LAS CAPTURAS COMERCIALES DE LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE CUBA. LAS CIFRAS INDICAN VALORES REPRESENTATIVOS EN UNA SERIE CRONOLÓGICA DE MÁS DE 30 AÑOS (1962 – 1994)

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	T / AÑO	TENDENCIA DE LAS CAPTURAS
Biajaiba	<i>Lutjanus synagris</i>	250	Descendente
Pargo criollo	<i>Lutjanus analis</i>	125	Estable
Caballerote y Cubera	<i>Lutjanus griseus</i> y <i>L. cyanopterus</i>	30	Estable
Rabirrubia	<i>Ocyurus chrysurus</i>	125	Estable
Cherna criolla	<i>Epinephelus striatus</i>	100	Descendente
Roncos	<i>Haemulon</i> spp.	200	Estable
Mojarras	<i>Eugerres</i> spp. y <i>Gerres cinereus</i>	@ 5	Ascendente
Lisas	<i>Mugil</i> spp.	@ 2	Estable
Jureles	Carangidae	35	Ascendente
Bonito y Albacora	<i>Katsuwonus pelamis</i> y <i>Thunnus atlanticus</i>	500	Descendente
Sierra y Serrucho	<i>Scomberomorus</i> spp.	8	Estable
Peces de pico	<i>Xiphias gladius</i> , <i>Makaira</i> spp., <i>Istiophorus</i> spp. <i>Tetrapturus albidus</i>	150	Descendente
Machuelo	<i>Opisthonema oglinum</i>	20	Estable
Tiburones	<i>Carcharhinus</i> spp., <i>Hypoprion sygnatus</i> , <i>Isurus</i> spp., entre otras	500	Descendente
Otros peces		400	Ascendente
Langosta	<i>Panulirus argus</i>	250	Descendente
Moluscos	<i>Crassostrea</i> sp., <i>Strombus gigas</i> , <i>Cassis</i> sp.	400	Descendente
Quelonios	<i>Chelonia mydas</i> , <i>Caretta caretta</i> , <i>Eretmochelys imbricata</i>	300	Suspendidas
Total región		3400	

Fuente: preparado con datos de Claro *et al.* 2001 y Baisre 2001.

(2001) de las pesquerías cubanas en general. Este autor halló tendencias muy definidas a la disminución del nivel trófico y la talla máxima promedios de las especies capturadas en la plataforma cubana. En el caso de la langosta también se ha observado una tendencia al descenso desde que, en 1985-1986, se obtuvieron capturas máximas históricas que sobrepasaron el potencial de captura sostenible máxima (373 t) calculado para la región (Puga *et al.* 1992)

Las tendencias en la actividad comercial, unidas a las observaciones directas realizadas por censo visual (cuadro 4), indican que existen niveles excesivos de explotación de la mayor parte de las especies de alto valor (meros, pargos, loros grandes, carángidos grandes, entre otros) . No existen estadísticas sobre la pesca deportiva y de subsistencia que practican los habitantes de la región, pero es lícito suponer que debe ser muy intensa y, desafortunadamente, muy efectiva, pues incluye la pesca submarina y el empleo clandestino de redes agalleras (cuyo uso está prohibido por la ley).

La disminución en las capturas de especies altamente migratorias (peces de pico y tiburones oceánicos) parece responder a un fenómeno general de sobrepesca de estas especies que trasciende el ámbito nacional (Baum *et al.* 2003). Todas las especies involucradas son capturadas a lo largo de miles de kilómetros en aguas internacionales o de otros países y la regulación de sus pesquerías se hace muy difícil sin algún tipo de colaboración internacional. En concordancia con la tendencia mundial, la pesca de tortugas marinas ha sido suspendida totalmente.

