



Revista  
Interdisciplinaria  
en Nanociencias  
y Nanotecnología

Universidad Nacional Autónoma de México

ISSN 2448-5691  
Vol. 9, No. 17, julio-diciembre, 2016

# Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología Parte 2

Rodolfo Zanella Specia, Gian C. Delgado Ramos  
y Óscar E. Contreras López **coordinadores**





REVISTA INTERDISCIPLINARIA EN

---

# Nanociencias y Nanotecnología

Vol. 9, No. 17, julio-diciembre, 2016

[www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)

# DIRECTORIO

Universidad  
Nacional  
Autónoma  
de México

Dr. Enrique Graue Wiechers  
*Rector*  
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
*Secretario General*  
Dr. William Henry Lee Alardín  
*Coordinador de la Investigación Científica*  
Dr. Domingo Alberto Vital Díaz  
*Coordinador de Humanidades*

Mtro. Juan Manuel Romero Ortega  
*Coordinador de Innovación y Desarrollo*  
Dra. Guadalupe Valencia García  
*Directora CEIICH*  
Dr. Oscar Edel Contreras López  
*Director CNYN*  
Dr. Rodolfo Zanella Specia  
*Director CCADET*

**Mundo Nano** • <http://www.mundonano.unam.mx>

## Editores

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos • [giandelgado@unam.mx](mailto:giandelgado@unam.mx) • Dr. Rodolfo Zanella Specia • [rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx](mailto:rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx)  
Oscar Edel Contreras López • [edel@cnyun.unam.mx](mailto:edel@cnyun.unam.mx)

## Editor Asociado

M. en C. Mario Rogelio López Torres • [mrlt@unam.mx](mailto:mrlt@unam.mx)

## COMITÉ EDITORIAL

### Física (teoría)

Dr. Sergio Ulloa  
• [ulloa@ohio.edu](mailto:ulloa@ohio.edu)  
*Departamento de Física y Astronomía, Universidad de Ohio. Estados Unidos*  
Dr. Luis Mochán Backal  
• [mochan@em.fis.unam.mx](mailto:mochan@em.fis.unam.mx)  
*Instituto de Ciencias Físicas, UNAM. México*  
Dr. Noboru Takeuchi Tan  
• [takeuchi@cnyun.unam.mx](mailto:takeuchi@cnyun.unam.mx)  
*Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM*

### Física (experimental)

Dr. Isaac Hernández Calderón  
• [Isaac.Hernandez@fs.cinvestav.mx](mailto:Isaac.Hernandez@fs.cinvestav.mx)  
*Departamento de Física, Cinvestav. México*

### Ingeniería

Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro  
• [SALcocerM@iingen.unam.mx](mailto:SALcocerM@iingen.unam.mx)  
*Instituto de Ingeniería, UNAM. México*

### Microscopía

Dr. Miguel José Yacamán  
• [miguel.yacamán@utsa.edu](mailto:miguel.yacamán@utsa.edu)  
*Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Texas en Austin. Estados Unidos*

### Catálisis

Dr. Sergio Fuentes Moyado  
• [fuentes@cnyun.unam.mx](mailto:fuentes@cnyun.unam.mx)  
*Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM. México*  
Dr. Rodolfo Zanella Specia  
• [rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx](mailto:rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx)  
*Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM. México*  
Dra. Gabriela Díaz Guerrero  
• [diaz@fisica.unam.mx](mailto:diaz@fisica.unam.mx)  
*Instituto de Física, UNAM. México*

### Materiales

Dr. José Saniger Blesa  
• [jose.saniger@ccadet.unam.mx](mailto:jose.saniger@ccadet.unam.mx)  
*Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM. México*  
Dr. Roberto Escudero Deraat  
• [escu@unam.mx](mailto:escu@unam.mx)  
*Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. México*

### Ciencia, tecnología y género

Dra. Norma Blazquez Graf  
• [blazquez@unam.mx](mailto:blazquez@unam.mx)  
*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*

### Filosofía de la ciencia

Dr. León Olivé Morett  
• [olive@unam.mx](mailto:olive@unam.mx)  
*Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM. México*

### Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia  
• [amoz@labcomplex.net](mailto:amoz@labcomplex.net)  
*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*  
Dr. Ricardo Mansilla Corona  
• [mansy@unam.mx](mailto:mansy@unam.mx)  
*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*

### Aspectos éticos, sociales y ambientales de la nanociencia y la nanotecnología

Dra. Fern Wickson  
*GenØk Center for Biosafety, Tromsø. Noruega*  
Dr. Roger Strand  
• [roger.strand@svt.uib.no](mailto:roger.strand@svt.uib.no)  
*Centro para el Estudio de las Ciencias y las Humanidades, Universidad de Bergen. Noruega*  
Dr. Pedro Serena Domingo  
*Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC. España*

### Medio ambiente, ciencia y tecnología

Dra. Elena Álvarez-Buyllá  
• [eabuylla@gmail.com](mailto:eabuylla@gmail.com)  
*Instituto de Ecología, UNAM. México*  
Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar  
• [omararellano@ciencias.unam.mx](mailto:omararellano@ciencias.unam.mx)  
*Facultad de Ciencias, UNAM. México*

### Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow  
• [Louis.Lemkow@uab.es](mailto:Louis.Lemkow@uab.es)  
*Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental, Universidad Autónoma de Barcelona. España*  
Dra. Sofía Liberman Shkolnikoff  
*Psicología-UNAM. México*  
Dr. Paulo Martins  
• [marpaulo@ipt.br](mailto:marpaulo@ipt.br)  
*Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasil*  
Mtra. Kamilla Kjolberg  
• [kamilla.kjolberg@svt.uib.no](mailto:kamilla.kjolberg@svt.uib.no)  
*Centro para el Estudio de las Ciencias y las Humanidades, Universidad de Bergen. Noruega*

Dr. Simone Arnaldi  
• [simonearnaldi@gmail.com](mailto:simonearnaldi@gmail.com)  
*CIGA-Universidad de Padova. Italia*

### Divulgación

Dra. Julia Tagüeña Parga  
*CIE-UNAM. México*  
Dr. Aquiles Negrete Yankelevich  
*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*  
Dr. Joaquín Tutor Sánchez  
*ETSI-ICAL, Universidad Pontificia Comillas. España*

### Cuidado de la edición

Concepción Alida Casale Núñez, CEIICH, UNAM

Isauro Uribe Pineda, CEIICH, UNAM

### Formación y administración de Open

Journal Systems: Arturo Villegas Rodríguez

Número financiado parcialmente por las coordinaciones de la Investigación Científica y de Humanidades de la UNAM.



Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 9, 17, julio-diciembre de 2016, es una publicación semestral, en versión electrónica, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F., a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Torre II de Humanidades 4º piso, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, <http://www.mundonano.unam.mx>, [mundonanonam@gmail.com](mailto:mundonanonam@gmail.com). Editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos, Rodolfo Zanella Specia y Oscar Edel Contreras López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 042015062512122500203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN 24485691. Responsable de la última actualización de este número: Arturo Villegas Rodríguez, Torre II de Humanidades 5º piso, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F. Fecha de la última actualización: 21 de diciembre de 2016. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores. Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin la previa autorización por escrito de los editores responsables.

# CONTENIDO

Vol. 9, No. 17, julio-diciembre, 2016

## 4 EDITORIAL

### PRESENTACIÓN

- 5 Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología - Parte 2  
*Rodolfo Zanella Specia, Gian C. Delgado Ramos y Oscar E. Contreras López (coordinadores)*

### CATÁLOGO NACIONAL

- 7 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
*Ygnacio Martínez Laguna, José Eduardo Espinosa Rosales, José Ramón Eguibar Cuenca, Ana Lilia González Ronquillo, Martín Rodolfo Palomino Merino, Heriberto Hernández Cocoletzi, Javier Martínez Juárez*
- 24 Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM  
*Víctor Sánchez Mendieta, Dora Alicia Solís Casados, Alfredo Rafael Vilchis Néstor*
- 35 División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca Universidad de Guanajuato  
*Marco Bianchetti, Bárbara González Rolón, Eric Noé Hernández Rodríguez, Mónica Trejo Durán, Daniel Jáuregui Vázquez, Roberto Rojas Laguna*
- 43 Universidad de Guadalajara  
*Ramón Willman Zamora*
- 49 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
*Juan Serrato Rodríguez, Alberto Ruiz Marines*
- 57 Universidad de Monterrey  
*Laura Peña-Parás, Jaime Taha-Tijerina, Demófilo Maldonado-Cortés*
- 66 Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji  
*Sandra López Acosta, Víctor Alfredo Nolasco Arizmendi*
- 76 Instituto Tecnológico Superior de Irapuato  
*Rafael Vargas-Bernal, Ma. Elena Calixto-Olalde, José Hernández-Barajas, Oliver Muñiz-Serrato, Gabriel Herrera-Pérez*
- 92 Universidad Politécnica de Pachuca  
*Maricela Villanueva-Ibáñez*
- 103 Universidad Politécnica de Chiapas  
*Alejandro Aguirre Tovar*
- 110 División de Materiales Avanzados-IPICYT  
*Horacio Flores Zúñiga*
- 117 Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.  
*Zaira Yunuen García Carvajal, Hugo Espinosa-Andrews*
- 130 Centro de Investigación en Química Aplicada  
*Carlos Alberto Ávila Orta*
- 141 Instituto Mexicano del Petróleo  
*Jaime Sánchez Valente y José Antonio Toledo Antonio*
- 159 Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
*Edgar Enrique Camps Carvajal, Guillermo de Jesús Cruz Cruz, Luis Escobar Alarcón y cols.*

## 175 EVENTOS

## 179 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

### Correspondencia:

*Mundo Nano*  
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias  
en Ciencias y Humanidades  
Torre II de Humanidades, 4º piso  
Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F., México.  
Correo-e: mundonanounam@gmail.com

Diseño: Amanali Cornejo Vázquez.  
Fondo de imagen:  
Simulando dendrímeros.



## Editorial

Este año presentamos la primera y segunda partes del *Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología*. Se trata de un esfuerzo conjunto realizado por las entidades editoras de esta revista con el apoyo de la Coordinación de la Investigación Científica y la Coordinación de Humanidades, ambas de la UNAM.

El involucramiento del CEIICH en este catálogo responde, además de ser una de las entidades editoras de la revista, a su interés en dar seguimiento a los avances e implicaciones sociales, económicas ambientales y legales de las ciencias y tecnologías emergentes, en este caso de las nanociencias y la nanotecnología (NyN). El esfuerzo del Centro en esta temática data desde la fundación de esta revista en 2008; la publicación de diversos libros académicos con autores expertos en áreas propias de las ciencias exactas, naturales y las ingenierías, así como de las ciencias sociales y las humanidades; y la celebración de NanoMex, uno de los eventos internacionales, de carácter interdisciplinario más relevantes en el país celebrado anualmente desde 2008 hasta el 2014. El CEIICH no figura en el presente Catálogo en tanto no es una institución avocada a la investigación y desarrollo de las NyN. No es así el caso del CCADET y el CNyN, instituciones integrantes de la primera parte del Catálogo.

La finalidad y características del Catálogo se detallan en la presentación que hacen los coordinadores del mismo. En total se han catalogado 29 instituciones localizadas en 15 entidades del país: ocho centros públicos de investigación del CONACyT, siete universidades públicas y algunas de sus múltiples entidades, dos universidades privadas, cuatro instituciones tecnológicas, y tres organismos descentralizados del gobierno federal.

Por otro lado, nos complace anunciar que a partir de este año 2016, se abre, en la versión digital de la revista, la sección “Primero en línea”. Ésta nos permitirá publicar los trabajos recibidos y dictaminados satisfactoriamente en tiempos mucho más reducidos, sin que los autores deban esperar la aparición de la revista impresa para poder dar a conocer su trabajo.



# Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología - Parte 2

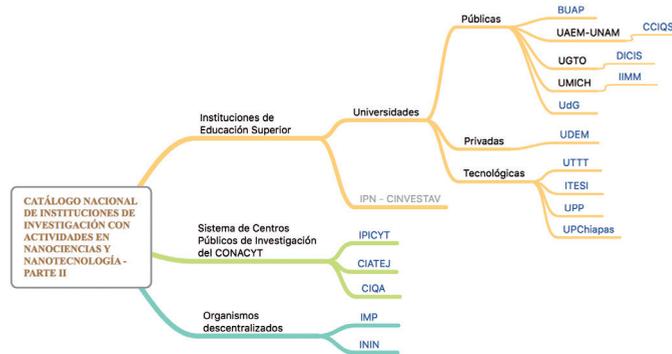
Rodolfo Zanella Specia, Gian C. Delgado Ramos y  
Oscar E. Contreras López (coordinadores)

El *Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología* es una iniciativa de nanoUNAM, consorcio académico de la UNAM integrado en 2009 por el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN) y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH). Desde sus orígenes, nanoUNAM está interesado en impulsar el diálogo interdisciplinario de alta calidad sobre los avances, promesas e implicaciones de las nanociencias y la nanotecnología (NyN) con el objeto de enriquecer la toma de decisiones nacionales referentes a la maximización y distribución de beneficios, la definición de responsabilidades y la minimización de costos innecesarios o no deseados; razón por la cual está integrado por entidades, tanto del subsistema de la Investigación Científica como del subsistema de Humanidades.

Como lo precisamos en su primera parte, este Catálogo es un aporte clave para dilucidar el estado del arte de la NyN en las instituciones de investigación con actividades en NyN, razón por la cual se pretende ofrecer una panorámica actual y robusta acerca de las actividades de investigación, docencia y extensión universitaria, relacionadas con las nanociencias y la nanotecnología que se realizan en las instituciones de investigación del país. Entre los aspectos clave que interesa destacar están las líneas de investigación en NyN desarrolladas y en curso, la infraestructura disponible, los instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados, la docencia y formación de recursos humanos (incluyendo licenciatura y posgrados en NyN, de ser el caso), y los principales logros alcanzados. Consideramos que dicha información no sólo permitirá tener un panorama más fino acerca del estado del arte de la NyN en el país, sino poder ser pieza clave para potenciar sinergias entre las instituciones que lo conforman y de éstas con otras instituciones extranjeras. Al mismo tiempo, se pretende al Catálogo como referente de información y diagnóstico para tomadores de decisiones, inversionistas públicos y privados, y público en general.

El Catálogo está dividido en tres partes. El presente número de *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* hace entrega del segundo grupo de entidades. Hasta el momento, se han catalogado

**FIGURA 1.** Clasificación de instituciones de investigación con actividades de NyN empleada. En azul instituciones incluidas en esta segunda parte. En gris, instituciones consideradas en la clasificación que no figuran en esta segunda parte.



29 instituciones: ocho centros públicos de investigación del CONACyT, siete universidades públicas y algunas de sus múltiples entidades, dos universidades privadas, cuatro instituciones tecnológicas, y tres organismos descentralizados del gobierno federal.

Reconociendo que hay importantes instituciones ausentes, donde destaca el IPN–CINVESTAV, posterior a esta entrega se preparará un diagnóstico integral en el que se incluirán, de ser posible, las entidades ausentes que estén dispuestas a participar en este esfuerzo. El análisis integral se publicará en 2017.

La figura 1 muestra en orden estrictamente alfabético las instituciones presentadas en esta segunda parte, según la siguiente clasificación: instituciones de educación superior públicas y privadas, centros públicos de investigación del CONACyT y organismos descentralizados.

Agradecemos la disposición y trabajo de los responsables institucionales de cada uno de los trabajos aquí incluidos, así como el decidido apoyo institucional y financiero de la Coordinación de la Investigación Científica y de la Coordinación de Humanidades de la UNAM por su comprometido apoyo institucional y económico. Esperamos que este esfuerzo conjunto, tanto de entidades editoras y financiadoras, coordinadores del Catálogo y entidades participantes, contribuya efectivamente en el fortalecimiento de las NyN, la innovación, el desarrollo tecnológico y la regulación de materiales nanoestructurados y nanoproducidos en el país.



# Benemérita Universidad Autónoma de Puebla\*

Ygnacio Martínez Laguna,<sup>1</sup> José Eduardo Espinosa Rosales,<sup>2</sup> José Ramón Eguibar Cuenca,<sup>3</sup> Ana Lilia González Ronquillo,<sup>4</sup> Martín Rodolfo Palomino Merino,<sup>5</sup> Heriberto Hernández Cocoltzi,<sup>6</sup> Javier Martínez Juárez<sup>7</sup>

**RESUMEN:** Las nanociencias tienen una larga tradición en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y han sido cultivadas en distintas dependencias académicas como el Instituto de Ciencias, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, la Facultad de Ciencias de la Electrónica, el Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Ingeniería Química. En estas unidades académicas se diseñan nuevos materiales nanoestructurados, se evalúan sus propiedades ópticas, eléctricas, químicas el efecto de diferentes agentes dopantes sobre dichas propiedades valoradas mediante equipo de vanguardia. Los materiales con base en carbón y silicio ocupan un lugar importante entre las investigaciones que se desarrollan a los cuales se les evalúan distintas propiedades mediante pruebas que determinen sus posibles usos en diferentes campos del conocimiento. De manera importante los investigadores que desarrollan estas líneas de generación y aplicación del conocimiento son miembros tanto del padrón de investigadores BUAP, como del Sistema Nacional de Investigadores y están organizados en cuerpos académicos registrados en el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública.

Es importante destacar que existen varios posgrados ligados a estos grupos de investigación, como son las maestrías y doctorados en ciencias de materiales, de física aplicada o en dispositivos semiconductores, además de las maestrías en ingeniería química y en ciencias de la electrónica. Estos resultados muestran que la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla es una institución con investigación de vanguardia en el campo de los materiales nanoestructurados y sus propiedades; así como sus posibles aplicaciones mediante la obtención de patentes y licenciamientos. Contamos con una infraestructura experimental moderna, pero que requiere incrementarse para estar al máximo nivel posible en Puebla y la región, para detonar la innovación e incentivar aún más nuestras relaciones con los sectores sociales e industrial.

---

Recibido: 27 de abril de 2016. Aceptado: 5 de septiembre de 2016.

\* Agradecemos la valiosa colaboración de los doctores Gregorio Hernández Cocoltzi, Ana Lilia González Ronquillo, Martín Rodolfo Palomino Merino, Umapada Pal, Heriberto Hernández Cocoltzi, Efraín Rubio Rosas, Javier Martínez Juárez, Alfred Zehe y Araceli Ramírez, quienes realizan el trabajo sobre nanotecnología en las distintas unidades académicas de la Institución.

<sup>1</sup> Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado. Correspondencia: (investigacion.viep@correo.buap.mx). Tel. (222) 229-5500 ext. 5737. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Calle 4 Sur # 303, planta alta. Col. Centro. Puebla, Pue. C.P. 72000. México.

<sup>2</sup> Director General de Divulgación. Correspondencia: (divulgacion.viep@correo.buap.mx).

<sup>3</sup> Director General de Investigación.

<sup>4</sup> Instituto de Física “Luis Rivera Terrazas”.

<sup>5</sup> Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas.

<sup>6</sup> Facultad de Ingeniería Química.

<sup>7</sup> Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores, Instituto de Ciencias.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotecnología, materiales, fotodifracción, nanoestructura, propiedades emergentes.

**ABSTRACT:** The Benemérita Universidad Autónoma of Puebla is one of the largest public and autonomous universities in México, and it had long tradition in the nanoscience field and the production of different kind of nanomaterials. The research groups involved are organized in a well-established research teams in the so called Cuerpos Académicos recognized by the Secretary of Public Education after a strict evaluation process by academic peers. Most of the nanoscience researchers are recognized by the National Research System.

