



**DOCTORADO EN CIENCIAS  
(ENERGÍA RENOVABLE)**

**Plan de Estudios**

**Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.**

## **PLAN DE ESTUDIOS DOCTORADO EN CIENCIAS (ENERGÍA RENOVABLE)**

### **DIAGNOSTICO SOCIO-ECONÓMICO**

El tema de la energía se ha vuelto un tema prioritario a nivel nacional e internacional, como resultado de las limitaciones de las reservas petroleras, problemas de contaminación por el uso de combustibles fósiles y un futuro crecimiento de la demanda energética. Esto ha dado lugar a un fuerte impulso a nivel internacional, y más recientemente a nivel nacional, a la investigación, el desarrollo y la implementación de energía renovable, buscando lograr un desarrollo sustentable.

A nivel nacional, la Secretaría Nacional de Energía estableció en el 2009 el Programa de Energías Renovables, en donde se describe como visión para el país que las próximas generaciones deben poder aprovechar las fuentes renovables de energía, con el fin de mitigar los efectos del cambio climático y contribuir al desarrollo económico y social del país, bajo criterios de sustentabilidad. El objetivo de este plan es promover el aprovechamiento de energías renovables, estableciendo objetivos y metas, así como las acciones necesarias para alcanzarlas. Para lograr este objetivo es necesario contar con especialistas en las diferentes áreas que confirmen la energía renovable, por lo que recientemente se han iniciado varios programas de licenciatura y algunos de maestría dirigido a este tema.

En la región sureste del país se ha visto un impulso fuerte en el tema de la energía renovable en años recientes. Como ejemplo se menciona el Laboratorio de Energías Renovables del Sureste (LENERSE), como proyecto interinstitucional (FORDECYT) entre 8 instituciones de la región, entre las cuales el CICY, que además es coordinador de este proyecto. El LENERSE tiene un enfoque integral en investigación científica, desarrollo de tecnología, formación de recursos humanos y vinculación con los sectores privados y públicos. También es relevante que el Estado de Yucatán menciona la importancia de la implementación de energía renovable en su Plan Estatal de Desarrollo (2006-2012). Asimismo, existe un número creciente de empresas dedicado al área. Además, en la región se han abierto varios programas de formación de recursos humanos: Ingeniería en Sistemas de Energía (Universidad de Quintana Roo), Ingeniería en Energía Renovable (Institutos Tecnológicos Superior de Progreso y de Motul), Licenciatura en Ingeniería y Maestría en Ingeniería, área Energía (Universidad Autónoma de Yucatán). A nivel nacional, solo se cuenta con un programa de doctorado en este tema, el doctorado en ingeniería (área energía) de la UNAM, especializado en energía solar, geotermia, sistemas energéticos y diseño bioclimático.

En el CICY se cuenta con varios años de experiencia en el tema de producción de energía renovable mediante los biocombustibles y mediante la tecnología del hidrógeno. En años recientes se establecieron el Programa Institucional en Bioenergía, la Maestría en Ciencias (Energía Renovable) y la Unidad de Energía Renovable.

Con base en lo anterior se considera oportuno crear un programa de Doctorado en Ciencias (Energía Renovable) dentro del Posgrado en Ciencias del CICY, enfocado en la

problemática de la producción de energía renovable en las líneas de bioenergía y tecnología del hidrógeno.

## **ESTADO DE ARTE**

Las principales fuentes primarias de energía renovable son la solar, la eólica, la bioenergía, la geotérmica, la hidroeléctrica, y la mareomotriz y, como fuente secundaria, la energía del hidrógeno. Cada uno de estas cuenta con tecnología desarrollada en diferentes fases de comercialización, sin embargo, específicamente la solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica ya se encuentran en fase comercial. La energía solar, eólica e hidroeléctrica son las que cuentan con mayor capacidad instalada a nivel mundial. En general, la investigación en temas de la energía renovable se enfoca en el desarrollo de materiales, tecnologías y sistemas con mayor eficiencia, mayor tiempo de vida, menor costo y menor impacto ambiental.

