

Tras la pista de los replicadores:  
la transferencia de genes en la naturaleza

FRAY MARTIN BAAS-ESPINOLA<sup>1</sup>, LIZBETH ARIANELLY CASTRO-CONCHA<sup>2</sup>  
Y ALEJANDRA CUEVAS ALCOCER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Biotecnología

<sup>2</sup>Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de plantas  
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY)  
Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205,  
Mérida, Yucatán, México.  
segarfield\_88@hotmail.com

Durante la fecundación, cada uno de los progenitores contribuye con la mitad del material genético para la formación de un nuevo individuo. Esta herencia genética de padres a hijos se da a través de una vía vertical; sin embargo, a diferencia de lo que comúnmente se cree, la transferencia génica horizontal es frecuente en la naturaleza y la tecnología del ácido desoxirribonucleico recombinante, usada para la obtención de los organismos genéticamente modificados, es una tecnología basada en el flujo génico horizontal que se ha tomado de los microorganismos. En este ensayo se diserta sobre las diferentes formas de transferencia génica en la naturaleza.

**Palabras clave:** Microbiotecnología, Organismos Genéticamente Modificados, Reproducción sexual y asexual.

### Introducción

Durante el evento *CICY Casa Abierta* del año pasado, el tema de un grupo de expositores estaba relacionado con una serie de actividades tituladas *Cazadores de genes*, cuya finalidad fue explicar, a grandes rasgos, el proceso general para la búsqueda de un gen con potencial para la resistencia contra algún patógeno y la posterior generación de un organismo genéticamente modificado (OGM). Al inicio de nuestra charla hacíamos un pequeño interrogatorio para censar la opinión sobre el tema de los transgénicos, con el objetivo de evaluar el impacto de nuestra actividad de divulgación científica

sobre la forma de pensar de los participantes. La mayoría manifestó su rechazo, usando diferentes argumentos, pero un comentario en particular nos alentó a escribir este artículo, y este fue el siguiente: ¡Que era algo antinatural! En el caso de algunas nuevas tecnologías (como la energía nuclear), su uso conlleva algunos riesgos o peligros, que se sobredimensionan cuando se desconocen los fundamentos o fenómenos físicos o biológicos sobre los que se basan, que podría desembocar en miedo. Aunque el peligro es una verdad objetiva, el miedo no lo es necesariamente. Los organismos transgénicos o sus productos derivados, que han sido satanizados, se utilizan y consu-

men en diversos países por millones de personas y no hay evidencia científica concluyente de que causen daños a la salud (Mathur 2018). Aquí se describe la transferencia génica vertical (de padres a hijos) y algunos ejemplos de transferencia horizontal comunes en la naturaleza, se define el concepto de la transgénesis y se señalan los paralelismos entre la transferencia horizontal natural y artificial, con la finalidad de despejar algunas dudas, miedos y prejuicios hacia los OGM's.

### Los replicadores

¿Qué tienen en común la gripe, el sexo y la generación de una planta transgénica? La respuesta es que los tres casos involucran una transferencia de información genética.

El juego completo de la información, heredable, necesaria para la construcción de un nuevo organismo se encuentra en su genoma, que es una inmensa secuencia de ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN es un polímero de nucleótidos que está compuesto por una base nitrogenada (adenina, guanina, timina y citosina), un glúcido (la desoxirribosa) y un grupo fosfato. El genoma incluye ADN cromosomal, así como de los plásmidos y, en eucariontes, ADN organelar, como el de las mitocondrias y cloroplastos. Físicamente el genoma se puede dividir en diferentes moléculas de ADN o cromosomas y, para fines prácticos, el genoma se ha dividido funcionalmente en genes (o replicadores), que son la unidad molecular de la herencia genética. Éstos son unidades discretas de ADN que codifican para productos funcionales, como las proteínas, por ejemplo. El producto de la expresión de una secuencia de nucleótidos del genoma, determina el desarrollo de un or-

ganismo. Por una compleja serie de interacciones que define la regulación de la expresión genética, las secuencias de ADN producen todas las proteínas de un organismo, en un tiempo preciso y en una célula determinada. Las proteínas juegan muy variadas funciones dentro de un organismo, que van desde la formación de estructuras (como el colágeno, que es la proteína más abundante en mamíferos), la realización de reacciones químicas necesarias para la vida (como la Ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa, que es la enzima más abundante sobre la tierra y es la que inicia la fijación del carbono durante la fotosíntesis), en la defensa contra las enfermedades (como la inmunoglobulina, que neutraliza patógenos como hongos, bacterias y virus en nuestro cuerpo), de transporte (como la hemoglobina que transporta el oxígeno de la sangre) y moléculas señales (como la insulina, elaborada por el páncreas, que nos permite asimilar azúcares como la glucosa).