The main areas that these researchers investigate are new nanomaterials using carbon, silicon as a base material and doping them with different compounds from single atoms such as: indium, tin, titanium, germanium among others; and even using organic materials to obtain materials with new properties such as solar cells or nanomaterials capable to adhere pollutants or using in bioremediation in soil, water and air using different solvents, including petroleum derivatives, diluting them and captured using nanostructures as catalytic converters.

All nanostructured materials are evaluated using photic, electrical and chemical new properties with the state of the art equipment. In these nanomaterials the new properties were evaluated as well as, their possible applications in biomedicine, engineering or chemical processes. Importantly, BUAP had more than 30 years working in this field and nowadays is a referent in nanoscience, nanomaterials and nanostructures in Puebla and the region. The experimental and theoretical work support a strong formation of students in undergraduate, as well as postgraduate studies including master in science and doctorate programs with a recognition by the National Program of Postgraduate's Studies quality by CONACyT-México.

In conclusion, nanoscience is an important research field in the BUAP and it is in expansion adding innovation with multiple new applications in several fields such as biomedicine, materials and electronic devices. Our infrastructure is capable to improve innovation in several industrial fields in Puebla and the south-southeast region.

**KEYWORDS:** Nanoscience, materials, nanotechnology, carbon, emerging properties.

## Introducción

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) cuenta con 161 programas educativos, divididos en distintas Divisiones de Estudios Superiores (DES) como son las de Ciencias Sociales y Económico-Administrativas, Ciencias Exactas, Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología, Ciencias de la Salud, y Educación y Humanidades

El Instituto de Ciencias de la BUAP, la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, la Facultad de Ingeniería Química, el Instituto de Física “*Ing. Luis Rivera Terrazas*”, la Facultad de Ingeniería, la Facultad de Ciencias Químicas y la Facultad de Ciencias de la Electrónica realizan investigación básica o aplicada en áreas relacionadas con la nanociencia o la nanotecnología, destacándose la participación de los cuerpos académicos (CA) registrados ante el PRODEP de la Secretaría de Educación Pública en:

- Polímeros.
- Semiconductores nanoestructurados y orgánicos.
- Materiales nanoestructurados avanzados y sus aplicaciones.
- Física de materiales.

- Ingeniería de los procesos químicos y remediación ambiental.
- Operaciones y procesos en alimentos.
- Desarrollo de materiales y procesos químicos.
- Materiales fotoactivos.
- Física aplicada.
- Física de superficies e interfaces/materiales fotovoltaicos.
- Materiales complejos inteligentes y nanoestructurados.
- Materiales avanzados.
- Materiales fotocatalíticos y fotoconductivos.
- Física computacional de la materia condensada.
- Propiedades mecánicas y electrónicas de materiales.

En la BUAP participan 75 investigadores de los distintos cuerpos académicos mencionados, los cuales llevan a cabo investigaciones o desarrollos tecnológicos en áreas relacionadas con las nanociencias o con la nanotecnología.

## Investigación en nanotecnología de la BUAP

Los proyectos de investigación relacionados con las nanociencias se han cultivado desde la fundación en el año de 1950 de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas. Para 1972 un grupo de académicos, la mayoría docentes de esta escuela, decide formar un grupo de investigación en el área de Física de bajas temperaturas; y un poco tiempo después, es fundado el Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla (ICUAP) crisol de los grupos de investigación en las diversas áreas del conocimiento.

El ICUAP es la unidad académica más añeja en labores de investigación en el campo; fundada desde 1974, con la finalidad de reorganizar, coordinar y promover de manera sistemática la investigación científica y hacer más eficientes los recursos con los que contaba en aquel momento la universidad. Es importante mencionar que al crearse el ICUAP, se logra aglutinar a muchos investigadores dispersos en distintas escuelas y facultades universitarias permitiendo reunir sus esfuerzos, sistematizar sus investigaciones, lo cual constituyó un parteaguas para la investigación al seno de la universidad.

El ICUAP tiene injerencia directa en actividades relacionadas con las nanociencias, en las siguientes dependencias:

- Departamento de Semiconductores (DS).
- Departamento de Química: Área de Ingeniería Química (DIQ)
- Departamento de Físicoquímica (DFQ)
- Departamento de Físicoquímica de Materiales (DFQM)
- Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores (CIDS)
- Centro de Química (CQ)
- Departamento de Investigación en Zeolitas (DIZ)

En la BUAP las actividades de investigación se han detonado en las últimas décadas al punto de que, en la actualidad, no existe una escuela, facultad o instituto en donde no se registren actividades de investigación, contamos con un padrón institucional de 822 investigadores, de los cuales 542 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores, siendo líderes (niveles 2 y 3), uno de cada cuatro de los miembros del Sistema Nacional de Investigadores.

## **Líneas de investigación en nanociencias y nanotecnología**

Diversas líneas de investigación en estas áreas son desarrolladas por investigadores de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a continuación, tenemos una lista de proyectos llevados a cabo en el 2016:

### ***Propiedades físicas de sistemas aperiódicos***

Propiedades físicas ópticas, acústicas, de transporte de electrones etc. de sistemas aperiódicos. Respuesta óptica de cristales fotónicos deterministas aperiódicos unidimensionales y localización de radiación electromagnética (Saldaña *et al.*, 2009).

### ***Estudios de primeros principios de las propiedades de superficies y nanoestructuras semiconductoras***

Estudios de las propiedades estructurales, electrónicas y ópticas de semiconductores compuestos. Formación de nanoestructuras en superficies semiconductoras y la formación de nanoestructuras de semiconductores. También se exploran monocapas, nanoalambres y nanotubos, y su interacción con moléculas orgánicas (Galicia *et al.*, 2012).

### ***Semiconductores nanoestructurados sobre plantillas de materiales porosos para celdas solares y materiales funcionales***

Por electrodeposición se desarrollan: 1) nanoestructuras semiconductoras, basadas en  $\text{CuInSe}_2$ , se busca modular su ancho de banda para un mejor aprovechamiento del espectro solar para su aplicación en celdas solares; 2) nanoestructuras como amplificadores ópticos basados en matrices dieléctricas activados mediante dopado con lantánidos (De la Luz-Merino *et al.*, 2015).

### ***Estudio de materiales fotoactivos basados en silicio y sulfuros metálicos, y desarrollo de electrodos para baterías de litio***

Fabricación y estudio de micro y nanoestructuras de silicio preparadas por combinaciones de grabado, para ser utilizadas como ánodos de alta capacidad

de baterías de ion litio. Los ánodos obtenidos presentan capacidades más de 10 veces superiores a los ánodos convencionales Quiroga-González *et al.*, 2013).

### ***Síntesis de las nanopartículas de CuSbS<sub>2</sub> y desarrollo de las películas delgadas a partir de su tinta/pasta para aplicaciones en celdas fotovoltaicas***

Se aborda el procesamiento de celdas solares del tipo CdS/CuSbS<sub>2</sub> desarrollando técnicas de depósito de películas delgadas que garanticen la obtención de celdas con valores de alta eficiencia y adecuados para la escala industrial (Yang *et al.*, 2014).

### ***Síntesis y caracterización de nanomateriales***

Síntesis y caracterización de nanoestructuras con componentes metálicos, dieléctricos y semiconductores; para aplicaciones ambientales, de biosensado y distribución de fármacos (Castillo *et al.*, 2014).

### ***Modelado de las propiedades ópticas de sistemas a nanoescala***

Estudios teóricos y numéricos de las propiedades plasmónicas de sistemas a nano escala y fenómenos relacionados (resonancia de plasmones, SERS, campo cercano y otros). Determinación de la reflectancia y transmitancia de monocapas con arreglos periódicos de nanoestructuras (González *et al.*, 2007).

### ***Cambios estructurales asociados a factores ambientales en celdas solares basadas en perovskitas de plomo-haluros y dióxido de titanio sensibilizado por tintes***

Se estudian los cambios en la estructura local para celdas solares basadas en perovskitas de plomo-haluros (PSC) y TiO<sub>2</sub> sensibilizado por tintes (DSSC) debido a su exposición a factores ambientales (como humedad o vapor de agua) y el efecto en sus propiedades fotovoltaicas utilizando herramientas experimentales y teóricas, de esta forma proveer de un modelo que represente la cinética de portadores de carga en celdas solares DSSC y PSC (Villanueva-Cab *et al.*, 2016).

### ***Propagación de ondas en medios periódicos: cristales electrónicos, fotónicos y fonónicos***

Se estudia la propagación de ondas electrónicas, electromagnéticas y elásticas en sistemas periódicos. Los cristales electrónicos se analizan usando

métodos de primeros principios y semiempíricos. En el caso de los cristales fotónicos y fonónicos el estudio se realiza desde el punto de vista teórico y experimental. También se desarrollan teorías de homogeneización para estos últimos sistemas.

### ***Fabricación y caracterización de novedosas matrices luminiscentes basadas en el ternario CdO-Cu-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>***

Elaboración de materiales en matrices con propiedades luminiscentes novedosas y sus aplicaciones en distintos campos incluyendo el industrial (Lozada-Morales *et al.*, 2012).

### ***Estudio de plasmones asociados a nanopartículas en cristales fonónicos***

Creación de nanopartículas en cristales fonónicos con características de plasmones para distintas aplicaciones e innovaciones (Ramos-Mendieta *et al.*, 2014).

### ***Síntesis y caracterización de materiales híbridos orgánico-inorgánico. Materiales óxidos en masa (volumen) y en película delgada crecidos mediante sol-gel***

Se lleva a cabo síntesis de nanopartículas metálicas como dopantes para los diversos tipos de materiales híbridos orgánico-inorgánico (Zou *et al.*, s.f.).

### ***Síntesis y caracterización de nanopartículas cerámicas***

Síntesis y caracterización de nanopartículas cerámicas (ZnO, hidroxiapatita, grafeno, titanía, etc) con morfología controlada a través de rutas como sol-gel, precipitación hidrotermal asistido por microondas. Las aplicaciones se centran principalmente en fotocatalisis, liberación controlada de fármacos y obtención de recubrimientos polímero-cerámica de matriz polimérica con propiedades antibacteriales, anticorrosivas y resistentes al desgaste (González-Rivera *et al.*, 2016; Reyes-Cervantes *et al.*, 2016).

### ***Diseño de materiales compósitos nanoestructurados con porosidad controlada para aplicaciones medioambientales***

Estudio teórico-computacional de nanoestructuras, se estudian las propiedades electrónicas y estructurales de nanoestructuras principalmente en dos dimensiones, con el fin de investigar su posible aplicación en la adsorción de moléculas y para la liberación controlada de fármacos (Chigo-Anota *et al.*, 2015).

### **Síntesis, caracterización y evaluación de $\text{TiO}_2$ dopado con nanopartículas de plata para la degradación de azul de metileno**

Descripción: Se realiza la síntesis de nanopartículas metálicas empleando copolímeros tribloque, además de la biosíntesis de nanopartículas metálicas y se lleva a cabo su caracterización estructural y reológica (Tepale *et al.*, 2016).

### **Obtención de materiales funcionales avanzados nanoestructurados para el desarrollo de aplicaciones en dispositivos optoelectrónicos, en procesos catalíticos y en generación de energía**

Obtención de energía por métodos alternativos a los tradicionales y coadyuvar en la remediación del medio ambiente mediante procesos fotocatalíticos, todo ello utilizando semiconductores y materiales nanoestructurados híbridos funcionalizados o sin funcionalizar (Ha Thi Vu *et al.*, 2012).

### **Fabricación de películas de alúmina porosa anodizada para aplicación como sustratos de crecimiento de nanotubos de carbono**

Se obtienen poros muy ordenados en alúmina porosa anodizada para utilizarlos en la fabricación de nanotubos de carbono. Se realiza un estudio sistemático de los parámetros de fabricación de la alúmina porosa. Se utilizará el níquel como catalizador depositado también por anodización (Nazemi *et al.*, 2014).

### **Investigación de los efectos de la radiación en las propiedades fotoeléctricas y fotovoltaicas de nanoestructuras de óxidos semiconductores**

Estudiar experimentalmente los efectos de la radiación electromagnética sobre las propiedades de conducción en nanoestructuras de óxidos semiconductores. El método de obtención de los materiales será por *spray* pirolisis (Luna López *et al.*, 2014).

### **Uso de la sonoquímica para la preparación de nanomateriales: $\text{TiO}_2$ y $\text{ZnO}$**

Este proyecto se enfoca a preparar estos materiales nanométricos principalmente óxidos metálicos semiconductores, usando un procesador ultrasónico con el objetivo de estudiar sus propiedades para su aplicación en el área ambiental y de la salud (Pokhrel *et al.*, 2016).

## ***La creación de un centro multidisciplinario en nanociencias***

Un objetivo a lograr a más tardar en el 2017 es la creación de un centro que aglutine los esfuerzos antes expuestos, permita compartir los equipos con que se cuenta y, sobre todo, crear proyectos de alta envergadura para poder acceder a equipos de vanguardia que permitan consolidar lo hecho hasta ahora y aspirar a mejorar en las publicaciones en revistas internacionales, arbitradas e indexadas, obtención de patentes y licenciamientos y a la formación de recursos humanos con una formación sólida y con un gran impacto en el corto plazo en la innovación.

## **Colaboraciones**

Los distintos cuerpos académicos que participan en los proyectos de nanociencias tienen distintos convenios de colaboración con Instituciones e investigadores tanto nacionales como internacionales destacándose los siguientes:

El Instituto de Ciencias de la BUAP mantiene convenios de colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Monterrey, Nuevo León; con el Centro de Investigación en óptica de León, Guanajuato; Centro de Investigación en Química Aplicada en Saltillo, Coahuila; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con la Universidad de McGill, Canadá; con la Universidad Carlos III de Madrid, España; y con la Universidad Industrial de Santander, en Bucaramanga, Colombia.

La Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas con la Universidad de Sonora; CINVESTAV del IPN de la ciudad de México; con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) en Juriquilla, Querétaro; con el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM; con el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) de la UNAM campus Querétaro; y con el Instituto de Física de la UNAM.

El Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología mantiene colaboraciones con el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) de la UNAM; con la Universidad de Guanajuato; con el Instituto de Investigaciones Nucleares (ININ); con el CINVESTAV campus Querétaro; con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; y con el Instituto Tecnológico de Zacatepec, Morelos.

La Facultad de Ingeniería Química tiene relaciones de colaboración con el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo tecnológico (CCADET) de la UNAM; con el Instituto de Geofísica de la UNAM; con la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del Instituto Politécnico Nacional; con el Instituto Tecnológico de Puebla; con el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos Valencia, España; con la Universidad de Guadalajara; Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, en su campus Ensenada, Baja California.

El Instituto de Física “Luis Rivera Terrazas” tiene proyectos de colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia, España; con la Escuela Superior de Físico-Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional; con el CINVESTAV del Instituto Politécnico Nacional, campus Zacatenco, Ciudad de México; con la Universidad de Delaware Estados Unidos de América; con la Universidad Politécnica de Valencia, España; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con la Universidad de California en San Diego, Estados Unidos de América; con la Universidad Politécnica de Madrid, España, con el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), con la Universidad Autónoma de Morelos; con Sogang, Universidad de Seúl, Corea del Sur; con el Instituto de Tecnología de la India, Roorkee, India; con el Departamento de Investigación en Física de la Universidad de Sonora; con la Universidad de las Américas-Puebla (UDLA-P); con el CINVESTAV campus Mérida, Yucatán; con el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, campus Temixco, Estado de México; con el Departamento de Química, de la Universidad de Seúl, Corea del Sur; con la Universidad de Kiel, Alemania, con la Universidad Autónoma de Nuevo León; con la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; con el Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid; con el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España; con la Universidad del Norte de Texas, Denton Estados Unidos de América; con el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México; con la Universidad Autónoma de Campeche; con la Universidad Autónoma de Coahuila; y con la Universidad de Saarland en Saarbruecken, Alemania.

La Facultad de Ingeniería tiene convenios de colaboración con la Universidad de Virginia del Este en los Estados Unidos de América. Mientras que la Facultad de Ciencias Químicas colabora con la Universidad Autónoma Metropolitana campus Iztapalapa y campus Xochimilco; con el Instituto de Investigaciones Nucleares; con el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México; y con el Instituto Mexicano del Petróleo.

## Infraestructura

Las distintas unidades académicas de la BUAP cuentan con equipamiento que permite desarrollar tareas de investigación de vanguardia, el siguiente es un listado de los equipos más importantes y su ubicación.

### *Instituto de Ciencias*

- Equipo de ultravioleta Cary 300 con accesorios para muestras sólidas, en solución, en película y a temperaturas variables.
- Equipo de cromatografía líquida de alta presión con fluidos supercríticos con columna quiral y detección por ultravioleta y espectrómetro de masas.

**FIGURA 1.** Equipo de emisión de campo y microscopía electrónica de barrido (Field Emission-Scanning Electron Microscopy (FE-SEM), Marca Jeol, modelo JSM-7800F.

Este equipo permite observar morfologías con una magnificación de hasta 1 000 000X con una resolución de menos de 1nm. Laboratorio de análisis de superficies.

Responsable: Dr. Rutilo Silva, Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".



- Equipo de absorción atómica con generador de plasma.
- Equipo de resistividad de cuatro puntas marca Jandel.
- Equipo de impedancia para determinación de constante dieléctrica.
- Equipo de cromatografía de permeación en gel con bomba de alto rendimiento 515 marca Waters.
- Detector de dispersión de luz multi-ángulo de ocho ángulos, DAWN Heleos de marca Wyatt .
- Detector de índice de refracción OptilabrEX de marca Wyatt.
- Detector en línea de viscosidad ViscoStar marca Wyatt.
- Potenciostato PGSTAT Modelo 128 N con módulo FRA32M para mediciones de impedancia, marca Metrohm.
- Turbidímetro 2100p marca Hach.
- Aparato para prueba de jarras de seis paletas marca Hach.
- Potenciómetro automático marca Titrino Metro.
- Microscopio de fuerza atómica Nanosurf easyScan 2 AFM.
- Microscopios ópticos marca Roscope y Motic.
- Espectrofotómetro ultravioleta OceanOptics SD 2000 con esfera integradora para fluorescencia.
- Sistema de evaporación con alto vacío marca Edwards.
- Espectrofotómetro de ultravioleta visible marca Varian.

**FIGURA 2.** Equipo de difracción de rayos X con radiación de cobre (Cu), marca Panalytical modelo Empréan.

Con este equipo se pueden realizar experimentos en modo reflexión o transmisión el cual se ubica en el Laboratorio de Difracción de Rayos X del Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".

Responsables: Dra. Ma. Eugenia Mendoza, Ing. Leonel San Román.



- Dos rotavapores marca Heidolph.
- Secadora con vacío marca SEV.
- Bomba de vacío rotatoria marca Shimatzu.
- Viscosímetro marca Brookfield.
- Microscopio estereoscópico marca MY con cámara ZENIT 122.
- Mantas de calentamiento con agitación magnética marca SEV para matraces.
- Manifold para atmósfera inerte/vacío con cuatro puertos marca SEV.
- Destilador para reciclado de solventes con capacidad de cuatro litros, marca SEV.
- Aparato de punto de fusión marca Electrothermal.
- Baño ultrasónico marca Fisher Scientific.
- Recirculadores para refrigeración, marca SEV.
- Difractómetro de rayos X marca Bruker.
- Chiller
- Programas de medición; XRD Commander, XRD Wizard, D8 Tools, D8 Doctor.
- Programas de evaluación; Diffrac plus Basic, Eva, PDFmaint, Dquant, Leptos
- Base de Datos PDF2
- Base de Datos PDF-4+
- Láseres rojo, azul con seis líneas, violeta a 405 nm, ultravioleta de He-Cd de 325 nm.