La bioenergía aprovecha la biomasa cultivada ó residual como fuente de energía renovable. Generalmente se distinguen 3 generaciones de bioenergía, la primera generación es la que actualmente se encuentra disponible e implementada en varios países, como el bioetanol y biodiesel, producidos a partir de cultivos energéticos-alimenticios. Sin embargo, esta generación cuenta con problemas graves de sustentabilidad. La segunda generación de bioenergía busca aprovechar los residuos orgánicos, sean agrícolas, forestales o industriales, así como los cultivos energéticos no alimenticios para reducir el impacto ambiental de la producción de biocombustibles. La tercera generación se enfoca en sistemas de menor impacto ambiental, así como mayor eficiencia. La investigación actual se enfoca en desarrollar procesos más eficientes, más limpios y más sustentables para la producción de biocombustibles, enfocando a la segunda y tercera generación, incluyendo los biocombustibles sintéticos, el aprovechamiento de microalgas y la biorefinación.

Por otro lado, la tecnología del hidrógeno consiste en la producción, el almacenamiento y la conversión en energía útil del hidrógeno, así como en sus aplicaciones finales. Para el caso de la producción del hidrógeno, la investigación científica actual se centra en una reducción de costos y mayor sustentabilidad de estos procesos mediante una búsqueda de nuevos procesos para la producción del hidrógeno, así como una mayor eficiencia de la tecnología actual, mediante una mejora de procesos, materiales y sistemas, así como el aprovechamiento de fuentes renovables y tecnología de menor impacto ambiental. De especial interés es la utilización de fuentes primarias de energía renovable, como el sol o el viento, con lo cual llega a ser a una tecnología de cero emisiones (*renewable hydrogen* o *sustainable hydrogen*). Para el almacenamiento del hidrógeno, la investigación se centra en el desarrollo de nuevos materiales para el almacenamiento en sólido, así como mejorar la capacidad de almacenamiento y entrega del hidrógeno para materiales ya reportados, por ejemplo mediante modificaciones de estos. Con respecto a la conversión del hidrógeno en energía útil en cualquier de los diferentes tipos de celdas de combustible, la investigación se centra nuevamente en una mayor eficiencia y reducción de costos, buscando el desarrollo de nuevos electrocatalizadores de menor costo y mayor actividad electrocatalítica, nuevos electrolitos, específicamente para las celdas de óxido sólido y de membrana polimérica, y nuevos diseños, así como también se busca optimizar los

procesos de producción y el ensamblado de las celdas. De forma general la problemática a resolver para la tecnología del hidrógeno es identificar las cadenas de producción-almacenamiento-conversión que sean económicamente más viables, de menor impacto ambiental y basadas en el aprovechamiento de la energía renovable.

## **JUSTIFICACIÓN**

El CICY lleva varios años trabajando en el área de la energía renovable con diferentes iniciativas y desarrollos, tal como el establecimiento del Programa Institucional en Bioenergía (2006), del Posgrado en Ciencias en Energía Renovable (Maestría, desde 2008), y de la Unidad de Energía Renovable (enero 2010). Con base en un diagnóstico socio-económico, una descripción del estado de arte, y un inventario de programas de estudios disponible a nivel regional y nacional, este programa de Doctorado en Ciencias (Energía Renovable) se estableció como un programa multidisciplinario, único en el país. Se especializa en las líneas de investigación de bioenergía y tecnología del hidrógeno, enfocándose en los procesos de producción de energía renovable vía los biocombustibles o vía la tecnología del hidrógeno; específicamente, en la primera línea, en procesos de producción de biocombustibles de segunda y tercera generación, así como aspectos de disponibilidad de materia prima y sustentabilidad, y, en la segunda línea, en tecnología del hidrógeno basado en el uso de fuentes renovables, tal como la producción de hidrógeno por solar/eólico-electrólisis o a partir de biomasa, su conversión en celdas de combustible y el desarrollo de sistemas híbridos para la generación de energía renovable.

## **OBJETIVO**

El objetivo principal de este programa de doctorado es la formación de recursos humanos de alto nivel en una de las áreas de la energía renovable para coadyuvar al desarrollo sustentable de la industria energética regional y nacional, a través de un sólido ejercicio profesional, la docencia y actividades de investigación.