### El regalo de nuestros padres (transferencia génica vertical)

Como nosotros, cada especie tiene un conjunto único de genes que hereda a sus descendientes. Esta transferencia de información genética de padres a hijos la realizamos mediante la reproducción sexual, en el que interviene un fenómeno celular llamado meiosis, que da lugar a la formación de las células sexuales en los organismos pluricelulares. Durante este proceso se produce un fenómeno de intercambio al azar de información entre cromosomas homólogos, lo que genera variabilidad entre las cuatro células hijas. Éstas células, llamadas gametos (óvulos en la mujer y espermatozoides en el hombre) contienen la mitad de la in-

formación genética, que se reestablece durante la fecundación, que da comienzo a la formación de un nuevo individuo. Las células germinales son las involucradas en la reproducción sexual de los organismos pluricelulares como los humanos, pero también nuestros cuerpos contienen millones de células somáticas que se dividen por mitosis, que es también un mecanismo asociado a la reproducción asexual de los organismos unicelulares.

### **Reproducción y sexo bacteriano (transferencia génica horizontal)**

La reproducción asexual se realiza a través de la mitosis, que es un proceso de división celular en el que únicamente es necesario un individuo para generar descendencia. La mitosis da como resultado dos células hijas con el genoma idéntico. Esto se logra duplicando el ADN antes de la división. Este proceso ocurre en las bacterias y las células que componen los tejidos de organismos pluricelulares. A diferencia de lo que ocurre en los organismos como las plantas y animales, en las bacterias la reproducción está separada del sexo. Como plantean Lynn Margulis y Dorion Sagan en su apasionante libro *¿Qué es el sexo?* (1998), en su forma más básica, el sexo no es más que la recombinación de información genética de dos organismos diferentes.

El sexo bacteriano se conoce como conjugación, que es un proceso de transferencia génica desde una célula donadora a otra receptora, que se realiza por medio de los plásmidos, que es un tipo de ADN circular extracromosomal autoreplicante (Figura 1). La transferencia requiere contacto directo entre las células involucradas, con intervención de estructuras superficiales especiali-

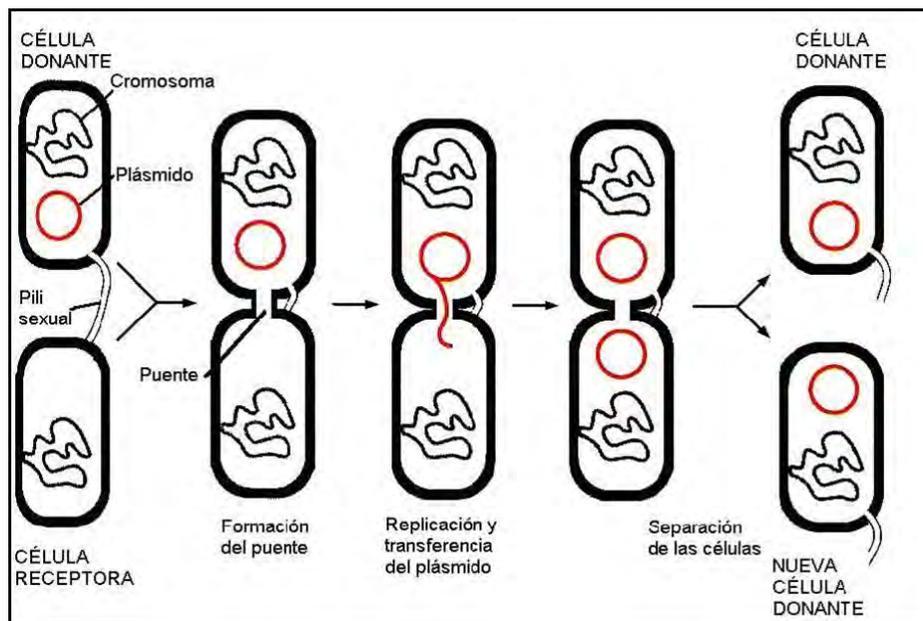
zadas y de funciones específicas. La conjugación no es exclusiva de las bacterias, pues se ha descrito también en protozoarios. De igual manera, la transferencia horizontal puede darse por otros procesos como la transformación, en la que una bacteria incorpora segmentos de ADN de bacterias lisadas, a modo de una especie de necrofilia bacteriana; y por transducción, que involucra transferencia de segmentos de DNA de una bacteria a otra, pero mediada por virus. Estos fueron los primeros mecanismos de transferencia genética horizontal en la naturaleza.