**FIGURA 3.** Equipo Nanolog Horiba JOBIN YVON.

Éste es un equipo de fluorescencia con una resolución temporal alta, y con barridos desde 180 hasta 1,200 nm. Medida de tiempos de vida en el orden de nanosegundos. Laboratorio de fluorescencia resuelta en tiempo.

Responsable: Dr. Antonio Méndez Blas, Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas".



- Detectores: InGaAs, PbS/Si, Si.
- Monocromador de medio metro.

### ***Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología***

- SEM, DRX, AFM, HPLC, CG, TGA-DSC, ICP-PLASMA, FTIR, UV-VIS, Potenciostato.
- Espectroscopía dieléctrica.
- Laboratorio de microbiología.

### ***Facultad de Ingeniería Química***

- Electrospinning e infraestructura para su caracterización física y química.
- Espectrofotómetro ultravioleta-VIS, reómetro rotacional.

**FIGURA 4.** Equipo PPMS Dyna Cool-9.

Éste es un sistema de medición de propiedades eléctricas y magnéticas de nanomateriales.

Responsables: Dr. Umapada Pal, Dra. Ma. Eunice de Anda Reyes, Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”.



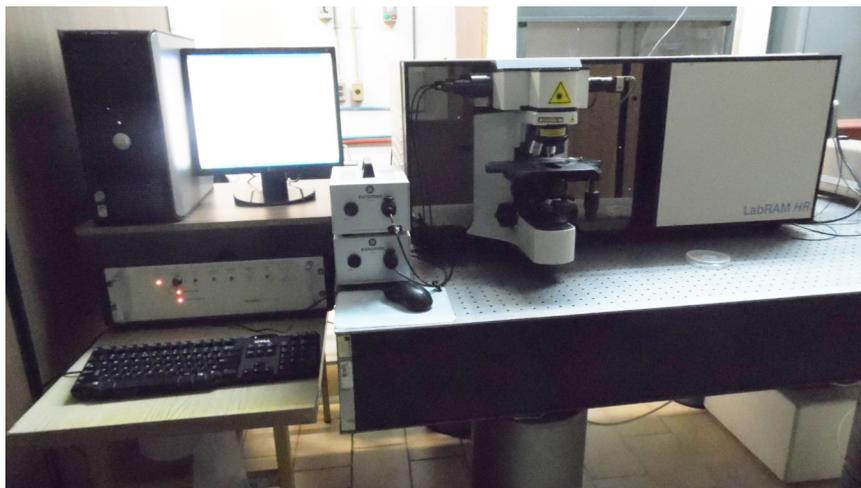
### **Instituto de Física “Ing. Luis Rivera Terrazas”**

- Microscopio electrónico de barrido de alta resolución, espectrofotómetro ultravioleta y visible, fotoluminiscencia, micro Raman.
- Dos sistemas de electrodeposición completos e independientes.
- Baño químico para reacciones químicas de precipitación.
- Sistema de anodización electroquímica para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
- Sistema de *Spray Pyrolysis*.
- Sistema de *Spin coating*.
- Sistema de procesamiento térmico rápido (RTP) para selenización y/o sulfurización.
- Sistema de silicio poroso.
- Horno tubular para procesamiento térmico de materiales con Ar,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ .
- Mesa óptica.
- Láser ultravioleta para grabado holográfico.
- Sistema de crecimiento de nanomateriales que tiene: hornos, reactores, autoclaves, sistema de espurreo r.f., horno de microondas, homogeneizador ultrasónico.
- Equipos para caracterización de materiales que contiene: espectrómetro ultravioleta-Vis marca Shimadzu; análisis de textura por

**FIGURA 5.** Equipo de Micro Raman marca Horiba, modelo LabRAM HR.

Este equipo permite medir modos vibracionales, rotacionales u otros modos de baja frecuencia, para muestras en estado sólido (polvos, pastillas, cristales, etc.) o en solución. Cuenta con un láser de He-Ne en 632.8 nm de longitud de onda, objetivos de Microscopio Olympus a 10x, 50x y 100x, así como con una platina automatizada para realizar muestreos.

Responsable: M. en C. Laura Serrano, Laboratorio Central.



adsorción-desorción Belsorp Mini-II; sistema de caracterización magnética y eléctrica PPMS Dynacool 9.

- Espectrómetro Ultravioleta-Vis, marca Varian con accesorio de reluctancia difusa.
- Microscopio electrónico de barrido JEOL.
- Difractómetro de rayos-X Bruker modelo Discover D8.
- Espectrofotómetro de fluorescencia, marca Varian.
- Sistema de medidas de propiedades físicas marca Dyna Cool-9.
- Mufflas con programación de rampas de calentamiento.
- Equipo dedicado a cómputo científico con ocho procesadores Intel-Xeon (104 núcleos) de 320 GB de memoria RAM y 884 GB de almacenamiento en disco; además de acceso al Laboratorio Nacional de Súpercomputo del Sureste con sede en la BUAP que tiene un clúster “txamula” con 28 procesadores Xeon (216 cores) y 800 GB en RAM distribuidos en 8 nodos.
- Mini CVD, Sistema Schlenk, equipo de inmersión, espectroscopía Raman, espectroscopía ultravioleta-Vis-NIR, FE-SEM.
- Perfilómetro con capacitancia-voltaje, y efecto Hall.
- Equipo de depósito de capas delgadas de SiO<sub>2</sub> por LPCVD.
- Reactores para síntesis solvotermal.
- Sistema de rocío pirolítico.
- Sistema de fotolitografía.

- Equipo de caracterización acústica; VNA, con transductores de 1.1 GHz.
- Centro de cómputo donde se cuenta con un clúster y estaciones de trabajo.

### **Facultad de Ciencias Químicas**

- Material de vidrio para elaborar nanomateriales.

Por último, el Laboratorio Nacional de Súpercómputo es una herramienta fundamental para realizar cálculos, simulaciones y creación de algoritmos para el diseño de nuevos materiales y modelar sus propiedades.

## **Conclusiones**

El área de las nanociencias y nanotecnología en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla es un eje fundamental para el desarrollo de la ciencia básica para las nanociencias y sus aplicaciones. Su desarrollo y fortalecimiento es una prioridad dado que somos parte del clúster automotriz de la meseta central de México y con opciones de ampliación a la industria aeroespacial, mecatrónica, moletrónica y automatización. El arribo de Audi a San José Chiapa ha ampliado nuestra influencia a las cercanías de los estados de Tlaxcala e Hidalgo lo que seguramente potenciará el desarrollo en las nanociencias. La creación de un centro multidisciplinario en nanotecnología por parte de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado permitirá reunir esfuerzos de los investigadores, consolidar los posgrados existentes y la creación de nuevos, y lo más importante es que acercará a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla al sector industrial y sobre todo lograr que los empresarios vean en la ciencia, en particular la nanotecnología, una opción viable para la resolución de sus problemas y desarrollo de materiales a escala nanométrica y con alto valor agregado.

## **Bibliografía**

- Castillo, D. N.; U. Pal. 2013. "Green synthesis of Au nanoparticles using potato extract: stability and growth mechanism". *Journal of Nanoparticulate Research*, vol. 16, 2571.
- Chigo-Anota, E.; A. Escobedo-Morales, H. Hernández-Cocolezzi, J. G. López y López. 2015. "Nitric oxide adsorption on non-stoichiometric boron nitride fullerene". E.; vol 74, 538.
- Corro, G.; L. Paniagua, U. Pal, F. Bañuelos. 2013. "Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions". *Energy Conversion Management*, vol. 74, 471.

- De la Luz-Merino S.; M. E. Calixto. 2015. "Nanostructured CuInSe<sub>2</sub> by electrodeposition with the assistance of porous silicon templates". *Materials Chemistry and Physics*, vol. 163, 362.
- Galicia, J. M.; G. Hernández Cocolletzi, y E. Chigo Anota. 2012. "DFT studies of the phenol adsorption on boron nitride sheets". *Journal of Molecular Modeling*, vol. 18, 137.
- González, A. L.; C. Noguez. 2007. "Influence of morphology on the optical properties of metal nanoparticles". *Journal of Computer and Theoretical Nanoscience*, vol 4, núm. 2, 231.
- González-Rivera, Y. A.; A. N. Meza-Rocha, L. Aquino-Meneses, S. Jiménez-Sandoval, E. Rubio-Rosas, U. Caldiño, E. Álvarez, O. Zelaya, A. M. Toledo-Solano y R. Lozada-Morales. 2016. "Photoluminescent and electrical properties of novel Nd<sup>3+</sup> doped ZnV<sub>2</sub>O<sub>6</sub> and Zn<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>7</sub>". *Ceramics International*, vol. 42, 8425.
- Lozada-Morales, R.; A. Cid-García, G. López-Calzada, M. E. Zayas, O. Zelaya, A. J. Carmona-Rodríguez, E. Rubio-Rosas, R. Palomino-Merino, O. Portillo-Moreno y S. Jiménez-Sandoval. "Effect of Er-doping on the structure and optical properties of Cd<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>7</sub>". *Physica Status Solidi A*, vol. 209, núm. 11, 2281.
- Luna López, J.A.; J. L.Sosa Sánchez, S. Granillo Martínez, J. Carrillo López, J. F. Flores-Gracia, J. Martínez-Juárez, D. Hernández de la Luz, N. D. Espinosa-Torres y K. Monfil Leyva. 2014. "Structural and optical properties of a new soluble Erbium (III) octa-substituted bis-phthalocyanine complex". *Superficies y Vacío*, vol. 27, núm. 4, 110.
- Nazemi, A.; S.A. Seyed Sadjadi. 2014. "Controlling the anodizing conditions in preparation of an nanoporous anodic aluminium oxide template". *Materials Science-Poland*, vol. 32, núm. 4, 565.
- Pokhrel, N.; P. Kiran Vabbina, N. Pala. 2016. "Review sonochemistry: Science and engineering". *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 29, 104.
- Quiroga-González, E.; J. Carstensen, H. Föll. 2013. "Optimal Conditions for fast charging and long cycling stability of silicon microwire anodes for lithium ion batteries, and comparison with the performance of other Si anode concepts". *Energies*, vol. 6, 5145.
- Ramos-Mendieta, F.; J. A. Hernández-López y M. Palomino-Ovando. 2014. "Transverse magnetic surface plasmons and complete absorption supported by doped graphene in Otto configuration". *American Institute Physics Advances*, vol. 4, 067125.
- Reyes Cervantes, E.; M. González-Torres, S. Vargas-Muñoz, E. Rubio-Rosas, C. Vázquez, y R. Rodríguez-Talavera. 2016. "Growth of hydroxyapatite on the cellular membrane of the bacterium *Bacillus thuringiensis* for the preparation of hybrid biomaterials". *Materials Science and Engineering C*, vol. 58 614.
- Saldaña, X. I.; E. López-Cruz y D. A. Contreras-Solorio. 2009. "Self-similar optical transmittance for a deterministic aperiodic multilayer structure". *Journal Physics and Condensed Matter*, vol. 21, 155403.
- Tepale, N.; V. Fernández, C. Álvarez, E. Flores, V. González, D. Cruz, M. Sánchez. 2016. Morphological and rheological characterization of gold nanoparticles

- synthesized using pluronic P103 as soft-template”. *Journal of Nanomaterials*, Article ID 7494075, 11 pp.
- Thi Vu, T.H.; T.T. Thi Nguyen, P. Hoa Thi Nguyen, M. Hung Do, H. Thi Au, T. Binh Nguyen, D. Lam Nguyen, J. Seo Park. 2012. “Fabrication of photocatalytic composite of multi-walled carbon nanotubes/TiO<sub>2</sub> and its application for desulfurization of diesel”. *Materials Research Bulletin*, vol. 47, 308.
- Villanueva-Cab, J.; J. L. Montaña-Priede y U. Pal. 2016. “Effects of plasmonic nanoparticle incorporation on electrodynamic and photovoltaic performance of dye sensitized solar cells”. *Journal of Physics and Chemistry C*, vol. 120, 10129.
- Yang, B.; L. Wang, J. Han, Y. Zhou, H. Song, S. Chen, J. Zhong, L. Lv, D. Niu, J. Tang. 2014. “CuSbS<sub>2</sub> as a promising earth-abundant photovoltaic absorber material: A combined theoretical and experimental study”. *Chemical Matter*, vol. 26, 3135.
- Zou, X.; Y. Li, X. Huang, J. Shi y J. Zhao. 2014. “De-sensitized titanium dioxide for gas detection. Titanium dioxide: Chemical Properties, Applications and Environmental Effects. J. Brown (ed.). Nova Science Publishers, cap. 6, 131.

# Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM

Víctor Sánchez Mendieta,<sup>1</sup> Dora Alicia Solís Casados<sup>2</sup> y Alfredo Rafael Vilchis Néstor<sup>3</sup>

**RESUMEN:** Se describe brevemente el origen del Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM (CCIQS). Se presentan principalmente las actividades científicas que se desarrollan en este centro relacionadas con la nanociencia y la nanotecnología (NyN), y a los investigadores responsables de las mismas. Además, se relata de manera sucinta la importancia de la formación de recursos humanos a través de los programas de licenciatura y posgrado de la Facultad de Química de la UAEM.

**PALABRAS CLAVE:** Nanociencia, nanotecnología, nanoquímica, licenciatura, posgrado.

**ABSTRACT:** The origin of the Sustainable Chemistry Research Joint Center UAEM-UNAM (CCIQS) is described here. The main scientific activities performed therein regarding nanoscience and nanotechnology (N&N), and the researchers involved in them, are also portrayed. In addition, there is a brief description about the relevance of human resources development, throughout the bachelor and graduate studies programs available in the School of Chemistry at UAEM.

**KEYWORDS:** Nanoscience, nanotechnology, nanochemistry, bachelor, postgraduate.

El Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM (CCIQS) se encuentra localizado en el municipio de Toluca, Estado de México (Km. 14.5 de la carretera Toluca-Atlacomulco), dentro de un complejo de centros de investigación de la Universidad Autónoma del Estado de México, conocido como El Rosedal. Nace de la conjunción de ideas entre la Facultad de Química de la UAEM y el Instituto de Química de la UNAM, para crear un espacio multidisciplinario en química que atendiera, principalmente las necesidades de investigación en el país relacionadas con la química sustentable. Estas dos instituciones han tenido una colaboración muy estrecha desde la creación de la hoy Facultad de Química de la UAEM en 1970. Así, el CCIQS se hizo realidad a través de la firma de un convenio entre la UAEM y la UNAM el 24 de mayo de 2007. De esta manera quedó plasmado en el convenio que en el CCIQS UAEM-UNAM habría:

---

Recibido: 28 de septiembre de 2016. Aceptado: 5 de octubre de 2016.

<sup>1</sup> Profesor-Investigador del CCIQS, pionero en nanoquímica en la UAEM. Correspondencia: (vsanchezm@uaemex.mx).

<sup>2</sup> Profesora-Investigadora del CCIQS. Correspondencia: (daSolisc@uaemex.mx).

<sup>3</sup> Profesor-Investigador del CCIQS y líder del Cuerpo Académico nanomateriales de la UAEM. Correspondencia: (arvilchisn@uaemex.mx).

**IMAGEN 1.** Edificio principal del CCIQS UAEM-UNAM.



Una relación donde ambas universidades comparten riesgos, afrontan problemas-retos y colaboran en actividades académicas de docencia e investigación, todo lo anterior de manera conjunta. En este modelo se concibe a la UNAM como una institución de apoyo y no de competencia con la Facultad de Química de la UAEM durante un tiempo determinado en el convenio de colaboración.

El CCIQS UAEM-UNAM fue inaugurado el día 9 de septiembre de 2008.

## Investigación y desarrollo

La investigación en NyN en la UAEM nace en la Facultad de Química, cuando en el año 2001, el Dr. Víctor Sánchez Mendieta es contratado por esta facultad como profesor de tiempo completo. Este investigador, durante su paso por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), realizó en 1994 una estancia de investigación en la Universidad de Syracuse, Estados Unidos, con el Dr. Janos Fendler, quien a la postre resultó ser uno de los investigadores pioneros más importantes en las áreas de nanopelículas y nanopartículas de oro, así como de estudios de resonancia superficial de plasmón (SPR) de nanoestructuras. Posteriormente, ya en la Facultad de Química, el Dr. Sánchez Mendieta desarrolló varios trabajos sobre la síntesis química de nanopartículas de metales, metales nobles y de nanoaleaciones, haciendo énfasis en metodologías de síntesis sencillas. Otra área de interés ha sido la formación de nanocompositos de nanopartículas metálicas (Fe,

Cu, Ag) soportadas en materiales inorgánicos (zeolitas, material carbonoso, etc.) o biológicos (fibras de seda, material celulósico, etc.), para generar materiales funcionales que pueden aplicarse, principalmente, en la degradación o remoción de contaminantes (colorantes orgánicos o metales pesados) de soluciones acuosas. Además, ha desarrollado trabajos acerca de la interacción de nanopartículas metálicas con grupos funcionales de diversos sustratos, como polímeros o celulosa, estudiados principalmente con el apoyo de la espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X. Desde la creación del CCIQS, el Dr. Sánchez Mendieta ha colaborado con los investigadores que realizan nanociencia en ese Centro. A partir de agosto de 2016, el Dr. Sánchez Mendieta, quien es nivel 2 en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), está comisionado al CCIQS.

Una de las principales líneas de investigación desarrolladas en el CCIQS tiene que ver con la biosíntesis de nanopartículas de metales nobles empleando agentes reductores biológicos, tales como el té verde, trabajo publicado en 2008 y por cual el Dr. Víctor Sánchez Mendieta y el Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor son considerados pioneros a nivel mundial en la generación de nanopartículas de metales nobles a través de agentes biorreductores.

El Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor, miembro del SNI nivel 2, realiza actualmente investigaciones sobre la síntesis de nanopartículas mono y bimetalicas asistida por métodos biológicos, empleando tanto extractos de plantas como microorganismos. Esta línea de investigación ha sido la de mayor desarrollo e impacto, tanto por el número de trabajos de investigación como por el número de citas que han generado (alrededor de 400 considerando sólo dos artículos publicados), así como por el número de alumnos graduados de posgrado y licenciatura. A la par, desarrolla materiales nanoestructurados multifuncionales para aplicaciones en sensado, biomedicina y plasmónica, con propiedades magnéticas y catalíticas, dentro de los cuales se estudian los textiles inteligentes a base de nanopartículas metálicas soportadas en materiales celulósicos. Cabe mencionar que el Dr. Vilchis Néstor es especialista en estudios de caracterización de nanoestructuras por medio de microscopía electrónica de barrido y transmisión.