Los objetivos específicos son:

- Formar profesionales altamente capacitados para el desarrollo de investigación original y de relevancia en la ciencia de la energía renovable, con especial atención en las áreas de bioenergía y tecnología del hidrógeno.
- Desarrollar en el estudiante una sólida formación teórica y una alta capacidad técnica y metodológica para el ejercicio académico profesional, así como las capacidades analíticas y críticas en las áreas de competencia del programa, de tal manera que su actividad profesional atienda las demandas de los sectores productivos, tanto privado como gubernamental, y contribuya a la formación de recursos humanos.
- Desarrollar en el estudiante habilidades que le permitan detectar áreas de oportunidad que coadyuven al desarrollo del país, a través del planteamiento e implementación de alternativas viables e innovadoras para la resolución de problemas en el área de la energía renovable, específicamente en el desarrollo de nuevos procesos o procesos mejoradas para la producción de energía renovable vía biocombustibles o vía tecnología del hidrógeno; uso de materia prima; desarrollo de materiales de mejor desempeño; sustentabilidad de los procesos involucrados; y una reducción de costos de los sistemas para la producción de energía renovable.

## **METAS**

- Lograr la formación de recursos humanos de alto nivel en el área de energía renovable a través de la realización de un trabajo original de investigación, el seguimiento de este trabajo mediante exámenes de avance y un examen predoctoral, la publicación de un artículo original de investigación en revista internacional arbitrada, la escritura de la tesis doctoral y la defensa de esta tesis ante un sínodo formado por investigadores de diferentes instituciones,
- Lograr que los alumnos cuenten con los conocimientos básicos y actualizados en las áreas de relevancia para la producción de energía renovable vía biocombustibles o hidrógeno, así como con las competencias para desarrollarse en el área, a través de materias optativas y actividades obligatorias.
- Lograr que los alumnos hayan desarrolladas las capacidades analíticas y críticas para el desarrollo de investigación original y de relevancia por medio de la interacción cotidiana con su director de tesis, con los miembros de su comité tutorial, y con otros investigadores y maestros del programa se pretende desarrollar.
- Lograr que el alumnos cuente con las habilidades para transmitir los resultados de su investigación a la sociedad en general y buscar, con un enfoque multidisciplinario, soluciones innovadoras, a los problemas relacionados con la energía renovable, mediante la interacción del estudiante con investigadores internos e invitados de diversas disciplinas de la energía renovable, con otros estudiantes, y su participación en debates, seminarios, congresos, estancias de investigación.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA**

Este programa es un programa de doctorado después de maestría, enfocado en la producción de energía renovable vía biocombustibles o vía hidrógeno. Es un programa de investigación, el cual el alumno debe concluir con la defensa de una tesis doctoral realizado en una de las 2 líneas de investigación: bioenergía o tecnología del hidrógeno. Tiene su sede en la Unidad de Energía Renovable del CICY, y participan también profesores de otras unidades del CICY (materiales, bioquímica, biotecnología y recursos naturales).

**DIRIGIDO A:** Dado el carácter multidisciplinario del tema, este programa está dirigido a egresados de maestrías en diferentes temas relacionados al área de la energía; en general ciencias puras e ingenierías diversas, con un interés para desarrollarse en el área de la energía renovable, y capacidad para completar estudios de posgrado.

**DURACIÓN DEL PROGRAMA:** 7 semestres, con un máximo autorizado de 9 semestres.

## **PERFIL DE INGRESO**

El alumno que desee ingresar al doctorado después de maestría deberá contar con una maestría en un área afín al programa. Deberá contar con capacidad para leer y comprender el idioma inglés, así como tener interés en desarrollarse en una de las áreas

de la energía renovable y demostrar capacidad para realizar trabajo de investigación original.

### **PERFIL DEL EGRESADO**

El alumno egresado del Doctorado en Ciencias (Energía Renovable), contará con una sólida formación en una de las áreas que conforman la energía renovable. Habrá adquirido habilidades y destrezas para desarrollar de forma independiente investigación científica original, diseñar, realizar e interpretar experimentos científicos, generar desarrollos tecnológicos en concordancia al desarrollo sustentable; plantear soluciones a problemas en el área de energía renovable; impartir cursos a nivel licenciatura y posgrado; así como participar activamente en la formación de investigadores o de grupos de investigación. El egresado podrá incorporarse en los sectores público, industrial y académico.