Otro aspecto importante del impacto humano es la contaminación de origen terrestre. En el caso de la región noroccidental, este problema se circunscribe a porciones limitadas de la costa donde, sin embargo, puede llegar a ser muy severo. El caso más notorio es el de la bahía de La Habana que alberga el puerto más importante del país, recibe el impacto de una ciudad muy grande y tiene a su alrededor un desarrollo industrial diverso (Areces y Toledo 1985, González 1991, Beltrán *et al.* 1998). El impacto de las aguas de la bahía sobre la zona costera ha sido documentado en varios estudios sobre la fauna marina (Herrera y Alcolado 1983, Herrera 1984, Alcolado y Herrera-Moreno 1987, Herrera y Martínez-Estalella 1987, Aguilar *et al.* en prensa, entre otros). Otras tres bahías (Mariel, Cabañas y Bahía Honda), de origen y morfología muy similar a la de la Habana, se ubican en el tramo más oriental de la región noroccidental (figura 3). El nivel de contaminación de estos cuerpos de agua es mucho menor y disminuye hacia el oeste, al verse reducida la densidad de las comunidades humanas asentadas junto a ellas y la intensidad

del desarrollo portuario e industrial asociados. Varios ríos de la región también se encuentran contaminados, principalmente aquellos que atraviesan la Ciudad de la Habana y zonas adyacentes (Almendares, Quibú, Jaimanitas, entre otros). El impacto del río Almendares sobre la fauna marina de la zona costera ha sido documentado en una serie de trabajos recientes (Guardia *et al.* 2001, Aguilar y González-Sansón 2002, González-Sansón y Aguilar 2002). Otros ríos de la región presentan también algún grado de contaminación, pero no existen datos publicados que permitan precisar la cantidad y tipo de contaminantes.

Es importante resaltar que en todos los sistemas estuarinos y aquellas zonas de la costa bajo su influencia existe el efecto de una sedimentación incrementada y una tendencia a la eutrofización. Estos son procesos naturales que se pueden ver exacerbados por la actividad humana, principalmente la deforestación y la agricultura. Con el nivel de conocimiento actual no es posible ofrecer una idea, ni aún parcial, de cómo estos factores afectan a los ecosistemas marinos en la región o separar su efecto de la influencia de la contaminación en las áreas más críticas. No obstante, predomina la idea de que los arrecifes de coral, los manglares y los seibadales tienen un buen estado de conservación en general, aunque existe una explotación excesiva de los peces con importancia comercial. Esta idea se basa en el hecho de que la zona costera está, en su mayor parte, muy poco poblada; la actividad agrícola no es muy intensa y no existe un desarrollo industrial o turístico que pueda impactar de forma severa grandes áreas. Por otro lado, existe el criterio de que las aguas de la plataforma (larga, estrecha y orientada convenientemente) se renuevan con gran eficiencia a partir de su interacción con el océano.

Recientemente, se anunció la disposición del gobierno de la República de Cuba a negociar contratos para la exploración de gas y petróleo en las aguas profundas de la zona económica exclusiva de Cuba en el Golfo de México. Esta zona colinda con la región de interés y el posible inicio de actividades de exploración y extracción de petróleo en un futuro cercano constituye un elemento más para promover la investigación de los ecosistemas marinos costeros, en previsión de un posible accidente y la necesidad de tener datos de línea base.

PERSPECTIVAS

La información existente sobre los ecosistemas marinos de la región noroccidental de la plataforma submarina cubana es muy general y está enfocada principalmente a determinar variaciones espaciales en la escala de

las decenas de kilómetros, aunque incluye algunos trabajos dirigidos a la determinación de variaciones espaciales en escalas más pequeñas. Las variaciones temporales han sido investigadas de forma limitada, considerando principalmente las variaciones estacionales. Particularmente notoria es la ausencia de investigaciones que analicen las variaciones inter- anuales en la estructura o el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Además, una parte importante de los artículos más abarcadores son bastante antiguos (publicados hace más de 15 años en su mayoría).

Por los motivos apuntados anteriormente, es necesario promover la ejecución de un proyecto integral encaminado a la evaluación general del estado actual de la diversidad biológica marina en la zona costera de la región noroccidental de Cuba, con el establecimiento de la distribución de los hábitats principales, las amenazas debidas al impacto humano y las acciones recomendadas para la conservación y el uso racional de los ecosistemas y de algunas especies con interés económico o que estén amenazadas.