La Dra. Dora Alicia Solís Casados, profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México en el CCIQS UAEM-UNAM, cuenta con perfil deseable PRODEP y es miembro del SNI nivel 2. La Dra. Solís ha trabajado en la obtención de materiales nanoestructurados con aplicaciones en catálisis heterogénea. Inició a trabajar en la obtención de  $\text{CeO}_{2-x}$  con tamaño nanométrico, usando la técnica asistida por surfactantes, donde se hizo uso de una solución micelar de un surfactante no-iónico como lo es el polímero Brij 35, los catalizadores así obtenidos fueron caracterizados por microscopía electrónica de transmisión y difracción de rayos-X con el refinamiento Rietveld para determinar el tamaño de las partículas obtenidas. En otros trabajos de investigación desarrollados por la Dra. Solís se

obtuvieron polvos nanoestructurados de  $\text{TiO}_2$  usando diferentes métodos de obtención como la precipitación homogénea clásica, la síntesis hidrotermal, la síntesis solvotérmica y el uso de diferentes agentes directores de la estructura como los conocidos polímeros Brij 35 y Pluronic 123. De la misma manera ha reportado la obtención de materiales basados en  $\text{SnO}_{2-x}$  y  $\text{TiO}_2$  modificado con diferentes metales entre los que destacan el Sn, Pd, Fe, Bi, Ni, Au, entre otros, modificaciones que han aportado un gran avance en el desarrollo de materiales nanoestructurados con menor energía de banda prohibida lo cual los hace susceptibles de aplicarse como fotocatalizadores sensibles a la luz visible. La obtención de catalizadores en forma de polvo nanoestructurado en la línea de investigación de la mencionada investigadora, le ha permitido incrementar el área superficial catalíticamente accesible en estos materiales, con lo cual se ha observado un mejor desempeño de la formulación catalítica, con una mayor actividad catalítica y en algunos casos se observó la selectividad hacia rutas de reacción predefinidas.

Dentro de las líneas de investigación que atiende el Dr. Gustavo López Téllez, investigador nivel 1 en el SNI, se han obtenido materiales compuestos a partir de cáscara de naranja y nanopartículas metálicas de oro, plata, óxidos de hierro, cobre y zinc, logrando así aprovechar un material considerado como basura (cáscara de naranja), para darle un reuso, en este caso específico, dicho material se ha utilizado como soporte de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos, el material final se ha probado satisfactoriamente para eliminar *E. Coli* de aguas contaminadas, para remover cromo hexavalente, y para degradar colorantes orgánicos de soluciones acuosas. También se ha utilizado la cáscara de naranja como un material reductor para la síntesis de las mismas nanopartículas, obteniendo distintas morfologías dependiendo del método de síntesis utilizado, la obtención de formas definidas tiene potencial en distintas aplicaciones, como el sensado de disolventes y gases, así como en propiedades ópticas. La obtención de nanopartículas por dichos métodos verdes se ha utilizado para incorporarlas a su vez en matrices poliméricas, con la peculiaridad de incorporarlas en la superficie del polímero, a diferencia de técnicas tradicionales donde las nanopartículas quedan dentro de la matriz polimérica, una investigación se centró en obtenerlas en la superficie del polímero, logrando con esto aprovechar las propiedades únicas que tienen las nanopartículas al encontrarse en la superficie, la síntesis resultó un éxito, pudiendo incorporar nanopartículas de oro, plata, y óxidos de hierro y cobre en la superficie de los polímeros del alcohol polivinílico, del metacrilato de metilo y de poliestireno. Se han estudiado también las propiedades de conductividad eléctrica que confieren las nanopartículas a los materiales poliméricos antes mencionados, y actualmente se estudian las propiedades térmicas y de memoria de forma que presentan dichos materiales poliméricos compuestos, dentro de la memoria de forma se está estudiando la respuesta a estímulos principalmente térmicos. De igual modo, se están explorando las propiedades ópticas que

presentan dichos materiales, enfocados en el efecto SERS (*surface enhanced raman spectroscopy*), la cual es un área con aplicaciones en sensado de trazas de elementos y/o moléculas de interés, tales como arsénico en agua, explosivos (para la seguridad en aeropuertos) y otras aplicaciones potenciales.

En otra línea de investigación, el Dr. López Téllez ha colaborado con distintos investigadores en diversas áreas, al realizar estudios de espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X (XPS) de zeolitas, catalizadores inorgánicos, materiales compuestos, grafeno, nanotubos de carbono, polímeros, membranas, así como estudios de la interacción de nanopartículas metálicas con diversos sustratos, los cuales han tenido repercusión en estudios relacionados con las áreas de la química orgánica, inorgánica, ciencias ambientales, ciencia de materiales, odontología, etc. Cabe mencionar que los estudios de XPS se han llevado a cabo no sólo con otros centros de investigación sino también en colaboraciones con el sector industrial.

El Dr. Oscar Olea Mejía, nivel 1 en el SNI, ha trabajado con materiales compuestos poliméricos y estudiado sus propiedades mecánicas, tribiológicas y eléctricas. Respecto a técnicas de caracterización, tiene experiencia en microscopía electrónica tanto de barrido como de transmisión así como en espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X. Ha empleado dichas técnicas para estudiar diversos materiales, como películas delgadas de semiconductores, materiales compuestos naturales, dientes humanos, etc. Hoy en día trabaja en la generación de nanopartículas metálicas por métodos físicos como la ablación láser y el plasma pulsado en medio líquido. Dichas técnicas se pueden considerar como “verdes” ya que no hay generación de subproductos peligrosos además de llevarse a cabo a condiciones ambientales. Dichas nanopartículas han sido utilizadas para distintas aplicaciones entre las que destacan aplicaciones médicas donde ha creado junto con su grupo de trabajo materiales compuestos capaces de inhibir el crecimiento de microorganismos. Dichos materiales también se han utilizado en la industria automotriz. Otra área de gran interés es el cuidado del medio ambiente. En este respecto, el Dr. Olea ha trabajado con nanopartículas principalmente de hierro y cobre para la remediación de aguas contaminadas, eliminando metales pesados y contaminantes orgánicos por métodos de oxidación avanzada y adsorción utilizando biomateriales como la cáscara de naranja. También ha utilizado nanopartículas de metales nobles para detectar niveles de trazas contaminantes orgánicos con ayuda de la espectroscopía Raman donde se han podido detectar concentraciones de contaminantes del orden de  $1 \times 10^{-10}$  M.

El Dr. Raúl Alberto Morales Luckie, nivel 1 en el SNI, desarrolla las líneas de investigación de: biosíntesis de nanopartículas metálicas sobre sustratos poliméricos renovables y desarrollo de métodos químicos sintéticos sencillos para la obtención de bionanocompositos con aplicaciones catalíticas. El desarrollo de métodos químicos sintéticos sencillos para la obtención

de nanoestructuras soportadas sobre materiales existentes dando preferencia a sustratos renovables, con especial orientación a celulósicos, los cuales tengan una potencial aplicación a corto plazo. En este sentido, se han decorado fibras de materiales celulósicos y proteínicos, como la seda, con nanopartículas de plata, dando origen a lo que denominamos fibras inteligentes ya que se logra hacer una sinergia entre los componentes que generan el biocomposito. Un ejemplo es el hilo de sutura que se generó al utilizar fibras que cumplan con las propiedades físicas de dicho hilo, al incorporarle las nanopartículas de plata, por lo cual se obtiene la protección antibacterial de amplio espectro proporcionado por estas nanopartículas. Además, la bio-reducción se realiza con un agente con propiedades antiinflamatorias y un posterior tratamiento con otro agente con propiedades cicatrizantes. Como se puede observar, el desarrollo de estos métodos sintéticos está basado en seguir el mayor número de principios de la química verde, y lograrlo de una manera económica, pues al utilizar agua como solvente, a presión atmosférica y a temperatura ambiente se logra obtener un método accesible. Respecto de las aplicaciones catalíticas se han desarrollado sistemas de nanopartículas de platino sobre hueso para utilizarlos en hidrogenación selectiva, hierro-cobre para la eliminación de colorantes y herbicidas.

Aunado a las actividades de investigación antes mencionadas, se cuenta con el Cuerpo Académico (CA) en consolidación denominado “Nanomateriales” (Clave UAEM-CA-154), conformado por un grupo de seis profesores-investigadores de la Facultad de Química de la UAEM, cinco de los cuales están comisionados al CCIQS; además de estar adscritos al Programa de Maestría y Doctorado en Ciencia de Materiales de la UAEM, participan activamente en las 5 licenciaturas que se imparten en la Facultad de Química de la UAEM. Este CA promueve entre sus miembros una constante actualización docente y de investigación, generación de conocimiento, formación de recursos humanos, movilidad nacional e internacional y la búsqueda permanente de financiamiento para proyectos de investigación. Todo esto se ve reflejado en una estrecha colaboración entre sus miembros y con grupos de investigación nacionales y extranjeros, teniendo como objetivo principal ser un grupo de investigación líder en Ny N a nivel nacional e internacional.

La línea de investigación del CA Nanomateriales contempla el desarrollo de métodos físicos, químicos y biológicos para la obtención de materiales nanoestructurados y la evaluación potencial de sus propiedades catalíticas, optoelectrónicas y magnéticas. Entre los principales logros de este cuerpo académico está la publicación en el año 2013 del libro: *Nanoestructuras metálicas: síntesis, caracterización y aplicaciones* (ISBN: 978-84-291-7972-9), el cual fue editado en España por editorial Reverté.

## Formación de recursos humanos

Uno de los principales objetivos del CCIQS UAEM-UNAM es la labor de formación de recursos humanos de alto nivel en las diferentes áreas de la química. Todos los profesores-investigadores que realizan investigación en nanociencia y nanotecnología imparten cátedra en alguno de los cinco programas de licenciatura que existen en la Facultad de Química de la UAEM: químico, químico farmacéutico biólogo, químico en alimentos, ingeniero químico e ingeniero petroquímico. Es por ello que dirigen proyectos de corto plazo para alumnos de licenciatura de estos programas que buscan obtener su título correspondiente. De igual manera, estos investigadores colaboran estrechamente con alumnos de maestría y doctorado en la consecución de su grado correspondiente, principalmente en los programas de Ciencia de Materiales, Ciencias Químicas y Ciencias Ambientales de la Facultad de Química de la UAEM, todos ellos programas de calidad de CONACyT.

A la fecha, el CCIQS UAEM-UNAM cuenta con aproximadamente 210 alumnos realizando algún tipo de tesis de licenciatura o posgrado; son aproximadamente 45 los que están dedicados a investigaciones sobre NyN.

## Infraestructura

El CCIQS UAEM-UNAM cuenta con los siguientes equipos y técnicas analíticas, que apoyan las investigaciones en nanociencia y nanotecnología:

- Espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X.
- Microscopía electrónica de barrido acoplado a detector EDS.
- Microscopía electrónica de transmisión. Con detector de EDS, y con detectores STEM-BF y STEM-ADF.
- Microscopía de fuerza atómica.
- Microscopía confocal.
- Calorimetría: DSC (calorimetría diferencial de barrido) y TGA (análisis termo gravimétrico).
- Resonancia magnética nuclear (H, C, F, P) y bidimensionales.
- Análisis elemental por plasma inductivamente acoplado a espectroscopía de masas.
- Difracción de rayos-X de polvos.
- Difracción de rayos-X de monocristal
- Espectrometría de masa
- Espectroscopía de infrarrojo.
- Espectroscopía Raman.
- Analizador automatizado de adsorción de gases.

**FIGURA 1.** Microscopio electrónico de barrido – Espectroscopía por dispersión de energía de rayos-X para análisis elemental y mapeo químico.



**Características:** JEOL JSM-6510LV; voltaje de aceleración de 1 a 30 kV, filamento de tungsteno, cuenta con detectores de electrones secundarios y retrodispersos, en modalidad de alto vacío; en modalidad de bajo vacío, cuenta con detector de electrones retrodispersos, resolución máxima de 5nm en modalidad de alto vacío y con electrones secundarios. Alcanza magnificaciones de 30x a 300,000x acoplado a detector de rayos-X, para hacer análisis químico por medio de dispersión de energía (EDS) marca OXFORD, con resolución de 137 eV. Para la preparación de muestras se cuenta con una cámara de *sputtering* marca DENTON Desk IV para recubrir con oro, platino o grafito, posee un sistema de vacío con aire de 30 a 1000 mtorr, con capacidad para 8 muestras.

**FIGURA 2.** Microscopio electrónico de transmisión con detector Noran para análisis elemental mediante EDS, y dos detectores STEM para campo claro (STEM-BF) y anular de campo oscuro (STEM-ADF).



**Características:** JEOL-2100 de 200 kV con filamento de LaB6. Con una resolución de 0.23 nm punto a punto y 0.14 nm línea a línea. Alcanza magnificaciones de 2000x a 1.5 Mx, en modo normal, y de 50x a 6000x, en modo de baja magnificación. La adquisición de las micrografías se lleva a cabo de manera digital a través de una cámara CCD de Gatan, modelo SC200. Se tiene acoplado un detector de rayos-X para análisis por dispersión de energía (EDS) marca NORAN. Está también equipado con dos detectores para STEM, de campo claro (BF-detector) y anular de campo oscuro (ADF-detector). Es posible también realizar difracción de electrones de área selecta.

**FIGURA 3.** Sistema confocal espectral, modelo TCS SPE dmi 4000, Marca Leica.



**Características:** El microscopio confocal LEICA TCS SPE cuenta con 8 canales secuenciales, 4 láseres de estado sólido que cubren todo el rango de longitud de onda, con emisiones en: 405 nm (violeta), 488 nm (azul), 532 nm (verde) y 635 nm (rojo). Las fuentes de excitación láser tienen nuevos lentes de corrección para el desfaseamiento del haz láser; y un escáner totalmente automatizado, con prismas para la detección espectral, con obturador de alta velocidad para el cambio de excitación de manera automática con IFW y el sistema de iluminación EL6000, cuya lámpara tiene un tiempo de vida de 2000 h. El control de láser es totalmente automatizado (AOTF), con lo cual se regula la intensidad del láser ajustando de 0 a 100% dando una óptima iluminación, para la preservación de la muestra disminuyendo el blanqueamiento, no tiene partes móviles, lo que nos da un resultado con mayor rapidez y precisión. Pieza Z-Galvo de alta precisión en Z, funciona con todos los objetivos, la plataforma modular con interfaces predeterminadas, el diámetro de campo de los oculares es de 10x/25mm.

FIGURA 4. Espectrómetro fotoelectrónico de rayos X.



**Características:** Marca JEOL JPS-9200, fuente dual de magnesio y aluminio para modalidad estándar, en modalidad monocromática opera con fuente de aluminio y un cristal de cuarzo. Potencia máxima de 500 watts con la fuente de magnesio y de 600 watts con la de aluminio. Equipado con pistola de iones argón para *etching* y *depth profile*. Áreas de análisis de 1 mm, 0.2mm y 0.03 mm. Resolución de 0.75 eV (fuente de magnesio) 0.85 eV (fuente de aluminio) y 0.45 eV (fuente monocromática). Rango de medición de energía de enlace (*binding energy*) de 0 a 1480 eV. Cuenta también con cañón de electrones para neutralizar la carga superficial en muestras aislantes.

## Sitios de interés relacionados con el CCIQS UAEM-UNAM

- <<http://www.cciqs.uaemex.mx/>>.
- <<http://web.uaemex.mx/fquimica/>>.
- <<http://www.iquimica.unam.mx/>>.

# División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca Universidad de Guanajuato

Marco Bianchetti,<sup>1\*</sup> Bárbara González Rolón,<sup>2</sup> Eric Noé Hernández Rodríguez,<sup>2</sup> Mónica Trejo Durán,<sup>1</sup> Daniel Jáuregui Vázquez,<sup>2</sup> Roberto Rojas Laguna<sup>2</sup>

**RESUMEN:** La División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca (DICIS) de la Universidad de Guanajuato está comprometida a servir a la sociedad por medio de la formación de recursos humanos de alta calidad y de actividades de extensión e investigación de alto nivel. La investigación en el área de nanociencia y nanotecnología (NyN) abarca varios cuerpos académicos, y líneas de aplicación y generación de conocimientos mediante la impartición de cursos de maestría y doctorado en la DICIS. Recientemente la DICIS se equipó con un cuarto limpio de clase 1000 ubicado en la sede del Departamento de Estudios Multidisciplinarios (DEM) en Yuriria, Gto., con un evaporador térmico para la deposición de materiales en forma de película delgada, y cuenta con un sistema de medida I-V en campo magnético de hasta 1T. La DICIS fomenta la colaboración entre investigadores de la misma universidad pertenecientes a diferentes departamentos y cuerpos académicos así como la colaboración interuniversitaria a nivel nacional e internacional. La DICIS está comprometida con el desarrollo de la NyN para la mejora de materiales funcionales y sensores.

**PALABRAS CLAVE:** Cuarto limpio, PVD, caracterización, sensores ópticos, materiales funcionales.

**ABSTRACT:** The Engineering Division of the Irapuato-Salamanca Campus (DICIS) of the University of Guanajuato is committed to support the public interest through high quality human resources training and high-level research. Research in the area of nanoscience and nanotechnology span several academic groups, and research lines in MSc and PhD degrees. Recently, the DICIS has acquired a class-1000's cleanroom located at the Department of Multidisciplinary Studies (DEM) in Yuriria, Gto. with a thermal evaporator for thin film deposition and an I-V magnetic field system for measurements up to 1T. The DICIS supports academic collaboration between researchers belonging to different academic groups and departments, and inter-university cooperation at national and international level. The DICIS is committed to improve the knowledge of nanoscience and nanotechnology to enhance functional materials and sensors.

**KEYWORDS:** Clean Room, PVD, characterization, nanostructured, optical sensors, functional materials.

---

Recibido: 20 de junio de 2016. Aceptado: 30 de agosto de 2016.

<sup>1</sup> Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Sede Yuriria.

<sup>2</sup> Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Sede Salamanca.

\* Autor de contacto: Dr. Marco Bianchetti: Departamento de Estudios Multidisciplinarios-Yuriria. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. Av. Universidad S/N, Colonia Yacatitas. 38944, Yuriria, GTO, México. Correspondencia: (mb@ugto.mx). Teléfono: +52 (01) 445 4589040 ext. 1723.

## División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, UGTO

La División de Ingenierías del campus Irapuato-Salamanca (DICIS) forma parte de la Universidad de Guanajuato y está compuesta por seis departamentos: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Arte y Empresa, y, Estudios Multidisciplinarios.

La DICIS tiene como misión servir a la sociedad con trabajo de excelencia en docencia, investigación y extensión universitaria y formar seres humanos comprometidos con la transformación tecnológica, económica y social. También la DICIS tiene la visión de ser una división de excelencia con liderazgo nacional y reconocimiento internacional, congruente con las funciones sustantivas de la Universidad de Guanajuato e impulsora y promotora del desarrollo científico y tecnológico. Se sustenta en los valores de honestidad, libertad, conocimiento, compromiso y búsqueda de la excelencia.

La DICIS cuenta actualmente con 90 profesores de tiempo completo, de los cuales el 88% tiene doctorado, el 65% tiene perfil PRODEP, y el 62% pertenece al SNI. Cuatro profesores están involucrados en el área de NyN con un estimado de diez estudiantes involucrado en el área, número que se ha visto incrementado constantemente en los últimos años.

### Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con NyN

Las líneas de investigación de la DICIS relacionadas con el área de NyN y generación de conocimiento son diversas y abarcan:

Óptica no lineal y materiales, polímeros y materiales cerámicos, fibras ópticas y sensores, materiales micro y nanoestructurados y fotónica.