### **REQUISITOS DE INGRESO AL PROGRAMA**

Los candidatos interesados en ingresar al programa, deberán cumplir los siguientes requisitos:

1. Cumplir el perfil de ingreso
2. Tener promedio mínimo de 8.0 o equivalente
3. Presentar una solicitud de ingreso en la que exponga los motivos para ingresar al posgrado.
4. Anexar la documentación tal como solicitada en la convocatoria.
5. Entregar una propuesta del proyecto de investigación en alguna de las líneas de investigación del programa (bioenergía o tecnología del hidrógeno).
6. Entregar una carta de aceptación del proyecto de un investigador participante del programa.
7. Realizar un examen de ingreso al posgrado, el EXANI III (orientación a la investigación), obteniendo como mínimo un resultado de 100 puntos arriba del resultado global.
8. Realizar un examen de inglés, el TOEFL, obteniendo un resultado de 450 puntos como mínimo.
9. Realizar un examen psicométrico.
10. Realizar una entrevista con el comité de admisión.

### **ACTIVIDADES ACADÉMICAS**

Las actividades académicas que se llevarán a cabo en el doctorado serán las siguientes (ver tabla 1):

1. Se cursarán seis semestres de 36 créditos cada uno, con base en una carga de trabajo de 40 horas semanales, con un total de 216 créditos. Además se cursa un séptimo semestre para conclusión de la tesis y titulación, de 2 créditos. El mínimo de créditos a cumplir es 216 (*definición de crédito según la SEP*).
2. Durante el primer año, los alumnos deben cursar 2 materias de las asignaturas ofrecidos a nivel posgrado, con relación a su proyecto de investigación (mínimo 12

créditos, ver tabla 2). Si se considere conveniente, el alumno puede cursar una de estas materias en otro posgrado o institución. El director de tesis y el coordinador del programa deben dar su visto bueno respecto a las materias seleccionadas.

3. Llevar 3 cursos de Seminario (de 2 créditos cada uno, 6 créditos en total). El primer curso de seminario se enfoca en la redacción científica en inglés y español, el segundo en temas de pedagogía y el tercero en la innovación. La calificación de estos seminarios además reflejan la asistencia a seminarios institucionales, comunicación con el director de tesis, presentaciones en grupo, etc.
4. Llevar 6 cursos de Trabajo de investigación (198 créditos total) y uno de Trabajo de tesis (2 créditos), en los cuales se lleva a cabo el trabajo de investigación original y escritura de la tesis en alguna de las áreas de investigación del posgrado. Parte del trabajo de investigación se puede llevar a cabo en otra institución vía estancias académicas.
5. Durante el primer semestre el director de tesis solicita la asignación de un comité tutorial, formado por un investigador participante en el doctorado y uno de una institución externa al programa.
6. Al final del primer semestre, el alumno entrega el anteproyecto detallado, así como primeros avances de investigación. El comité tutorial realiza la evaluación de dicho documento.
7. Al final del segundo semestre, el alumno debe realizar un examen predoctoral ante el comité tutorial, en el cual expone los resultados de su trabajo, y con base en el cual se evalúan los avances del proyecto de investigación, así como los conocimientos (básicos y especializados) del tema.
8. En los semestres 3, 4 y 5, el alumno debe entregar un reporte de avances de investigación, el cual será evaluado por el comité tutorial. Para aprobar en el quinto semestre es requisito que el alumno imparte un seminario a la comunidad de la institución.
9. Al final del sexto semestre el alumno debe entregar un borrador de tesis, así como debe contar con un artículo de investigación original enviado a una revista internacional indizada.
10. El séptimo semestre es para concluir la tesis, realizar los trámites de la titulación y el examen de grado.
11. Los alumnos tendrán que presentar y defender su trabajo de tesis ante un jurado, al cumplir todos los requisitos.