Un proyecto de esta índole debe balancear apropiadamente la investigación en diferentes escalas espaciales y temporales. Esto implica combinar el uso de las técnicas basadas en sensores remotos y la aplicación de sistemas de información geográfica para elaborar mapas sinópticos de los hábitats a nivel de región, con la investigación detallada a pequeña escala de sectores seleccionados de los ecosistemas principales (manglares y sistemas estuarinos, seibadales y arrecifes de coral). Este nivel permitirá incrementar notablemente el inventario de la diversidad biológica y la realización de investigaciones sobre procesos básicos, entre los cuales se encuentran la producción primaria y su destino en las tramas alimentarias, la ecología de larvas y juveniles asociada a los procesos de reclutamiento, los procesos vinculados al crecimiento de los corales y, en particular, las tasas de calcificación, entre otros.

Dentro de un proyecto como el enunciado anteriormente deben incluirse, con prioridad alta, las investigaciones dirigidas a la determinación del impacto de la contaminación de origen terrestre sobre la ictiofauna marina y estuarina, los corales escleractíneos y las algas, utilizando un análisis en varios niveles de organización (individuos, población y comunidad).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C. y G. González-Sansón. 1998. Variación estacional de la abundancia de juveniles de peces en una zona del sublitoral rocoso de La Habana, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 19(1): 38-45.

- . 2000. Influencia de la contaminación de la bahía de la Habana sobre las asociaciones de peces costeros: I. Abundancia y diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 60-70
- . 2002. Ecología de la ictiofauna costera en la zona adyacente a la desembocadura del río Almendares (La Habana, Cuba): I. Distribución espacial de la abundancia y la diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 3-14.
- Aguilar, C., G. González-Sansón; J. Angulo y C. González. 1997. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. I: Abundancia total. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 223-232.
- Aguilar, C., G. González-Sansón, E. de la Guardia, A. M. Suárez, J. Trelles y J. Angulo. 2000. Inventario de los componentes más comunes de la flora y la fauna del arrecife de coral costero de la Caleta de San Lázaro, región noroccidental de Cuba, en el período de 1996 a 1998. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 53-59.
- Aguilar, C. y G. González-Sansón, Kelly R. Munkittrick y Deborah L. MacLachy (en prensa) Fish assemblages on fringe coral reefs of the northern coast of Cuba near Havana Harbor. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.
- Alcolado, P.M. y A. Herrera-Moreno. 1987. Efectos de la contaminación sobre las comunidades de esponjas en el litoral de la Habana, Cuba. *Reporte de Investigacion, Instituto de Oceanologia* 68, 17 pp.
- Areces, A. and Toledo, L. 1985. Características tróficas de la Bahía de La Habana durante el período de seca. *Reporte de Investigacion, Instituto de Oceanologia* 40, 32 pp.
- Baisre, J. 2001. Chronicle of Cuban marine fisheries (1935-1995) Trend analysis and fisheries potential. *FAO Fish. Tech. Pap.* 394: 26 pp.
- Baum, J.K.; R.A. Myers; D.G. Kehler; B. Worm; S.J. Harley y P.A. Doherty. 2003. Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science* 299: 389-392.
- Beltrán, J., Ruiz, F. and Vega, L. 1998. Contaminación por hidrocarburos del petróleo en la Bahía de La Habana, Cuba. *Revista Científico-Técnica del IIT. Transporte Desarrollo y Medio Ambiente, Cuba* 18, 5 -10.
- Blázquez, L. 1981. Algunos aspectos del régimen de temperatura en la plataforma noroccidental de Cuba y la región oceánica adyacente. *Acad. Cienc. Cuba, Inf. Cient.-Téc.* 171: 28 pp.
- Buesa, R. 1974a. Fotosíntesis y respiración de plantas marinas. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 45-50.
- . 1974b. Biomasa del macrofitobentos de la plataforma noroccidental de Cuba. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 51-54
- . 1974c. Comportamiento biológico de la seiba (*Thalassia testudinum* Koenig, 1805) en Cuba. *Resúmenes Invest. Centr. Invest. Pesq.*, Cuba 1: 66-69.
- CARICOMP. 1997. Caribbean coastal marine productivity (CARICOMP): A research and monitoring network of marine laboratories, parks and reserves. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.* 1: 641-646.