Los temas de investigación incluyen el desarrollo de celda solares fotovoltaicas (CSFs) orgánicas basadas en materiales poliméricos, pues su empleo abre la posibilidad de usar técnicas de fabricación simples y por lo tanto baratas, ofreciendo ventajas como la fabricación de dispositivos de muy bajo peso y mecánicamente flexibles. La mezcla de polímeros empleada para tal fin es P3HT:PCBM, actualmente se está trabajando en la incorporación de nanopartículas de  $\text{TiO}_2/\text{CdS}$ , pues este sistema de dos semiconductores posee un amplio espectro de absorción de la luz en la región UV-Vis (que es donde se encuentran los valores máximos de irradiación solar) y porque permite la separación selectiva y eficiente de huecos y electrones, que pueden ser colectados como energía eléctrica [1-3]. Por lo tanto, con la estrategia de formar una mezcla P3HT:PCBM:np-TiO<sub>2</sub>/CdS para la capa absorbente de la CSF se está logrando que las np-TiO/CdS actúen en sinergia con la mezcla polimérica P3HT:PCBM en la absorción de la luz, facilitando a su vez el transporte de los portadores de carga generados en el material polimérico, dando como resultado una celda solar fotovoltaica más eficiente.

Otro tema de investigación es el desarrollo de nanoestructuras de ZnO

empleando un sistema de transporte de vapor digitalizado implementado en el Laboratorio de Ciencia de Materiales, algunos de los trabajos terminados son:

a) Un proceso de crecimiento sobre sustratos metálicos desarrollado utilizando un sistema de transporte de vapor para producir los *nanoribbons*, nanobastones y *nanoballs* de ZnO cristalina. La síntesis se llevó a cabo en un reactor adaptado a un mecanismo desarrollado específicamente para controlar digitalmente la temperatura, el flujo y la presión de las condiciones internas del tubo. Las propiedades estructurales y la composición de las muestras se estudiaron por difracción de rayos X (XRD), y la morfología de los productos obtenidos se caracterizó por microscopía electrónica de barrido SEM. Los resultados mostraron la formación de la fase ZnO que exhibe una morfología hexagonal crecimiento (grupo espacial P63mc) Wurtzsite (B4) para nanocintas, *nanorods* y *nanoballs*. En esta investigación se demostró el crecimiento del sistema por transporte de vapor, lo que mostró que las condiciones físicas tienen un efecto sustancial en la morfología de las nanoestructuras [4].

b) Un proceso de crecimiento en sustratos de Si y Ta fue desarrollado utilizando un sistema de transporte de vapor para producir nanobastones de ZnO cristalina. La síntesis se realizó en un reactor adaptado a un mecanismo desarrollado específicamente para controlar digitalmente la temperatura, el flujo y la presión de las condiciones internas del tubo. La composición química de las muestras se estudió por dispersión de rayos X (XRD), y la morfología productos AS-preparadas se caracterizó por microscopía electrónica de barrido en un ZEISS EVO® MA 10 con EDX.SEM E. Los resultados mostraron la formación de TaZnO fase que presenta una morfología nanobastones [5].

c) En el campo de la óptica no lineal cabe mencionar el estudio de las nanopartículas de oro las cuales son prometedoras en el campo científico tecnológico abarcando tanto el campo biológico como el electrónico. Por ejemplo las nanopartículas pueden incrementar la conductividad térmica de los fluidos en el cual están dispersos y como consecuencia modificar las propiedades ópticas no lineales. En particular, el efecto de las nanopartículas de Au en ácido lipoico y agua han sido estudiadas mediante la utilización de la técnica de z-scan donde se menciona que las propiedades ópticas no lineales de las Au-NPs pueden ser modificadas cuando están conjugadas con otras moléculas [6].

d) En el área de fibras ópticas y sensores cabe mencionar el uso de nanopartículas magnéticas dispersas en un fluido para realizar sensores de campo magnéticos utilizando fibras ópticas [7].

e) En el área de NyN los investigadores tienen experiencia en la deposición de materiales superconductores nanoestructurados con técnicas de deposición por láser pulsado (PLD) y su caracterización a baja temperatura en campo magnético [8].

## Colaboraciones y proyectos

La DICIS fomenta la colaboración entre entidades académicas, sea ésta entre investigadores, cuerpos académicos, departamentos u otras universidades.

En particular cabe mencionar la colaboración entre miembros del cuerpo académico en electrónica y óptica aplicada con sede en el Departamento de Estudios Multidisciplinarios (DEM) en Yuriria y el de Optoelectrónica con sede en Salamanca.

También se tiene colaboración con el Centro de Investigación en Nanotecnología y Nanoelectrónica y el Laboratorio de Investigación en Fotónica de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

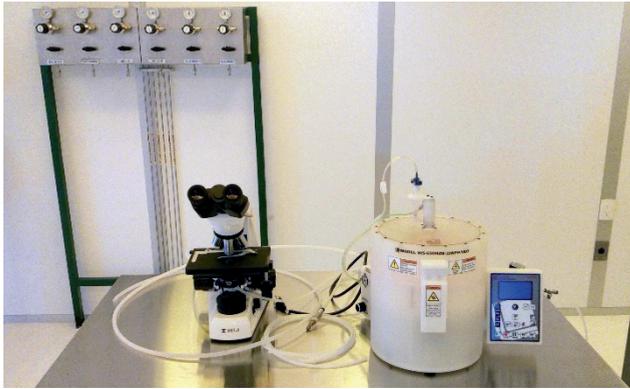
## Infraestructura

La DICIS cuenta con un cuarto limpio de clase 1000, lo cual significa que se encuentran a lo máximo 1000 partículas de tamaño mayor a 0.5  $\mu\text{m}$  en un pie cúbico de aire en el interior del mismo (equivalente a una clase 5 ISO). El cuarto limpio ocupa una superficie de 28  $\text{m}^2$  en un ambiente acondicionado para minimizar la producción de polvo y partículas contaminantes. La entrada al cuarto es a través de un cambiador donde los usuarios se ponen un sobre-traje para no contraminar el cuarto. En el interior, el cuarto limpio está equipado con un deionizador de agua y con líneas de gas (figura 1), un microscopio y un *spin-coater* (figura 2) para el recubrimiento de películas delgadas. Para la caracterización de muestras se cuenta con un electroimán GMW tipo dipolo de hasta 1 T con sensor de tipo Hall y un sistema de medidas I-V de marca Keithley (figura 3). Para la producción de materiales la DICIS cuenta con un sistema de evaporación térmico de marca Intercovamex (figura 4) que permite el recubrimiento de muestras con materiales metálicos o magnéticos. También se cuenta con un laboratorio de química equipado con una campana aspiradora y un horno de hasta 1000  $^{\circ}\text{C}$ .

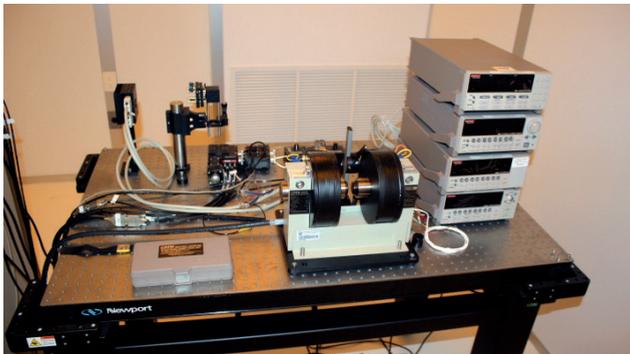
**FIGURA 1.** Deionizador de agua y líneas de gases.



**FIGURA 2.** Microscopio y spin coater.



**FIGURA 3.** Sistema de medida I-V con imán de hasta 1 T.



**FIGURA 3.** Sistema de evaporación térmica de marca Intercovamex.



## Docencia y formación de recursos humanos

El personal académico del DICIS está comprometido con actividades de docencia y formación de recursos humanos a través de la impartición de clases frente a grupo, dirigiendo tesis de grado y posgrado, atendiendo servicios sociales, participando en la actualización y creación de planes de estudio a nivel licenciatura y posgrado, otorgando cursos de verano, supervisión de estudiantes en veranos de investigación entre otra actividades.

Aunque no se cuente con una carrera enfocada a la nanotecnología y nanociencia, los estudiantes en el área básica común cursan materias de física, química, ciencia de materiales, física de semiconductores, y laboratorio de mediciones.

En el área de posgrado la DICIS tiene las siguientes líneas de generación y aplicación del conocimiento: óptica no lineal y materiales, fibras ópticas y sensores, polímeros y materiales cerámicos, materiales micro y nano-estructurados y fotónica.

## Principales logros en el área NyN

Los principales logros del DICIS en el área NyN son:

- La instalación de un cuarto limpio clase 1000 equipado con un deionizador de agua y *spin coater*.
- La instalación de un sistema de medidas I-V en campo magnético de hasta 1 T.
- La instalación de un sistema de deposición por medio de evaporación térmica de marca Intercovamex.
- La instalación de un sistema de transporte de vapor digitalizado para la deposición de nanoestructuras.
- La fabricación de un sensor óptico de campo magnético que utiliza nanopartículas magnéticas.
- Impulso a la colaboración interdisciplinaria entre investigadores en el área de fibras ópticas y materiales.
- Impulso a la colaboración con investigadores de la UANL interesados en temas de nanociencia y nanotecnología.

## Perspectivas sobre el estudio de la NyN

Los académicos de la DICIS consideran que las principales perspectivas de la NyN son las siguientes:

- 1) La mejora de materiales funcionales por medio de la inclusión de nanoestructuras, como por ejemplo el aumento de la corriente y temperatura crítica en un superconductor, el aumento de la temperatura de Curie de materiales magnéticos.

- 2) La mejora de la eficiencia y disminución del costo de fabricación de celdas solares fotovoltaicas.
- 3) El estudio de propiedades ópticas no lineales debido a la incorporación de nanopartículas.
- 4) La deposición desde fase vapor de nanoestructuras.
- 5) El estudio de materiales apto a la conversión de energía mecánica o térmica a energía eléctrica.
- 6) El estudio de sensores basados en fibras ópticas que pueden beneficiarse de materiales nanométricos o nanoestructurados para aumentar la sensibilidad al campo externo a medir.

## Sitios de interés

DICIS: <<http://www.ingenierias.ugto.mx/DI/estructura/>>.

DEM Yuriria: <[http://www.demyuriria.ugto.mx/dem/dem\\_home.htm](http://www.demyuriria.ugto.mx/dem/dem_home.htm)>.

Oferta académica del DICIS: <<http://www.ingenierias.ugto.mx/DI/estructura/ingenieriasoferta.html>>.

## Referencias

- [1] E. Hernández-Rodríguez, V. Rejón, R. Mis-Fernández, J.L. Peña, "Application of sputtered TiO<sub>2</sub> thin films as HRT buffer layer for high efficiency CdS/CdTe solar cells", *Solar Energy*, 132 (2016) 64.
- [2] E. Hernández-Rodríguez, M. Loeza-Poot, V. Rejón, I. Riech, J.L. Chapa, "A comparative study of CdS:O and CdS:F thin films deposited by reactive RF-sputtering technique for window layer application in solar cells", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 48 (2015) 255102.
- [3] E. Hernández-Rodríguez, V. Rejón, I. Riech, M. Acosta, J.L. Peña, "Morphological and chemical study of CdTe thin films annealed in CHClF<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> gas mixture", *Solar Energy*, 107, (2014) 305.
- [4] B. González-Rolon, L.A. Vera-Salas, "Synthesis of ZnO, nanorods and nanoballs by vapor transport process assisted by electronic control", *Journal of chemical biological and physical sciences JCBPS; Section C*; agosto 2015 - octubre 2015, Vol. 5, No. 4; 4269-4278. E- ISSN: 2249-1929.
- [5] B. González Rolón, Y. Tadashi, "Synthesis of the nanostructures of TaZnO", reporte de estancia de investigación. Universidad de Guanajuato, 1603-1 Kamitomioka, Nagaoka, Niigata, 940-2188, Japón (2015).
- [6] M. Trejo-Durán, D. Cornejo-Monroy, E. Alvarado-Méndez, A. Olivares-Vargas, V. Castaño, "Nonlinear optical properties of Au-nanoparticles conjugated with lipoic acid in water", *J. Europ. Opt. Soc. Rap. Public.*, 9, 1402 (2014).
- [7] D. Jáuregui-Vázquez, L.M. Morales-Villagomez, J.M. Estudillo-Ayala, D. Kumar-Tiwari, M. Bianchetti, J.M. Sierra-Hernández, J.C. Hernández-García y R. Rojas-Laguna, "Optical fiber fabry-perot cavity liquid-filled with Mn-Zn ferrite nanoparticles for magnetic sensing", (en preparación).

- [8] G. Ercolano, M. Bianchetti, S.C. Wimbush, S.A. Harrington, H. Wang, J.H. Lee, J.L. MacManus-Driscoll, "State-of-the-art flux pinning in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  by the creation of highly linear, segmented nanorods of  $\text{Ba}_2(\text{Y/Gd})(\text{Nb/Ta})\text{O}_6$  together with nanoparticles of  $(\text{Y/Gd})_2\text{O}_3$  and  $(\text{Y/Gd})\text{Ba}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ ", *SUST*, 24(9): 095012, (2011).

# Universidad de Guadalajara

Ramón Willman Zamora\*

**RESUMEN:** Se presenta información sobre la investigación en temas de nanociencia y nanotecnología en la Universidad de Guadalajara incluyendo recursos humanos, infraestructura, líneas de investigación, proyectos con financiamiento externo, instrumentos en propiedad intelectual solicitados y oferta de formación en nanociencias.

**PALABRAS CLAVE:** Investigación, nanociencia, nanotecnología, Universidad de Guadalajara, patentes, posgrado.

**ABSTRACT:** Information about the subjects of research on nanoscience and nanotechnology in the University of Guadalajara is presented. The human resource training, infrastructure, lines of research, projects undertaken in the area, patents requested and teaching activities, are reported.

**KEYWORDS:** Research, nanoscience, nanotechnology, University of Guadalajara, patents, post-graduate studies.

En este apartado presentaremos un breve pero significativo artículo de divulgación de la nanociencia y nanotecnología en la Universidad de Guadalajara tomando en cuenta los siguientes ejes: recursos humanos, infraestructura, líneas de investigación, proyectos con financiamiento externo, instrumentos en propiedad intelectual solicitados y oferta de formación en nanociencias.

## Recursos humanos

La Universidad de Guadalajara cuenta con 25 profesores que trabajan líneas de investigación afines a la nanociencia y nanotecnología, de éstos, 21 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores con los siguientes niveles de reconocimiento, 3 son candidatos, 16 pertenecen al nivel uno y 1 cuenta con el reconocimiento del nivel dos. De los 25 profesores, 23 de ellos se encuentran agrupados en 5 cuerpos académicos (tabla 1).

## Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

Las líneas de investigación que se trabajan en cuanto a nanociencia y nanotecnología son las siguientes:

---

Recibido: 24 de junio 2016. Aceptado: 25 de octubre de 2016.

\* Universidad de Guadalajara, Coordinación General Académica, Coordinación de Investigación y Posgrado. Correspondencia: (Ramon.Willman@redudg.udg.mx).

**TABLA 1.** Profesores investigadores pertenecientes a cuerpos académicos que desarrollan líneas de investigación en nanotecnología.

CENTRO UNIVERSITARIO	NÚMERO CUERPO ACADÉMICO	NOMBRE DEL CUERPO ACADÉMICO	NÚMERO INTEGRANTES	NÚMERO SNI
CUCEI	UDG-CA-158	Ciencia y tecnología de materiales lignocelulósicos	4	3
CUVALLES	UDG-CA-583	Ciencia de nanomateriales y materia condensada	4	4
CULAGOS	UDG-CA-674	Tecnologías de materiales	4	4
CUCIENEGA	UDG-CA-685	Nanomateriales poliméricos y catalíticos	5	3
CUVALLES	UDG-CA-792	Propiedades físicas y químicas de sistemas nanoestructurados	6	5
		<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>19</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Fabricación y caracterización de materiales nanoestructurados en aplicaciones tecnológicas.
- Síntesis y caracterización fisicoquímica de materiales micro y nanoestructurados.
- Preparación y caracterización de materiales y nanomateriales compositos poliméricos.
- Cálculos de las propiedades de nanotubos de carbono en contacto con diferentes solventes y nanopartículas.
- Nanofísica y nanoquímica.
- Catálisis y nanotecnología de los materiales catalíticos.
- Citotoxicidad: productos bioactivos y nanomateriales (t6).

Algunos de los proyectos que se desarrollan actualmente en la Universidad en el campo de las NyN son los siguientes:

- **Reología de fluidos complejos: micelas gigantes, polímeros asociativos y nanocompuestos:** el objetivo del proyecto es estudiar sistemáticamente los estados transitorios reológicos de micelas gigantes, polímeros, nanocompuestos y suspensiones electroactivas aplicando campos eléctricos constantes y oscilatorios.
- **Síntesis y caracterización de física de materiales ferromagnéticos, ferroeléctricos y ferromagnetoeléctricos:** bajo una perspec-

**tiva nanotecnológica:** este proyecto busca realizar la síntesis y caracterización física de nuevos materiales con propiedades ferromagnéticas, ferroeléctricas y ferromagnetoeléctricas a escala nanométrica.

- **Generación de películas y nanopartículas antimicrobiales a partir de compuestos de origen vegetal, mediante el uso de plasmas fríos:** el objetivo del proyecto es realizar la síntesis asistida por plasma de películas delgadas, y nanopartículas con características antimicrobiales, a partir de compuestos de origen vegetal, y caracterización de las mismas.
- **Microemulsión:** establecimiento de una nueva ruta de síntesis de nanopartículas de compuestos coordinados mediante el uso de plantillas formadas por sistemas micelares.
- **Obtención de materiales nanoestructurados con propiedades fotocatalíticas:** desarrollar diversos materiales nanoestructurados (nanotubos, nanoalambres) con propiedades fotocatalíticas para su aplicación en desinfección biológica y remoción de orgánicos contaminantes de agua.
- **Remoción de cromo de corrientes acuosas industriales utilizando materiales nanoestructurados funcionalizados:** mediante el proceso sol-gel para la síntesis de adsorbentes para la extracción de Cr (III, VI) de corrientes acuosas industriales. Caracterización de adsorbentes por medio de experimentos de adsorción de Cr(III, VI) y diversas técnicas espectroscópicas, obteniendo un mejor entendimiento de los procesos de adsorción por medio de modelos matemáticos.
- **Desarrollo de nanosistemas poliméricos bioactivos para aplicaciones biomédicas:** el objetivo es lograr la síntesis de nanopartículas poliméricas inteligentes, capaces de responder ante estímulos externos, específicamente ante variaciones en los valores de PH y variaciones en la temperatura.
- **Estudio de materiales semiconductores nanoestructurados para su uso como sensores ambientales de CO:** se busca la preparación de materiales inorgánicos nanoestructurados, a través de diversas técnicas, así como su análisis mediante difracción de rayos X, microscopía electrónica, FTIR, etc. Medición de propiedades eléctricas y modelado de las mismas.

## Infraestructura

La Universidad de Guadalajara se compone de 15 Centros Universitarios, 6 de los cuales se localizan en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y 9 ubicados en el interior del estado; los recursos humanos y la infraestructura para el desarrollo de la nanotecnología se encuentran ahí distribuidos. A

**TABLA 2.** Laboratorios de la Universidad de Guadalajara destinados a NyN.

CENTRO UNIVERSITARIO	NOMBRE DEL LABORATORIO	MUNICIPIO
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI)	Laboratorio de Biomateriales y Nanotecnología	Guadalajara
Centro Universitario de Tonalá (CUTONALA)	Laboratorio de Nanotecnologías	Tonalá
	Laboratorio de Microscopía e Instrumentación	Tonalá
Centro Universitario de los Valles (CUVALLES)	Centro de Investigaciones en Nanociencias	Ameca
	Laboratorio de Desarrollo y Caracterización de Materiales	Ameca
Centro Universitario de la Ciénega (CUCIENEGA)	Laboratorio de Nanomateriales Catalíticos	Ocotlán
Centro Universitario de los Altos (CUALTOS)	Laboratorio de Biotecnología y Catálisis	Tepatitlán

Fuente: Elaboración propia.

junio de 2016, la Universidad cuenta con 7 laboratorios que realizan investigación básica y aplicada en nanociencia, tres de ellos localizados en municipios de la Zona Metropolitana (tabla 2).

## Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados

En la actualidad se tienen dos solicitudes ingresadas al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) las cuales se encuentran próximas a publicarse en la *Gaceta del IMPI*; la primera solicitud<sup>1</sup> titulada “Método de separación, extracción y liberación de compuestos no polares de origen vegetal por medio de nanopartículas de hidróxidos dobles laminares que contienen dichos compuestos” relacionada con la separación de compuestos no polares de origen vegetal mediante la síntesis de hidróxidos dobles laminares *in situ* en un material vegetal que contiene dicho compuesto no polar y un método para liberar de forma selectiva el compuesto separado, las ventajas que presenta esa invención son:

- Minimiza los inconvenientes que presentan los métodos de separación, liberación y producción de compuestos de origen vegetal utilizados en la actualidad e incrementa la estabilidad de estos

<sup>1</sup> Esta solicitud fue publicada en la *Gaceta de IMPI* del mes de julio de 2016, corresponde al número Mx/a/2015/017358.

compuestos sensibles a factores ambientales como temperatura, presión, humedad, luz solar, ataque microbiano, oxidación, entre otros.

- Provee compuestos no polares de origen vegetal con una mayor estabilidad y resistencia a la fotodegradación para aumentar la vida de anaquel y almacenamiento de los mismos.
- Provee métodos de separación/extracción más simples, significativamente económicos y no involucra solventes ni condiciones agresivas que puedan comprometer las propiedades de dicho compuesto no polar de origen vegetal y se pueda obtener con un alto grado de pureza.

Los autores de esta invención son Gregorio Guadalupe Carbajal Arízaga y Daniel Escobar Hernández junto con el alumno Michel Jorgelina Montoya Gutiérrez.

La segunda solicitud<sup>2</sup> titulada “Partículas de hidróxidos dobles laminares neutralizadas con aniones polares con enlace PI como huéspedes para intercalación de moléculas no iónicas y el método de intercalación” la cual provee partículas de HDL neutralizadas con iones folato con moléculas neutras intercaladas entre sus láminas mediante procedimientos de coprecipitación, para la preparación de nuevas formas farmacéuticas para su uso como un medicamento útil para el tratamiento de cáncer, dentro de las ventajas que presenta esa invención se encuentran:

- Permitir la transportación efectiva de fármacos cuyas moléculas son neutras y especialmente aquellos medicamentos útiles para el tratamiento del cáncer (como el imidazol y la ciclofosfamida).
- Proteger el fármaco al dar estabilidad térmica y mecánica a las moléculas.
- Liberar efectivamente las moléculas y mejorar la disolución del fármaco.

Esta invención fue desarrollada por los profesores Gregorio Guadalupe Carbajal Arízaga, Ana María Puebla Pérez y los alumnos Cecilia Sánchez Jiménez y Luis Manuel Flores Alonso.

## Oferta educativa en NyN

En materia de formación en nanociencias y nanotecnología, la Universidad de Guadalajara a través del Centro Universitario de Tonalá oferta la licenciatura e ingeniería en nanotecnología, cuyos objetivos de formación se enlistan a continuación:

<sup>2</sup> Esta solicitud fue publicada en la *Gaceta de IMPI* del mes de julio de 2016, corresponde al número Mx/a/2015/017355.

- Proporcionar al estudiante una cultura científica, tecnológica y humanística.
- Una formación metodológica que lo prepare para adaptar e incorporar los avances científicos y tecnológicos a su campo profesional.
- Fomentar una sólida formación interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología.
- Que el egresado sea capaz de generar nuevas propiedades a base de la manipulación atómica y molecular de la materia para aplicaciones en sectores estratégicos y, en particular, para resolver problemas prioritarios actuales a nivel mundial en agua, energía, salud y medio ambiente.

En materia de posgrado tenemos maestrías y doctorado con orientaciones en nanotecnología como lo son:

- La maestría y doctorado en ciencias en ingeniería química; ambos programas cuentan con reconocimiento del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC); se imparten en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
- La maestría y doctorado en ciencia y tecnología; ambos con reconocimiento del PNPC; se imparten en el Centro Universitario de los Lagos.
- La maestría y doctorado en ciencias físico-matemáticas; ambos con reconocimiento del PNPC; se imparten en el Centro Universitario de los Valles.
- La maestría y doctorado en ciencias; se imparten en el Centro Universitario de la Ciénega.

# Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Juan Serrato Rodríguez,\* Alberto Ruiz Marín\*\*

**RESUMEN:** En años recientes el gobierno mexicano a través del CONACYT ha dado un gran impulso al desarrollo de la nanotecnología. La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través del Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales ha enfocado esfuerzos de investigación en esta área con un grupo de investigadores de reconocido prestigio. En este documento se hace una breve descripción del Instituto así como de sus contribuciones en nanotecnología, las líneas de investigación que se cultivan y la infraestructura científica disponible para realizar investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Síntesis de nanoestructurados, molienda de alta energía con bolas, sol-gel, nanopartículas de ZnO.

**ABSTRACT:** In recent years, CONACYT Mexico has dedicated many resources to develop the nanotechnology. The Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo through the Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales has focused research efforts in this area with a group of scientist with excellent academic credentials. In this document, a brief description of the Institute as well as its contributions to nanotechnology, research interest and available scientific infrastructure is conducted.

**KEYWORDS:** Synthesis of nanostructured, high-energy ball milling, sol-gel, ZnO nanoparticles.

## Introducción

El actual Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales (IIMM), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, fue creado en junio de 1972 con el nombre de Instituto de Investigaciones Metalúrgicas (IIM) como una respuesta a la necesidad de realizar investigación y formar recursos de primer nivel en concordancia con el naciente polo de desarrollo en Lázaro Cárdenas “Las Truchas” en la costa michoacana del Océano Pacífico.

En aquella época, el Instituto se estructuró por departamentos y líneas de investigación girando en torno a la metalurgia física, mecánica, química y también en forma general, en torno al aprovechamiento de los recursos naturales. De hecho, el primer programa educativo de posgrado en la Universidad Michoacana se inició en el Instituto en la misma década. Además de

---

Recibido: 24 de junio de 2016. Aceptado: 23 de agosto de 2016.

\* Profesor Investigador Titular C del IIMM. Correspondencia: (jserrato@umich.mx).

\*\* Director del IIMM. Correspondencia: (alruiz@umich.mx). Edificio U, Ciudad Universitaria, Avenida Francisco J. Múgica S/N, Ciudad Universitaria, C.P. 58030 Morelia, Michoacán.

colaborar vía proyectos de investigación con empresas de la costa michoacana, la actividad más importante de esta dependencia universitaria, se ha centrado en la formación de un alto número de recursos humanos a nivel licenciatura y sobre todo en posgrado, capacitados en metalurgia y materiales.

Actualmente, los programas de estudio de maestría y doctorado que ofrece el IIMM se encuentran reconocidos con Nivel de Consolidados dentro del Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Esto permite que el IIMM pueda otorgar becas CONACyT para estudios de posgrado a estudiantes que cumplan con los requisitos de admisión.

En los últimos años, el estudio de estructuras y materiales en la escala nanométrica ha sido adoptado por varios investigadores de este Instituto, con la tarea de generar fundamentalmente conocimiento científico y aplicaciones útiles e interesantes, principalmente en las líneas de investigación de los materiales cerámicos y metálicos. Las actividades relacionadas con nanociencia datan de hace más de una década, iniciándose de facto con la adquisición de infraestructura de microscopía electrónica de barrido (MEB), de transmisión (MET), de fuerza atómica (FA) y las espectroscopías de análisis dispersivo de rayos X, de pérdida de energía de electrones, de infrarrojo y más recientemente Raman y nanoindentación. Dichas actividades se han intensificado en la última década sobre todo dentro del cuerpo académico consolidado de “Síntesis y Procesamiento de Cerámicas Avanzadas” del mismo Instituto.

De manera simultánea se han establecido relaciones de colaboración con otros cuerpos académicos y con diversas instituciones nacionales y extranjeras.

## Infraestructura relevante en nanociencia

El Instituto cuenta con equipo con tecnología de punta para la investigación en nanociencia en los laboratorios de microscopía electrónica, en particular, el microscopio de barrido de emisión de campo *Jeol* modelo JSM 7600F y el de transmisión de electrones *Tecnai supertwin* con emisión de campo, así como el microscopio de fuerza atómica (figura 2), que constituyen una herramienta fundamental en la caracterización de nanoestructuras. El microscopio TEM es un *TECNAI super twin* de 200KV dotado con modo STEM, además de ser totalmente analítico y con herramientas de espectroscopías EDX y EELS con filtrado de energía EFTEM.

Otras facilidades para estudios en nanotecnología incluyen los laboratorios de espectroscopías de infrarrojo, Raman y nanoindentación; además de los laboratorios de química analítica y otros laboratorios menores acondicionados por los propios investigadores en función de sus actividades cotidianas.

**FIGURA 1.** Laboratorios de microscopía electrónica: (izquierda) microscopio electrónico de barrido, y (derecha) microscopio de transmisión de electrones con emisión de campo y microscopio de fuerza atómica.



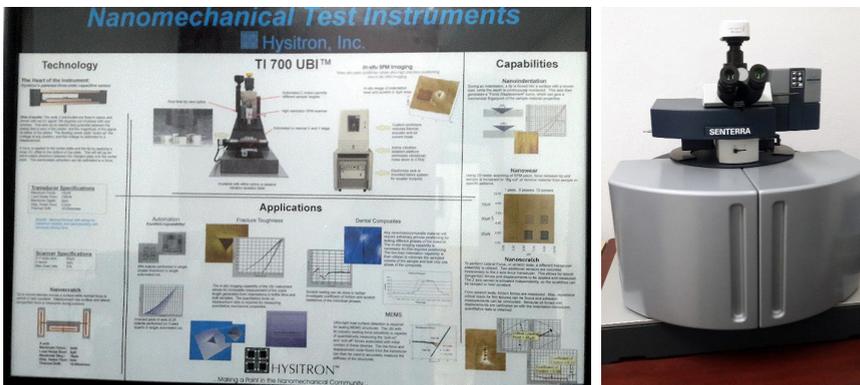
## Líneas de investigación relacionadas con nanociencia

Existen seis líneas de investigación desarrolladas por investigadores de este Instituto. A continuación, se describen en conexión con una muestra de publicaciones recientes sobre nanociencia.

### 1) Síntesis, caracterización y procesamiento de cerámicas y películas delgadas con aplicaciones industriales y biomédicas

**María Eugenia Contreras *et al.*** (eucontre@umich.mx).

**FIGURA 2.** Laboratorios de Materiales Cerámicos: (izquierda) nanoindentador TI 700 UBI, y (derecha) microscopio espectrómetro de Raman de alto rendimiento.



Artículo: Synthesis of nanostructured zirconia electrodeposited films on AISI 316L stainless steel and its behavior in corrosion resistance.

*Materials Letters*, Vol. 58, 191-195, 2004.

**Patente:** Proceso para electrodepositar películas de óxido de zirconio sobre acero inoxidable por medio del paso de corriente eléctrica a través de una solución de oxiclورو de zirconio.

No. de Solicitud: PR/E/2003/016937, PA/A/2003/004007, Fecha 07/05/2003.

No. de Registro: **Título # 264808.**

México, D. F. Aprobada 02/03/2009.

Los trabajos anteriores versan sobre la síntesis de nanopartículas de óxido de zirconio por rutas electroquímicas y su empleo nanoestructurado por deposición catódica para aliviar el problema de la corrosión por picaduras en aceros inoxidables AISI 316L; demostrándose que las nanoestructuras de zirconia electro depositadas en forma de películas uniformes disminuyen la densidad de corriente por debajo de los valores obtenidos en aceros inoxidables AISI 316L sin recubrir, y por tanto disminuyen considerablemente la corrosión en los aceros, según se refiere en la patente respectiva.

## 2) Síntesis de nanopartículas

**Gerardo Rosas et al.** (grtrejo@umich.mx).

a) Synthesis of gold nanoparticles with different atomistic structural characteristics.

*Materials Characterization*, 58 (8), 694-700, 2007.

b) Iron nanoparticles produced by high-energy ball milling.

*Journal of Nanoparticle Research*, 9 (5), 945-950, 2007.

Los autores utilizan un proceso de reducción química de una sal de oro para producir nanopartículas de diversos tamaños y por tanto configuraciones atómicas diversas. La caracterización incluye técnicas digitales experimentales de microscopía electrónica de alta resolución comparadas con imágenes simuladas con base en la teoría dinámica de difracción electrónica y a cálculos mecánicos moleculares cuánticos de la teoría funcional de densidad. Concluyéndose que la estructura electrónica de las nanopartículas es significativamente afectada por sus configuraciones atómicas, induciéndose una mayor actividad catalítica para configuraciones decahedrales en las que las caras de simetría cinco son expuestas.

En una ruta física, los mismos autores sintetizan nanopartículas de hierro usando molinos de alta energía, haciendo la caracterización estructural mediante microscopía electrónica de alta resolución llegando a la conclusión

de que la estructura de la fase mayoritaria corresponde a nanopartículas de hierro con estructura fcc.

### 3) Caracterización de nanomateriales

**Ariosto Medina et al.** (ariosto@umich.mx).

a) High-resolution transmission electron microscopy and molecular simulation analysis of  $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$  and  $\text{Fe}_4\text{N}$  formation for a nitrided 4140 steel.

*Revista de Metalurgia*, 04/2015.

b) Characterization of ZnO nanoparticles with short-bar shape produced by chemical precipitation.

*Materials Letters*. Vol. 71. pp. 81-83, 2012.

En la tercera línea de investigación, y trabajando con procesos de nitruración para endurecimiento de aceros, los autores caracterizan las interfases endurecidas por técnicas de microscopía electrónica de alta resolución, encontrándose la formación de diversas nanofases cristalinas, entre otras, la fase  $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$  compuesta por nanopartículas cúbicas que crecen en la dirección  $\langle 001 \rangle$  y presumiblemente juegan un papel preponderante en las propiedades mecánicas de los aceros.

En otro trabajo, los mismos autores utilizan un procedimiento de síntesis de nanopartículas de óxido de zinc por precipitación química, y el producto de síntesis lo caracterizan mediante técnicas de difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y de transmisión de emisión de campo y de alta resolución, tipificando una estructura tipo wurtzita que cristaliza en la dirección [0001].

### 4) Síntesis de nanopartículas por precipitación química homogénea y procesamiento cerámico para recubrimientos resistentes al choque térmico y antiabrasivos

**Juan Zarate et al.** (jzarate@umich.mx).

a) Synthesis and mechanical characterization by nanoindentation of polycrystalline YAG with Eu and Nd additions.

*Ceramics International*, 39, 3141-3149, 2013.

b) Microstructure and mechanical properties of  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-YSZ}$  spherical polycrystalline composites.

*Journal of the European Ceramic Society*, 33, 1907-1916, 2013.

Nanopolvos cerámicos YAG dopados y sin dopar fueron sintetizadas químicamente a través de un ruta tipo Pechini pero modificada, dichos nanopolvos fueron sujetos a secado por aspersión y densificados a temperaturas tan

bajas como 1550 °C en aire. El parámetro de red se incrementó debido a los dopantes de europio y neodimio adicionados. La nanodureza fue de 22 GPa, el módulo elástico fue de 315 GPa; estos elevados valores en las propiedades mecánicas son comparables a los reportados para cristales únicos.

En la otra investigación, los autores usaron polvos nanométricos de alúmina y zirconia estabilizada con ytria para producir compósitos con alta resistencia a la tenacidad.

## 5) Estudio de fenómenos coloidales e interfaciales en metalurgia extractiva

Feng RAO *et al.* (fengrao@umich.mx).

a) Synthesis and characterization of Ag-PILC through the formation of Ag montmorillonite nano-composite.

*Nano*, 10, 31-39, 2015.

b) Synthesis of Ag-pilc through direct insertion of silver nanoparticles into smectite interlayers.

*Materials Technology*, 27, 186-190, 2012.

En esta línea de investigación, se desarrolló un nuevo método de síntesis de arcillas pilareadas con plata mediante el cual las nanopartículas de plata se formaron en las intercapas de arcillas montmoriloníticas. Se partió de iones de plata que fueron intercambiados en las intercapas de montmorilonita y una vez ahí, fueron reducidos a nanopartículas de plata usando citrato trisódico a 100 °C. El nanocompósito resultante fue caracterizado por XRD, TEM y SSA(BET). Las nanopartículas confirieron mayor estabilidad térmica y estructural. Considerando que las variables de síntesis pueden manipularse, por tanto, es posible modificar la porosidad y los nanospilares.

En otro enfoque para preparar arcillas pilareadas con plata, las nanopartículas se insertan directamente entre las capas de esmectita, como una alternativa de mayor estabilidad estructural comparada con el método convencional de intercambio policatiónico. En esta propuesta, las cargas negativas esmectíticas se cambian a positivas a través de adsorción de especies hidrolizadas de aluminio, mismas que atraen cargas negativas de nanopartículas de plata resultando en la formación de un compuesto intercalado, el cual después de calcinarse y caracterizarse por área superficial específica, resulta su uso potencial como catalizador de reacciones orgánicas, o como adsorbente de alta actividad microbiana en tratamiento de aguas.

## 6) Mecanismos de nanoestructuramiento utilizando síntesis sol-gel/ tratamiento hidrotérmal en óxidos cerámicos semiconductores con impacto en energías renovables

Juan Serrato *et al.* (jserrato@umich.mx).

a) Development of nanostructure in ultra-fine anatase powders derived by the low temperature sol-gel solvothermal process.

*Journal of Ceramic Processing Research*, Vol. 16: 499-504, No. 5, 2015.

b) Nanostructuring anatase through the addition of acetic acid by the sol-gel low temperature aqueous processing.

*Ceramics International*, Vol. 40: 8631-8635, No. 6, julio, 2014.

Esta última línea de investigación tiene que ver con el control estructural a nivel nano en materiales de titania dopada y sin dopar sintetizados por la ruta sol-gel de baja temperatura con o sin tratamiento hidrotérmal de forma tal que permita controlar los parámetros estructurales de la titania. Los materiales ultra finos obtenidos corresponden a diámetros inferiores a los 6 nm y el foco de la investigación comprende los mecanismos de engrosamiento del tamaño de partícula; evidenciándose la orientación cristalográfica como principal mecanismo de crecimiento de nanocristales.

En otro enfoque químico del mismo trabajo en que se usó espectroscopía infrarroja para el control del ligando bidentado de titanio, se formaron agentes quelantes vía adiciones sucesivas de ácido acético durante un proceso sol-gel ácido acuoso de baja temperatura, para producir nanopulvos de titania fase anatasa y de alta área específica. Presumiblemente los ligandos formados controlan el desarrollo nanoestructural por varias vías, limitan el crecimiento cristalino particularmente en conexión con las facetas cristalográficas de alta energía. Por otra parte, al aumentar la concentración del ligando se induce una mayor cristalinidad en la anatasa y, finalmente, también se retarda la temperatura de transición anatasa-rutilo.