### **REQUISITOS DE PERMANENCIA EN EL PROGRAMA**

Los requisitos que los alumnos deben cumplir a fin de permanecer en el programa son:

- Aprobar las asignaturas con una calificación mínima de 80 (ochenta). Solamente se permitirá reprobado una asignatura durante el posgrado, el reprobado más de una asignatura será causa de baja automática del alumno.
- Aprobar el examen predoctoral al final del segundo semestre.
- Realizar una presentación oral de sus avances de investigación ante la comunidad durante el quinto semestre.

## **MECANISMO DE EVALUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES**

Los alumnos serán evaluados durante el posgrado mediante los siguientes mecanismos:

- Asignaturas del posgrado y seminarios: El desempeño de los estudiantes en cada asignatura será evaluado por los profesores que las impartan, utilizando una escala de 0 a 100 puntos, con calificación mínima aprobatoria de 80 (ochenta).
- Trabajo de Investigación. El trabajo de investigación será evaluado en cada semestre por el comité tutorial, como descrito arriba (primer semestre: anteproyecto; segundo semestre: examen predoctoral; tercer, cuarto y quinto semestre: reporte de avances; sexto semestre: borrador de tesis y cumplir el requisito del artículo enviado). La calificación mínima aprobatoria será de 80 (ochenta) para cada actividad.

## **REQUISITOS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO**

Los requisitos para la obtención del grado de doctor son los siguientes:

- Cubrir el total del plan de estudios del doctorado con un mínimo de 216 créditos,
- Haber elaborado un trabajo de investigación original (tesis),
- Contar con un artículo de investigación original aceptado para publicación en una revista internacional indizada,
- Cumplir con los requisitos administrativos,
- Pagar los derechos correspondientes,
- Aprobar el examen de grado ante un jurado calificador nombrado ex profeso, después de haber cumplido los puntos anteriores.

**Tabla 1. Plan de Estudios del Doctorado en Ciencias (Energía Renovable)**

<b>Semestre</b>	<b>Actividades</b>	<b>Créditos</b>
1	Materia optativa Seminario de redacción Trabajo de investigación I ( <i>anteproyecto</i> )	6 2 28
2	Materia optativa Seminario de pedagogía Trabajo de investigación II ( <i>examen predoctoral</i> )	6 2 28
3	Seminario de innovación Trabajo de investigación III ( <i>reporte de avances</i> )	2 34
4	Trabajo de investigación IV ( <i>reporte de avances</i> )	36
5	Trabajo de investigación V ( <i>reporte de avances</i> )	36
6	Trabajo de investigación VI ( <i>borrador de tesis y artículo enviado</i> )	36
7	Trabajo de tesis	2
	Total	218

**Tabla 2.** Listado de asignaturas optativas, número de horas y créditos

Nombre de la asignatura	Horas/semana		Horas total		Créditos
	clase	indep.	clase	Indep.	
Introducción en fuentes de energía renovable	3	5	48	80	<b>8</b>
Fundamentos físicos	3	5	48	80	<b>8</b>
Medio ambiente y desarrollo sustentable	3	5	48	80	<b>8</b>
Climatología y cambio climático	3	3	48	48	<b>6</b>
Economía energética	3	3	48	48	<b>6</b>
Escalamiento y automatización de procesos	3	3	48	48	<b>6</b>
Método científico y filosofía de la ciencia	3	3	48	48	<b>6</b>
Tópicos selectos	3	3	48	48	<b>6</b>
Biología aplicada a la bioenergía	3	5	48	80	<b>8</b>
Aprovechamiento de residuos orgánicos	3	3	48	48	<b>6</b>
Biomasa y bioproductividad	3	3	48	48	<b>6</b>
Biocombustibles	3	3	48	48	<b>6</b>
Biofísica molecular	3	3	48	48	<b>6</b>
Electroquímica	3	5	48	80	<b>8</b>
Catálisis	3	3	48	48	<b>6</b>
Tecnología del hidrógeno y celdas de combustible	3	3	48	48	<b>6</b>
Técnicas de caracterización fisicoquímica	3	3	48	48	<b>6</b>