### **La domesticación de los microorganismos**

Sin duda alguna, la domesticación de las plantas y animales fueron factores fundamentales que ayudaron a erigir la sociedad actual tal y como la conocemos. Sin embargo, la domesticación microbiana ha sido clave en el desarrollo humano. Al principio esto se llevó a cabo sin que se tuviera conciencia de ello, pues desde tiempos inmemoriales se han manejado en la elaboración de cerveza, pan, vino; en la fermentación de vegetales y productos lácteos. No obstante, es a principios del siglo XX cuando se ha explotado el potencial de estas tecnologías. Actualmente se usan microorganismos en la producción de vacunas, medicamentos, biocombustibles, proteínas, en la biorremediación y, desde luego, la producción de organismos transgénicos.

### **Desarmando al enemigo: de la transgénesis natural a la artificial**

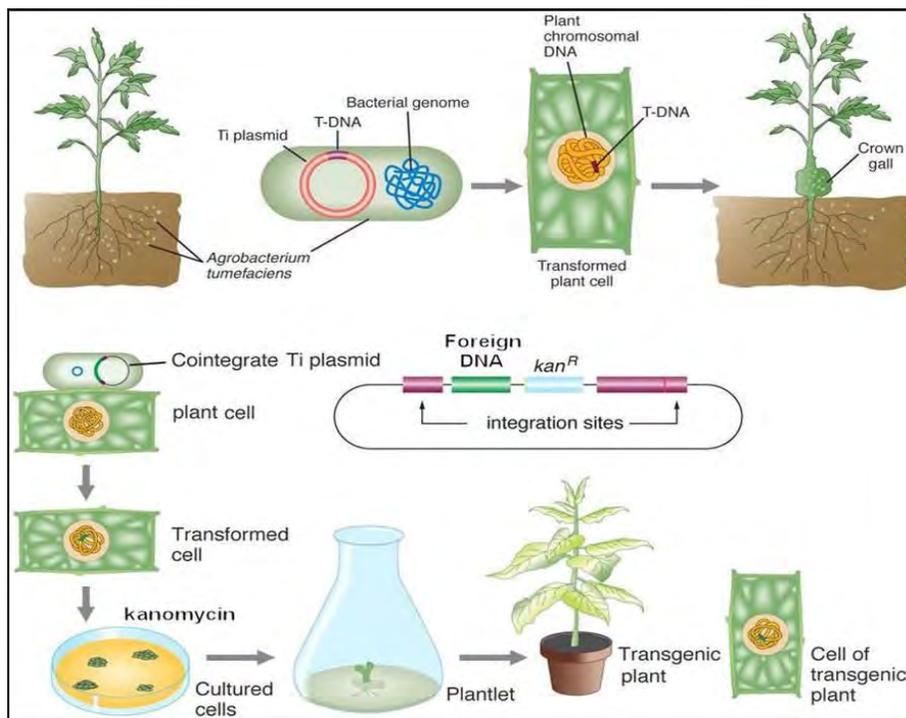
En 1977 Chilton y sus colaboradores reportaron que los tumores de la agalla de la corona de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.),



**Figura 1. Conjugación bacteriana.** Se observa la transferencia horizontal de DNA plasmídico (círculo en rojo) entre una bacteria donante y otra receptora. **Fuente:** <https://www.blogdebiologia.com/bacterias.html>.

ocasionados por una enfermedad bacteriana, contenía pequeños fragmentos de ADN del agente etiológico (*Agrobacterium tumefaciens*), que eran los responsables de la formación de los tumores en la planta. En este trabajo se reportó la capacidad de esta bacteria de transferir ADN entre reinos diferentes; dicho de otro modo, se descubrió otro caso de transgénesis que se da de forma espontánea en la naturaleza. La transgénesis es un proceso natural o artificial que permite la transferencia de un gen (transgén) a un organismo receptor (transgénico), a través de una vía horizontal, que generalmente puede transmitirlo a su descendencia. Este proceso puede superar las barreras que posee la transferencia génica vertical, que no es viable entre especies diferentes. La transgénesis puede darse entre virus y bacterias o entre bacterias y plantas como en el caso *A. tumefaciens* y *A. rhizogenes*. Una vez que se

comprendieron los mecanismos moleculares del proceso de transformación genética natural durante la infección, se procedió al desarme de *A. tumefaciens*, para que pudiera transformar células vegetales sin los síntomas generales de la infección bacteriana (Figura 2). La inserción de nuevos genes y sus elementos reguladores en el transgén ha permitido la transformación genética de plantas susceptibles con genes de importancia agronómica. Este hallazgo ha tenido un gran impacto por la gran cantidad de aplicaciones en diversos campos de la biología vegetal, agricultura y biotecnología. Actualmente existen diversas técnicas de transformación genética, pero esta tecnología ha sido tomada de los microbios: las bacterias son los primeros seres transgénicos. La «diabólica» biotecnología de la mezcla «interespecífica» de genes es más vieja que las propias especies. Los organismos transgénicos