- CCAR. 2003. Gulf of Mexico Near Real-Time Altimeter Viewer, Real-Time Altimetry Project, Colorado Centre for Astrodynamics Research. Disponible en: http://www-ccar.colorado.edu/~realtime/gsfsc_gom-real-time_ssh.
- Claro, R.; K.C. Lindeman y L.R. Parenti (eds.). 2001. *Ecology of the marine fishes of Cuba*. Smithsonian Institution Press, Washington, xv + 253 p.
- Day, J.W.; C.H.S. Hall; W.M. Kemp y A. Yañez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. John Wiley, New York.
- Emilson, I. y J. Tápanes. 1971. Contribución a la hidrología de la plataforma sur de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 9: 1-31
- Fabré, S. 1985. Distribución cuantitativa del zooplancton en la región noroccidental de la plataforma cubana. *Reporte de Investigacion, Instituto de Oceanologia* 31: 37 pp.
- García, C.; A. Chirino y J.P. Rodríguez. 1991. Corrientes geostróficas en la ZEE al sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 12(1-3): 29-38.
- . 1981a. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: I. Aguas superficiales. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 6(2): 1-15
- . 1981b. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: II. Aguas subsuperficiales. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 6(2): 16-35
- Gómez, J. A. 1979. Corrientes geostróficas alrededor de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 4(3): 89-102.
- González, H. 1991. Heavy metal surveys in sediments of five important Cuban Bays. *Biochemistry* **14**, 113-128.
- González-Sansón, G. y C. Aguilar. 2000. Influencia de la contaminación de la Bahía de la Habana (Cuba) sobre las asociaciones de peces costeros: II. Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 71-80
- . 2002. Ecología de la ictiofauna costera en la zona adyacente a la desembocadura del río Almendares (La Habana, Cuba): II. Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 15-25.
- González-Sansón, G.; C. Aguilar; J. Angulo y C. González. 1997a. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. II: Diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 233-240.
- . 1997b. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. III: Análisis multidimensional. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 241-248.
- González-Sansón, G., E. de la Guardia, C. Aguilar, C. González y M. Ortíz. 1997c. Inventario de las especies más comunes de la fauna en el arrecife de coral "La Herradura". *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 193-197.
- Guardia, E. de la y G. González-Sansón. 1997a. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. I. Distribución espacial de

- biotopos. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 198-207.
- 1997b. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. II. Variaciones espaciales del cubrimiento y la densidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 208-215.
- 1997c. Asociaciones de esponjas, gorgonias y corales en los arrecifes de la costa noroccidental de Cuba. III. Variación espacial de la diversidad. *Rev. Invest. Mar.* 18(3): 216-222.
- 2000a. Asociaciones de corales, gorgonias y esponjas del sublitoral habanero al oeste de la bahía de La Habana. I Gradiente ambiental. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 1-8.
- 2000b. Asociaciones de corales, gorgonias y esponjas del sublitoral habanero al Oeste de la bahía de La Habana. II. Índices ecológicos. *Rev. Invest. Mar.* 21(1-3): 9-16.
- Guardia, E.; P. González y J. Trelles. 2001. Macrobentos del arrecife coralino adyacente al río Almendares, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 23(1): 3-14.
- Guitart, D. 1975. Las pesquerías pelágico-oceánicas de corto radio de acción en la región noroccidental de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 31: 26 pp.
- Guitart, D.; M. Juárez y J. F. Milera. 1981. Análisis de las pesquerías deportivas de agujas (Pisces; géneros *Istiophorus*, *Tetrapturus*, *Makaira*) en la región noroccidental de Cuba. *Cien. Biol.* 6: 125-142.
- Herrera, A. 1984. Clasificación numérica de las comunidades de gorgonáceos al oeste de la Bahía de la Habana. *Cien. Biol.* 12: 105-124.
- Herrera, A. y P. Alcolado. 1983. Efecto de la contaminación sobre las comunidades de gorgonáceos al oeste de la Bahía de la Habana. *Cien. Biol.* 10: 69-85.
- Herrera, A. y N. Martínez-Estalella. 1987. Efecto de la contaminación sobre las comunidades de corales escleractíneos al oeste de la Bahía de la Habana, Cuba. *Reporte de Investigacion, Instituto de Oceanologia* 62, 29p.
- ICGC. 1978. *Atlas de Cuba*. Instituto Nacional de Geodesia y Cartografía, La Habana.
- Ionin, A., Y. Pavlidis y O. Avello. 1972. Resumen geológico y geomorfológico de la zona litoral de la costa noroeste de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 11: 14 p.
- Kabanova, Y.G. y L. López-Baluja. 1973. Producción primaria en la región meridional del Golfo de México y cerca de la costa noroccidental de Cuba. *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 16: 34 pp.
- Kondratieva, T.M. y E. Sosa. 1967. Productividad primaria de las aguas cubanas. *Estudios* 2(2): 21-44.
- Lluis-Riera, M. 1983. Estudios hidrológicos de la plataforma noroccidental de Cuba (Zona C). *Instituto de Oceanología, Reporte de Investigación* 13: 31 pp.
- Marikova, V.K. y A. Campos. 1967. Características cualitativas y cuantitativas del zooplancton de la plataforma cubana. *Estudios* 2(2): 63-80.