## Logros

Los logros en la investigación de nanomateriales referida anteriormente, se pueden resumir en el contexto del diseño de métodos prácticos derivados como conclusión de estudios experimentales para aprovechar las bondades de la dimensión nano; como en el caso de la utilización de nanopartículas de zirconia para aumentar la resistencia a la corrosión de aceros AISI 316 L. También, como en el caso del uso de nanopartículas de plata para producir arcillas pilareadas de mayor estabilidad térmica y estructural o bien el uso puente de las mismas nanopartículas para formar compuestos intercalados de alta área específica. La síntesis de nanopartículas por diversos métodos

químicos y físicos ha permitido acceder al empleo de las mismas en otros experimentos actualmente en progreso.

En otro enfoque químico original sobre el estudio del control de la formación de nanoestructuras en materiales de titanía, se logró controlar cuantitativamente el tamaño de partícula, la cristalinidad y la transición de fase anatasa-rutilo vía formación de complejos bidentados. Lo cual constituye un mejor entendimiento del control estructural en investigación nano, según lo reporta la agencia noticiosa Better Understanding Through Technology & Emerging Research (Elsevier Sci Ltd, The Boulevard, Longford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, Oxon, England. *Journal of Technology*, 1943, ISSN: 1944-1886, BUTTER™ ID: 0080715).

## Docencia y formación de recursos humanos

En el IIMM la mayoría de los investigadores se desempeñan en el área de NyN, están especialmente comprometidos con actividades de investigación, docencia y formación de recursos humanos a través de la impartición de cursos especializados frente a grupo y dirigiendo tesis de licenciatura, maestría y doctorado, con una gran participación en comités tutorales y como sinodales en exámenes de grado. Participan también en actividades como verano científico, siendo responsables de prácticas profesionales y servicios sociales, brindado asesoría especializada. En actividades administrativas colaborando en la creación y actualización de planes de estudio y en la elaboración y aplicación de exámenes de admisión y cursos propedéuticos entre otras actividades.

La mayor parte de los cursos a nivel licenciatura se imparten en el IIMM y en la nueva carrera de licenciatura en innovación tecnológica de materiales en la cual se imparten materias relacionadas con el área de los nanomateriales.

La formación de recursos humanos en el área de NyN y áreas afines se ve reflejada en la conclusión de aproximadamente 10 tesis de licenciatura, 30 de maestría y cinco de doctorado, constituyendo el logro más importante por el impacto en la sociedad con la generación de recursos humanos de gran calidad.

# Universidad de Monterrey<sup>1</sup>

Laura Peña-Parás,<sup>2</sup> Jaime Taha-Tijerina,<sup>3</sup> Demófilo Maldonado-Cortés<sup>4</sup>

**RESUMEN:** Desde 2010, la Universidad de Monterrey (UEM) cuenta con un nuevo grupo en investigación en nanotecnología y tribología, especializado en las siguientes líneas de investigación: desarrollo y caracterización de nanolubricantes para aplicaciones tribológicas; texturizado de superficies por medio de láser y utilización de nanolubricantes; estudio de nanofluidos para aplicaciones dieléctricas; desarrollo y caracterización de nanofluidos y nanograsas para aplicaciones térmicas; preparación de nanocompuestos poliméricos y pinturas con aditivos de nanopartículas para protección corrosiva y desgaste; nanofluidos como medios de temple avanzados, y, caracterización y funcionalización de nanomateriales con aplicaciones biomédicas.

Se cuenta con personal capacitado y equipo actualizado para hacer frente a las necesidades de la industria y avanzar en temas de ciencia básica y tecnología. La red de contactos científicos e industriales ha crecido considerablemente, lo cual nos permite avanzar en la obtención de recursos para la generación de nuevos y retadores proyectos. Todos los miembros del equipo pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

**PALABRAS CLAVE:** Nanotecnología, nanopartículas, nanolubricantes, nanorrecubrimientos, tribología.

**ABSTRACT:** Since 2010, the University of Monterrey (UEM) has a new research group in nanotechnology and tribology, which specializes in the following research areas: development and characterization of nanolubricants for tribological applications; laser surface texturing and application of nanolubricants; study of nanofluids for dielectric applications; development and characterization of nanofluids and nanogreases for thermal applications; preparation of polymer nanocomposites and paints with nanoparticle additives for corrosion and wear protection; nanofluids as advanced quenching medium; characterization and functionalization of nanomaterials with biomedical applications.

Research group has qualified members and totally updated equipment and devices to meet the industrial needs and achieve progress on basic science. The scientific and industrial networking has grown considerably, which allows us to move forward in obtaining resources for the generation of new and challenging projects.

All team members belong to the National Researchers System (SNI).

**KEYWORDS:** Nanotechnology, nanoparticles, nanolubricants, nanocoatings, tribology.

---

Recibido: 20 de junio de 2016. Aceptado: 14 de noviembre de 2016.

<sup>1</sup> Los autores de este reporte agradecen a la División de Extensión, Consultoría e Investigación (DIECI) de la UDEM, así como a los alumnos que han participado, directa o indirectamente, en los proyectos de investigación y desarrollo de nuestro grupo.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería, Universidad de Monterrey, Ave. Morones Prieto 4500 Pte., San Pedro Garza García, Nuevo León, México, C.P. 66283. Correspondencia: (laura.pena@udem.edu). Tel. +52 81 8215-1000.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería, UDEM. Correspondencia: (jose.taha@udem.edu).

<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería, UDEM. Correspondencia: (demofilo.maldonado@udem.edu).

## Breve presentación de la entidad

En 2010 se abrió la Línea de investigación en “Nanotecnología” Universidad de Monterrey (UEM), más adelante se obtienen fondos internos para establecer el laboratorio y en 2011 se comenzaron los trabajos de adecuación de espacios y adquisición de equipos. El Laboratorio de Nanotecnología de la UDEM fue inaugurado a principios de 2012, comenzando inmediatamente diversos trabajos de investigación y desarrollo. Este laboratorio fue establecido con el objetivo de realizar proyectos de investigación, consultoría, apoyo a proyectos de tesis de licenciatura y posgrado, así como para la realización de proyectos de cursos y demostraciones de experimentos educativos.

Actualmente se cuenta con 3 profesores-investigadores de tiempo completo que trabajan directamente en el laboratorio para sus proyectos de investigación. Estos académicos forman parte del Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT, con la distinción de Investigador Nacional Nivel I. Así también, 4 profesores de la Divisiones de Ingeniería y Tecnologías y de la División de Ciencias de la Salud de la UDEM colaboran con este grupo de manera estrecha en proyectos de investigación básica y aplicada relacionados con nanotecnología formando un equipo multidisciplinario.

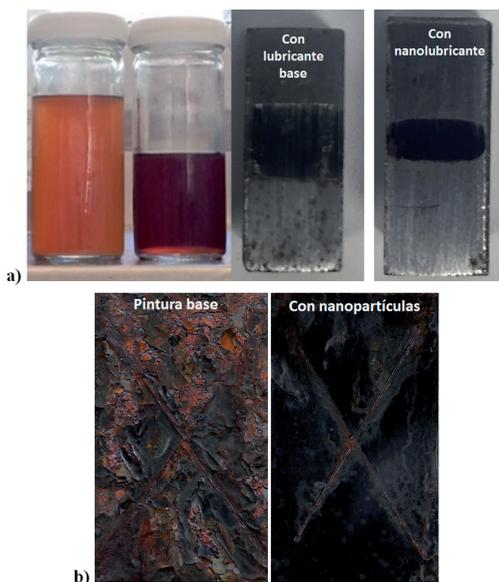
El Laboratorio de Nanotecnología trabaja desde sus inicios en conjunto con el Laboratorio de Tribología, principalmente en proyectos relacionados con las líneas de investigación de nanolubricantes y nanorrecrecimientos, siendo este último el que da los resultados cuantitativos en algunas de las investigaciones con las cuales se han obtenido numerosos reconocimientos nacionales e internacionales.

## Líneas de investigación en NyN desarrolladas y en curso

Las líneas principales de investigación del Laboratorio de Nanotecnología se describen a continuación:

- Desarrollo y caracterización de nanolubricantes con propiedades tribológicas superiores de antidesgaste y presiones extremas para utilizarse en la industria metalmecánica en procesos de maquinado y formado (figura 1a).
- Texturizado de superficies con láser y utilización de nanolubricantes para incrementar la resistencia al desgaste de las herramientas de trabajo.
- Estudio de nanofluidos para aplicaciones dieléctricas.
- Desarrollo y caracterización de nanofluidos y nanograsas para aplicaciones térmicas, principalmente fluidos de enfriamiento.
- Preparación de nanocompuestos poliméricos y pinturas con aditivos de nanopartículas para protección de superficies metálicas contra corrosión y desgaste (figura 1b).

**FIGURA1.** Ejemplos de productos desarrollados en el Laboratorio de Nanotecnología: a) nanolubricantes que disminuyen el desgaste; b) pinturas con aditivos de nanopartículas que incrementan la resistencia a la corrosión.



- Nanofluidos como medios de temple avanzados.
- Caracterización y funcionalización de nanomateriales con aplicaciones biomédicas tales como detección de enfermedades y transporte de fármacos.

El grupo de investigación de nanomateriales participa activamente en congresos nacionales e internacionales, entre los cuales destacan, en los últimos 3 años, los listados a continuación:

- STLE 2016 Annual Meeting and Exhibition (Las Vegas, NV, USA) - Mayo 2016.
- TMS 2016 (Nashville, TN, USA) – Febrero 2016.
- 20th International Colloquium Tribology (Stuttgart, Alemania) – Enero 2016.
- XXXVIII Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica 2015 (Mazatlán, SIN, MX) - Octubre 2016.
- STLE Tribology Frontiers Conference 2015 (Denver, CO, USA) - Octubre 2015.
- MS&T 2015 (Columbus, OH, USA) – Octubre 2015.
- SAMPE 2015 (Baltimore, MD, USA) – Mayo 2015.
- STLE 2015 Annual Meeting and Exhibition (Dallas, TX, USA) - Mayo 2015.

- Wear of Materials (WOM) 2015 (Toronto, CA) - Abril 2015.
- STLE Tribology Frontiers Conference 2014 (Chicago, IL, USA) - Octubre 2014.
- MS&T 2014 (Pittsburg, PA, USA) – Octubre 2015.
- LUBMAT 2014 (Manchester, UK) - Junio 2014.
- NANOSMAT-USA 2014 (Houston, TX, USA) – Diciembre 2013.
- MS&T 2013 (Quebec, CA) - Octubre 2013.
- Wear of Materials (WOM) 2013 (Portland, OR, USA) - Abril 2013.

## Colaboraciones y proyectos

El grupo de investigación de nanomateriales del Laboratorio de Nanotecnología colabora estrechamente con diversas instituciones educativas, centros de investigación, así como con la industria metalmeccánica regional. En cuanto a colaboraciones internacionales destacan los proyectos realizados con el Institute for Sustainable Technologies – National Research Institute ubicado en Radom, Polonia, en temas de tribología.

Otros proyectos de colaboración en Estados Unidos han sido realizadas con Rice University, de Houston, Texas y con la University of California, de Merced, California. Aunado a esto somos parte de una AERI CONACyT (Alianzas Estratégicas y Redes de Innovación para la competitividad en el tema de conformado de aceros especiales en conjunto con la empresa METALSA).

Hemos trabajado con fondos externos como los otorgados por CONACyT mediante UC MEXUS y los PEI (Programas de Estimulos a la Innovación) y de manera interna con fondos de la División de Investigación Consultoría y Extensión.

Además, actualmente se trabaja con la STLE (Society of Tribologist and Lubrication Engineers) para colaborar con la industria local en abrir el primer capítulo profesional en la región, principalmente en el desarrollo de nanolubricantes.

## Infraestructura disponible

Tal como se mencionó anteriormente, el Laboratorio de Nanotecnología colabora estrechamente con el Laboratorio de Tribología, debido a las diversas líneas de investigación que se trabajan en conjunto sobre preparación y caracterización de nanomateriales. Ejemplos de los equipos de estos laboratorios se muestran en las figuras 2 y 3.

Para la preparación de nanomateriales se cuenta con los siguientes equipos básicos:

- Campanas de extracción para manejo de químicos y material diverso.
- Gabinete de almacenamiento de químicos.

- Microbalanzas.
- Medidor de pH.
- Sonicador de punta.
- Sonicadores por inmersión en agua.
- Homogenizadores.
- Planchas de calentamiento y agitación magnética.
- Material de vidrio.

También se tiene el siguiente equipo de de caracterización de materiales:

- Microscopio electrónico de barrido.
- Microscopio óptico.
- Microscopio óptico de medición superficial en 3D.
- Espectrómetro para análisis de metales.

**Figura 2.** Equipamiento del Laboratorio de Nanotecnología de la Universidad de Monterrey.



En cuanto a las máquinas para pruebas tribológicas existen los siguientes equipos:

- Máquina para pruebas tribológicas *Block-on-ring* con capacidad de controlar hasta 6 variables.
- Máquina para pruebas tribológicas *Pin-on-Disc*, con capacidad de controlar hasta 6 variables.
- Máquina para pruebas tribológicas “4-bolas” con capacidad de realizar 7 pruebas estandarizadas y con control de variables.
- Máquinas tribológicas diseñadas y construidas en la UDEM: “Desgaste abrasivo” y “*block on ring* para cargas altas”.

## Docencia y formación de recursos humanos

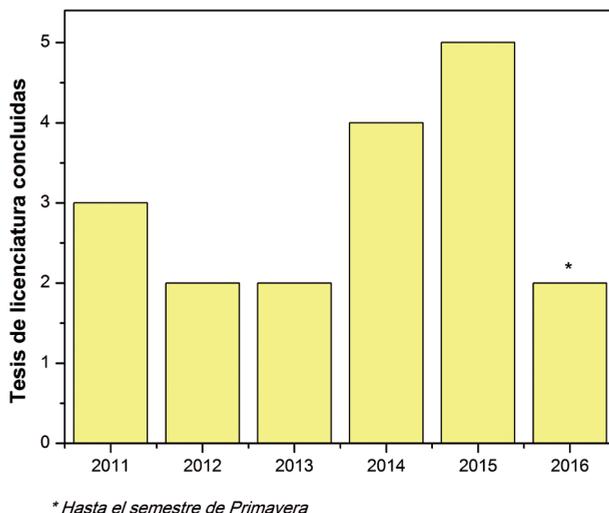
Los académicos que forman parte del grupo de investigación en nanomateriales participan activamente en actividades de docencia, tales como la

**Figura 3.** Tribotesters del Laboratorio de Tribología de la Universidad de Monterrey y equipos de caracterización de materiales: a) *Pin-on-disk*; b) *Block-on-ring*; c) *Four-ball*; d) espectrómetro; e) microscopio óptico de medición superficial en 3D; f) microscopio óptico.



impartición de los cursos de especialidad y electivas de programas de licenciatura y posgrado “Materiales compuestos y nanotecnología” y “Tribología” (con enfoque en nanomateriales) en distintos programas de ingeniería. Estos catedráticos son también responsables de la formación de recursos humanos asesorando proyectos de tesis sobre nanotecnología en programas de licenciatura y posgrado. Gracias a la fundación del Laboratorio de Nanotecnología el número de tesis concluidas en este tema ha crecido considerablemente (figura 4), teniendo un total de 18 tesis de licenciatura de enero de 2011 a la primavera de 2016. Hoy en día hay al menos 3 tesis de maestría en curso.

Los docentes involucrados en este grupo están continuamente capacitándose en temas relacionados con sus líneas de investigación básica y aplicada.

**FIGURA 4.** Incremento en el número de tesis de licenciatura concluidas relacionadas con nanotecnología.

## Principales logros

Los principales logros del grupo de investigación de nanomateriales gracias al Laboratorio de Nanotecnología se describen a continuación:

- La formación de grupos de investigación multidisciplinarios internos, así como con investigadores de instituciones y centros de investigación nacionales e internacionales. Gracias también a este laboratorio se establecieron las líneas de investigación inicialmente de “Nanotecnología” y “Biomateriales” de manera general; a estas líneas se han sumado otras más en años recientes.
- Los desarrollos logrados por el grupo de investigación en nanofluidos y nanolubricantes, para la industria metalmecánica. En recientes estudios ha logrado desarrollar lubricantes con excelentes propiedades de resistencia al desgaste gracias a la adición de nanopartículas. La industria metalmecánica en general cuenta con muchos procesos bajo condiciones de fricción, la cual puede generar un desgaste en la herramienta de trabajo, afectando la calidad final del producto por medio de imperfecciones y fallas; aunado a esto, la fricción resulta en importantes pérdidas energéticas. Los nanolubricantes y nanograsas innovadoras donde nanopartículas son incorporadas como aditivos de alto desempeño, teniendo como objetivo minimizar la fricción, el desgaste, ahorrar en energía y obtener una menor generación de emisiones contaminantes. Asimismo, los nanoaditivos estudiados

recientemente son biocompatibles y amigables con el ambiente, con el fin de evitar efectos adversos. Actualmente se trabaja con empresas locales para llevar los resultados de laboratorio a la industria.

- En la línea de investigación de pinturas reforzadas con nanopartículas para protección de superficies metálicas se han obtenido resultados de resistencia a la corrosión y desgaste muy superiores a los materiales base, esto también utilizando nanoaditivos ecológicamente amigables.
- Los resultados obtenidos han sido de gran impacto científico y tecnológico; gracias a ellos se han obtenido numerosas distinciones y premios por parte del equipo de trabajo. Entre éstas destacan la obtención de la distinción como Investigador Nacional Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores. Entre los premios internacionales se encuentran el Rice University (Materials Science and NanoEngineering Department) “Best Thesis Award”. Asimismo, gracias al desarrollo de nanolubricantes se obtuvo el premio otorgado por el MIT Technology Review “Innovadores menores de 35 México” en el 2013. Entre los premios internos se encuentran el “Premio Pro Magistro Roberto Garza Sada 2015”, “Premio de Investigación Vinculada a la Docencia” en al menos 5 ocasiones por los trabajos desarrollados en este laboratorio, así como el “Premio al Investigador UDEM”.
- En cuanto a producción científica de manera periódica publicamos artículos en revistas indexadas, se ha aceptado para su publicación un capítulo de libro titulado “Thermal and tribological characterization of 2D-based nanofluids” en el libro *2D Materials*, y uno de los integrantes del grupo es autor del libro *Tribotesting: Reproducibility and repeatability problems*, publicado en 2010.
- Gracias también al reconocimiento internacional por nuestros trabajos en nanolubricantes, el grupo de investigación logró acreditar el primer capítulo estudiantil de la STLE en México (Society of Tribologist and Lubrication Engineers) con sede en la UDEM.

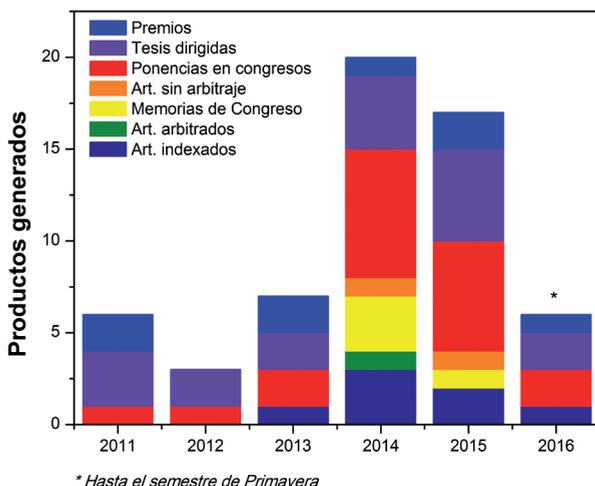
La figura 5 muestra el incremento en la cantidad de productos generados, como artículos, ponencias, tesis dirigidas y premio obtenidos por el grupo de investigación.