**Figura 2. Transformación genética mediada por *A. tumefaciens*.** En la parte de arriba se observa la infección de una célula vegetal y la transferencia del T-DNA al genoma de la planta, que da origen a la enfermedad agalla de la corona. Abajo se observa a la misma bacteria «desarmada» infectando otra célula vegetal y transfiriéndole un gen de interés agronómico y la posterior regeneración de una planta transgénica mediante cultivo *in vitro*. **Fuente:** [https://www.mun.ca/biology/scarr/Transgenic\\_Plants.html](https://www.mun.ca/biology/scarr/Transgenic_Plants.html).

cos son mucho más antiguos y mucho más que un fenómeno meramente humano (Margulis y Sagan 1986).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la ceguera en niños de países de bajos ingresos como África y el sudeste Asiático se debe a la deficiencia de vitamina A. La mitad de los 250 mil a 500 mil niños morirán por otras complicaciones en los 12 meses posteriores a la pérdida de la visión. Con la finalidad de solucionar este problema, los científicos Ingo Potrykus y Peter Beyer se dieron a la tarea de crear una variedad transgénica de arroz (*Oryza sativa* L.), que aumentara la síntesis del beta-caroteno (pro-vitamina A) en las partes comestibles del grano de arroz (Figura 3). A pesar de que se demostró la inocuidad del alimento, el potencial de esta planta para luchar contra la ceguera, que fue desarrollado en universidades con fondos públicos y, lo más importante, que este proyecto tenía una finalidad humanitaria, organizaciones ecologistas como Greenpeace o activistas anti-OGM como Vandana Shiva se opusieron ferozmente.

teno (pro-vitamina A) en las partes comestibles del grano de arroz (Figura 3). A pesar de que se demostró la inocuidad del alimento, el potencial de esta planta para luchar contra la ceguera, que fue desarrollado en universidades con fondos públicos y, lo más importante, que este proyecto tenía una finalidad humanitaria, organizaciones ecologistas como Greenpeace o activistas anti-OGM como Vandana Shiva se opusieron ferozmente.

### Conclusión

No obstante que en este trabajo se expo-



**Figura 3. Plantas silvestres versus transgénicas.** A. La sobre producción de beta-carotenoides le da un color más amarillo al arroz dorado. B. Plantas transgénicas de *Arabidopsis thaliana* resistentes a la sequía. C. Plantas de plátano resistentes a la marchitez bacteriana del plátano, ocasionada por *Xanthomonas campestris*. **Fuente:** <https://www.flickr.com/photos/rice-photos/5516789000/in/set-72157626241604366> <http://www.riken.jp/en/re-search/rikenresearch-highlights/7320/> <https://www.popsci.com/worlds-bananas-under-attack-disease> .

nen las diferentes formas de transferencia de información genética, con especial énfasis en la transgénesis en la naturaleza, y cómo la ciencia ha aprovechado estas estrategias en la biotecnología, este escrito no pretende ser una apología de los OGM's; esto sobrepasa las dimensiones de este ensayo. Sencillamente se busca proporcionar información para adoptar una postura informada y razonada en el tema de los organismos transgénicos. Siempre son bienvenidas, y hasta deseables las voces críticas; es entendible una oposición al respecto; todo acto de disensión es aceptable, siempre y cuando emane de un análisis escéptico, crítico y razonado; pero no del miedo o fanatismo. A pesar de todo lo anterior, es necesario reflexionar sobre esta tecnología y establecer un balance entre su uso responsable y controlado, para evitar cualquier daño a la naturaleza, mientras que al mismo tiempo estas restricciones no tengan un efecto negativo en la sociedad, como la merma de la capacidad de producción de ali-

mentos para combatir el hambre en el mundo o en la producción de los más de 100 medicamentos de origen transgénico que se comercializan actualmente.

## Referencias

- Chilton M.D., Drummond M.H., Merlo D.J., Sciaky D., Montoya A.L., Gordon M.P. y Nester E.W. 1977.** Stable incorporation of plasmid DNA into higher plant cells: the molecular basis of crown gall tumorigenesis. *Cell* 11(2): 263-271.
- Margulis L. y Sagan D. 1986.** *Microcosmos*. Tusquets Editores. Barcelona, España.
- Margulis L. y Sagan D. 1998.** *¿Qué es el sexo?* Tusquets Editores. Barcelona, España.
- Mathur R. 2018.** Genetic Engineering and Biosafety in the use of Genetically Modified Foods. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, Special Issue 1: 76-82.

Desde el Herbario CICY, 10: 250–256 (01-Noviembre-2018), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 23 de noviembre de 2017. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.