- Murina, V.V.; V.D. Chujchin; O. Gómez y G. Suárez. 1969. Distribución cuantitativa de la macrofauna bentónica del sublitoral superior de la plataforma cubana (región noroccidental). *Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba*, 6: 14 p.
- NOAA. 2003. *Large marine ecosystems of the world: The Gulf of Mexico*. Disponible en línea: <http://na.nefsc.noaa.gov/lme/text/lme5.htm>.
- Ogden, J.C. 1987. Cooperative coastal ecology at Caribbean Marine Laboratories. *Oceanus* 30(4): 9-15.
- Orozco, M. V. 1983. Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces en la región noroccidental de la plataforma de Cuba (Zona C). *Cien. Biol.* 9: 107-120.
- Pavlidis, Y. A. y O. Avello. 1975. Sedimentos de la plataforma cubana: I. Golfo de Guanahacabibes. *Serie Oceanológica* 30: 17 pp.
- Popowski, G; L. López-Baluja; M. Borrero. 1982. Distribución del fitoplancton en la región noroccidental de la plataforma de Cuba. *Cien. Biol.* 7: 33-51.
- Puga, R.; I. Cortés; M.E. de León; R. Cruz y R. Otero. 1992. Evaluación de la pesquería de langosta (*Panulirus argus*) de la región noroccidental de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 17(1): 1-8.
- Rodríguez, J. P. y J.E. Rodríguez. 1983. Las mareas en las costas cubanas. *Instituto de Oceanología, Reporte de Investigación* 6: 37 pp.
- Rossov, V.V. 1967. Sobre el sistema de corrientes del Mediterráneo americano. *Estudios* 2(1): 31-50.
- Rossov, V.V. y H. Santana. 1966. Algunas características hidrológicas del Mediterráneo americano *Estudios* 1(1): 47-77.
- Siam, C. 1988. Corrientes superficiales alrededor de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 13(1-2): 98-108.
- Siam, C. y C. García 1981. Temperatura de las aguas oceánicas de Cuba: III. Profundidad de inicio de la termoclina en las aguas oceánicas de Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.* 13(1-2): 98-108.
- UNESCO. 1983. Coral reefs, seagrass beds and mangroves: their interaction in the coastal zones of the Caribbean. *UNESCO reports in marine science* 23: 133 p.
- Victoria, I. y I. Penié. 1998. Hidrología. En: M. Vales, A. Alvarez, L. Montes y A. Avila, (eds.). *Estudio nacional sobre la diversidad biológica en la República de Cuba*. PNUMA/CENBIO/IES/AMA/CITMA, La Habana, pp.117-125.
- Wells, S.M. 1995. Science and management of coral reefs: problems and prospects. *Coral Reefs* 14: 177-181.
- Zenkovich, V. P. y A. S. Ionin. 1969. Breve resumen sobre las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la isla de Cuba. *Serie Oceanológica* 8: 22 pp.

Este primer volumen de la obra
Diagnóstico ambiental del Golfo de México
se terminó de imprimir
durante en mes de junio de 2004
en los talleres gráficos de...

Se tiraron 1,000 ejemplares.