## Retos a futuro

El desarrollo de nanomateriales presenta los siguientes grandes retos que el grupo trabaja para resolver:

- Utilización de nanopartículas biocompatibles y por ende amigables con el ambiente: en este sentido hemos iniciado con éxito el uso de nanoarcillas que han demostrado tener excelentes propiedades antidesgaste y anticorrosión además de no ser tóxicas.

FIGURA 5. Incremento en productos generados de enero de 2011 a mayo de 2016.



- Lograr mantener la óptima dispersión y cantidad de las nanopartículas con el objetivo de no perder propiedades; esto lo hemos ido logrando mediante el manejo de variables como porcentaje de peso añadido, tipo de nanopartícula, tamaño y en agentes dispersantes.
- En el caso de nanolubricantes, comprender los efectos del acabado superficial y características geométricas de las nanopartículas en el efecto antidesgaste en paralelo con el estudio de los mecanismos de fricción y regímenes de lubricación.

## Espacios web institucionales relacionados con NyN

- División de Investigación, Consultoría y Extensión de la UDEM: <<http://www.udem.edu.mx/Esp/Investigacion-y-Desarrollo/Pages/objetivo.aspx>>.
- Portafolio de Investigadores y Consultores de la UDEM: <<http://www.udem.edu.mx/Esp/Investigacion-y-Desarrollo/Pages/investigadores-y-consultores.aspx>>.
- CV de la Dra. Laura Peña: <<http://www.udem.edu.mx/Esp/Profesores/Pages/detalles.aspx?Division=DIT&Departamento=Ingenier%C3%ADa&IdProfesor=322>>.
- CV del Dr. Jaime Taha: <<http://www.udem.edu.mx/Esp/Profesores/Pages/detalles.aspx?Division=DIT&IdProfesor=386>>.

# Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji

Sandra López Acosta,<sup>1</sup> Víctor Alfredo Nolasco Arizmendi<sup>2</sup>

**RESUMEN:** El Programa Educativo de Nanotecnología de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji (UTTT) forma, en seis cuatrimestres, técnicos superiores universitarios, siguiendo cuatro ejes pedagógicos. El último cuatrimestre del programa es una estancia en el sector productivo para desarrollar un proyecto que atienda una necesidad real aplicando los conocimientos que adquirieron en el programa. Los estudiantes reciben una formación que los convierte en profesionistas integrales con conocimientos y destrezas para producir y caracterizar materiales nanotecnológicos, facilitando su ingreso al mercado laboral. El programa tiene relación con empresas, universidades y centros de investigación para estancias de los estudiantes e infraestructura que incluye instalaciones y equipo básico y avanzado. Los profesores del programa hacen investigación y desarrollos tecnológicos en el área de biotecnología y nanotecnología ambiental con colaboración académica interna y con otras instituciones del país. Además, el programa participa en actividades de difusión de la ciencia y la nanotecnología. Con el Programa Educativo de Nanotecnología, la UTTT participa en un área estratégica y de alta innovación para el país.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotecnología, técnico superior universitario, universidades tecnológicas.

**ABSTRACT:** The Nanotechnology Educational Program of the Technological University of Tula-Tepeji (UTTT) forms, in six quarters, university technical technicians following four pedagogical axes. The last quarter of the program is a stay in the productive sector developing a project that meets a real need applying the knowledge acquired in the program. The education that the students receive in the UTTT results in professionals with integral training and knowledge and skills to produce and characterize nanotechnological materials, which facilitates their entry into the labor market. The program is supported by companies, universities and research centers for student stays. The program infrastructure includes basic and advanced facilities. The professors do research and technological developments in the area of biotechnology and environmental nanotechnology. They have academic collaboration with other institutions of the country. In addition, all the faculty participates in activities to spread science and nanotechnology topics. With the Educational Program of Nanotechnology, UTTT participates in a strategic and high innovation area for the country.

**KEYWORDS:** Nanotechnology, university technical technicians, technological universities.

---

Recibido: 5 de julio de 2016 Aceptado: 7 de noviembre de 2016.

<sup>1</sup> Directora del Programa Educativo de Nanotecnología en la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, (UTTT). Av. Universidad Tecnológica No. 1000 Col. El 61, El Carmen, Tula de Allende, Hgo. C.P. 42830 Tel. (773) 732-9113. Correspondencia: (ambiental@uttt.edu.mx).

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo del Programa Educativo de Nanotecnología en la UTTT. Tel. (773) 732-9100 ext. 475. Correspondencia: (vnolasco@uttt.edu.mx).

## Antecedentes de las universidades tecnológicas en México

El Subsistema de Universidades Tecnológicas en nuestro país nace a principios de la década de los noventa, con la finalidad de ampliar y diversificar la oferta educativa superior al crear una modalidad de estudios correspondiente al nivel 5B (de acuerdo con la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación, CINE), en las áreas del conocimiento tecnológico-administrativas. Esta opción educativa brinda a los egresados de bachillerato dos años de estudios intensivos en los que desarrollan destrezas específicas orientadas hacia la práctica que facilitan su ingreso al mercado laboral. Es con estos precedentes que surge el técnico superior universitario (TSU).

El modelo educativo de las universidades tecnológicas está basado en 6 ejes: calidad, pertinencia, intensidad, flexibilidad, polivalencia y continuidad; atributos característicos de todos los programas educativos, que impactan en el desarrollo económico y social de sus regiones. Al mismo tiempo, se privilegia la formación integral de los estudiantes, dotándolos de una educación tecnológica especializada pero también de las herramientas necesarias que los lleven a formarse en lo humano y lo social. Es importante resaltar que las universidades tecnológicas se ubican mayormente en localidades en las que no existía alguna opción de educación superior; así, uno de sus objetivos es brindar una formación profesional a los jóvenes que conforman la zona de influencia de cada UT, de manera que pueden insertarse en el mercado laboral y contribuir al desarrollo económico de sus comunidades. Por tal motivo el proceso de ingreso facilita el acceso para aquellos aspirantes que han concluido su bachillerato y cuentan con un perfil académico acorde con el programa educativo al que desean incorporarse.

En 2009, el Subsistema se planteó la necesidad de atender la demanda de sus egresados quienes pedían la continuidad de su preparación para obtener un título como ingenieros. Fue entonces cuando se realizaron los estudios de factibilidad correspondientes, en donde el sector empresarial tuvo un papel decisivo en el diseño de los planes de estudio de los programas que se ofertarían como segundo ciclo o ingeniería. Esta opción provee a los técnicos superiores universitarios la posibilidad de continuar sus estudios por 1 año 8 meses y obtener un título como ingeniero en el área de su especialidad.

De este modo, las universidades tecnológicas ofrecen en un periodo de 3 años 8 meses, la obtención de dos títulos profesionales y una amplia experiencia en el sector laboral, lo cual representa una ventaja competitiva para los egresados de estas instituciones educativas.

A la fecha, existen 103 universidades tecnológicas distribuidas en 31 estados de la República que ofrecen programas de técnico superior universitario y programas de ingeniería. De ellos, más de 200 programas se encuentran en el nivel 1 de la evaluación que otorgan los Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES), o cuentan con

acreditaciones ante organismos reconocidos por el Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (COPAES), además de tener implantados sistemas de gestión de calidad certificados en ISO-9000.

## Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji

Enclavada al suroeste del estado de Hidalgo, entre los municipios que le dan su nombre, la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji tiene el privilegio de ser una de las 3 primeras universidades tecnológicas en el país. Comenzó sus operaciones en septiembre de 1991 con 2 programas educativos de técnico superior universitario. Actualmente, en la UT TT se imparten 17 programas educativos de TSU, 8 ingenierías y 4 ingenierías técnicas; distribuidas entre el campus central y dos unidades académicas localizadas en los municipios de Chapulhuacán y Tepetitlán. Lo anterior ha permitido que la institución sea reconocida como un referente de educación superior en la región.

El trabajo llevado a cabo en la UT TT se sustenta en la calidad del personal académico y administrativo que labora en ella y su capacitación permanente en instituciones altamente reconocidas tanto nacionales como del extranjero. Hoy en día, cuenta con 89 profesores de tiempo completo, los cuales ejercen funciones de docencia, vinculación y difusión. De ellos, 52 cultivan líneas de investigación dentro de los 13 cuerpos académicos de la institución o participan en proyectos de desarrollo tecnológico con las empresas. Los profesores por asignatura o de tiempo parcial son profesionistas que trabajan en el sector productivo en áreas afines a las asignaturas que imparten.

Los programas educativos que se ofrecen en la Universidad responden a las necesidades de la zona de influencia, pues antes de abrir una nueva carrera, se analiza la demanda laboral y la oferta educativa en el entorno y, con los resultados de esta exploración, se define la pertinencia de su apertura. En este proceso, los empresarios tienen un papel fundamental para la definición de los contenidos académicos con el objetivo de que sean acordes a sus requerimientos de personal.

La población estudiantil procede en su mayoría de las localidades cercanas a Tula en Hidalgo y norte del Estado de México, principalmente. Alrededor de un 4% de la matrícula total de la institución proviene de comunidades indígenas, y cerca del 10% se identifican como estudiantes en condiciones de vulnerabilidad, debido a que trabajan y estudian, son padres o madres solteros(as), tienen alguna enfermedad que les impide asistir a clases de manera regular o bien presentan alguna discapacidad. Es importante señalar que un alto porcentaje de la matrícula proviene de hogares de escasos recursos económicos y en ocasiones, representan el primer integrante de sus familias en acceder a la educación superior. Éste es el contexto en el que se desarrollan nuestros estudiantes, de ahí que los apoyos ofrecidos por la UT TT se encaminan a afianzar su permanencia dentro de la institución, de manera que puedan concluir su carrera profesional e incorporarse al sector productivo.

## Programa Educativo de Técnico Superior Universitario en Nanotecnología

La creación del Programa Educativo de Técnico Superior Universitario en Nanotecnología surge como una iniciativa de la Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, para atender áreas estratégicas mediante la formación de profesionistas con capacidades para el desarrollo de investigación y un sólido abordaje interdisciplinario en las ciencias básicas y aplicadas.

En la UTTT el Programa de TSU en Nanotecnología se inicia en septiembre de 2011, con una matrícula de 14 estudiantes. Debido a su nueva creación, el programa se fortaleció gracias a la vinculación con otras instituciones de educación superior y centros de investigación que complementan la formación profesional con los conocimientos prácticos que se requieren. Desde entonces y de manera periódica, los estudiantes realizan visitas al Centro de Química Sustentable de la UAEMEX y al Centro de Micro y Nanotecnologías del IPN para conocer la operación de microscopios electrónicos; al Centro de Desarrollo Industrial (CIDESI), para ampliar sus conocimientos sobre tratamientos térmicos que se dan a ciertos materiales; al Instituto de Ingeniería de la UNAM, para caracterizar los materiales nanoestructurados obtenidos en los laboratorios de la UTTT; a la empresa Termoinnova, para operar el equipo de difracción de rayos X que se encuentra en comodato dentro de la misma. Esto por mencionar algunas de las colaboraciones que mantiene la institución. A la fecha, se han formado 4 generaciones con un total de 22 egresados. De ellos, 2 están cursando estudios de maestría en el área de materiales; 19, se encuentran estudiando ingeniería en nanotecnología en alguna otra UT del Subsistema y 1 obtuvo una beca para cursar estudios sobre polímeros en Francia por un año. Quienes continuaron estudiando, combinan el estudio con el trabajo en Centros de Investigación, principalmente en el estado de Querétaro (CINVESTAV).

Las asignaturas que conforman el plan de estudios están organizadas en cuatro ejes pedagógicos que incluyen ciencias básicas aplicadas, formación tecnológica, lenguas y métodos y habilidades gerenciales. Todas ellas abonan a la formación de un profesionista los conocimientos y destrezas necesarios para: 1) producir materiales nanotecnológicos, mediante procedimientos de síntesis e incorporación de nanomateriales establecidos, y, 2) evaluar materiales nanoestructurados a través de técnicas de caracterización para determinar sus propiedades físicas y químicas; que constituyen las dos competencias específicas del perfil de egreso.

El programa académico está distribuido en seis cuatrimestres, el último de los cuales, denominado *estadía*, se realiza en sector productivo desarrollando un proyecto que atienda una necesidad real mediante la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera. Las estadías de los estudiantes de nanotecnología se han llevado a cabo en organismos diversos como el

Centro de Nanociencias y Nanotecnología, en Ensenada; el Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, en Chihuahua; el Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología, en San Luis Potosí; el Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, de la Ciudad de México; la empresa Termoinnova, en Tula, Hidalgo, y el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Los temas abordados en los reportes de estadía incluyen:

- Preparación y caracterización de películas delgadas de nanocúmulos de silicio embebidos en nitruro de silicio depositadas por plasma, por el método de rocío pirolítico.
- Estabilidad de AgNPs y Zeo-AgNPs bajo diferentes condiciones ambientales.
- Síntesis asistida por microondas de nanoestructuras.
- Cinética en la electrocoagulación y floculación de nanopartículas de plata obtenidas por biorreducción.
- Síntesis y caracterización magneto-estructural de aleaciones magnéticas, de cintas micro y nanocrystalinas de aleaciones Ni<sub>50</sub>Mn<sub>35</sub>In<sub>15</sub> tipo Heusler, de películas de aleaciones Mn<sub>5</sub>Ge<sub>3</sub> dopadas con carbono.
- Evaluación de fotocatalizadores nanoestructurados para la descomposición de la molécula del agua.
- Síntesis de hidroxapatitas nanométricas.
- Estudio de la topología de superficies en piezas de acero.
- Tratamiento termoquímico producido sobre una superficie de acero.
- Uso de nanomateriales fotocatalíticos para la producción de hidrógeno.
- Investigación de propiedades catalíticas y fisicoquímicas de nanopartículas metálicas.

Durante su estancia en la Universidad, los estudiantes tienen la oportunidad de asistir a congresos que enriquecen su formación académica. De este modo, se participa anualmente en el Simposio de Divulgación en Nanociencias y Nanotecnología (Nanocytec), reunión organizada por las universidades tecnológicas del país que imparten nanotecnología, en donde se presentan los trabajos realizados por docentes y estudiantes. En la primera edición de este evento, alumnos de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji obtuvieron el primer lugar en el concurso de carteles con el trabajo denominado “Síntesis de nanopartículas de hematita A-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> utilizando el método de precipitación controlada”. Asimismo, asisten al Foro Internacional Nano Monterrey, donde tienen la oportunidad de establecer contacto con empresas en las que podrían realizar su estadía, además de introducirse en los aspectos de vanguardia relacionados con su carrera. En estos eventos, los estudiantes presentan trabajos de investigación en los que colaboran con sus profesores dentro de la Universidad.

De igual manera, los estudiantes participan en la convocatoria denominada

“Ensayo del Agua”, emitida anualmente por la American Water Works Association (AWWA) – Capítulo México. En su 6ª edición, una estudiante de la 3ª generación de TSU en Nanotecnología obtuvo el tercer lugar nacional con el tema: “Recreando el agua con la ciencia de los nanómetros, ¡para beber, para vivir!”.

## Infraestructura

El programa educativo cuenta con laboratorios de química básica, analítica y microbiología, dedicados a la docencia, cuyo equipamiento consiste de balanzas analíticas, campanas de extracción y de flujo laminar, medidores de pH y conductividad, rotavapor, parrillas con agitación, refrigeradores, estufas bacteriológicas, muflas, autoclaves, termobalanza, baño ultrasónico, microscopios ópticos, centrífuga, incubadora y material de cristalería. También cuenta con un laboratorio de instrumentación analítica que alberga los equipos de espectroscopía UV-VIS, infrarroja y de absorción atómica, así como un horno digestor. Entre ambos laboratorios, hay un espacio en el que se concentra el equipo a escala piloto, tal como la unidad de generación eléctrica, unidad de destilación, reactor químico, banco de motores y las plantas de tratamiento de aguas por filtración sobre arena, ultrafiltración, ósmosis inversa, tratamiento aerobio, tratamiento anaerobio, floculación-coagulación, intercambio iónico y filtración sobre soporte. Este equipamiento, brinda soporte a la parte práctica de los diferentes programas educativos del Área de Química y Nanotecnología que oferta la Institución.

## Investigación y proyectos de desarrollo tecnológico

Los profesores de tiempo completo que participan en el programa cultivan la línea de investigación de biotecnología y nanotecnología ambiental, dentro del Cuerpo Académico de Ingeniería y Sistemas Ambientales, el cual se encuentra en consolidación ante el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP). Algunos académicos pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

Dentro de los proyectos de investigación realizados, se pueden mencionar los siguientes:

- Síntesis, inhibición microbiológica y tratamiento del agua residual de materiales nanoestructurados de plata de tamaño controlado obtenidos por técnicas de biorreducción con un extracto de *Tillandsia recurvata* L. proveniente de la región de Tula, Hidalgo. (El cual obtuvo financiamiento por parte de PRODEP).
- Remoción biológica de Fe y Mn de agua subterránea mediante la obtención de óxidos biogénicos con potencial valor agregado. (Financiado por PRODEP).

Por otra parte, se han realizado proyectos de desarrollo tecnológico en apoyo a las empresas de la región. Algunos de éstos son:

- Incorporación de nanomateriales de origen natural a matrices poliméricas para la generación de productos de alta resistencia. (Financiado por CONACyT-PEI 2014).
- Generación de nanocompuestos poliméricos a partir de polímeros reciclados y desarrollo de componentes multicapa mediante coextrusión y soplado con propiedades de descarga electrostática “nanoplastics”/estudio para desarrollar un compuesto polimérico. (Financiado por CONACyT-PEI 2015).

## Colaboraciones

El Cuerpo Académico de Ingeniería y Sistemas Ambientales participa con diversas IES en el desarrollo de investigaciones conjuntas. Así, forma parte de la Red Temática de Colaboración Académica en Ingeniería de Procesos Avanzados de Sistemas Ambientales, integrada por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, la Universidad Politécnica de Pachuca y la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji.

Actualmente, se participa con la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez en el desarrollo de investigaciones sobre el uso de la nanotecnología aplicada al tratamiento de aguas.

## Actividades de difusión y divulgación de la ciencia

La UTTT ha realizado actividades de difusión y divulgación de la nanociencia y nanotecnología, como:

1. Participar en la traducción español-hñã-hñu del texto *Vamos a conocer la nanotecnología*, del Dr. Noboru Takeuchi, investigador del Centro de Nanociencias y Nanotecnología, coeditada por la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji. Lo anterior, con el objetivo de acercar y divulgar la ciencia entre los niños y jóvenes de las comunidades indígenas, además de apoyar la conservación y revitalización de las lenguas indígenas de México. La publicación explica de manera amena y con coloridas ilustraciones, diversos aspectos de la nanotecnología; incluye un disco compacto donde se pueden escuchar en español y hñã-hñu los textos del libro. La traducción estuvo a cargo de Adela Calva Reyes y Diana Ángeles Camacho, integrantes de la comunidad de San Ildefonso, municipio de Tepeji del Río, Hgo.

2. En junio de 2014, la Universidad fue sede del International Multidisciplinary Join Meeting, evento en el que se mostraron los avances sobre nuevos

procesos para la obtención de materiales nanoestructurados, y donde se analizó el impacto de la NyN en diversos campos como la medicina, biotecnología, agroindustria, así como sus implicaciones económicas, sociales y ambientales, entre otras. La reunión multidisciplinaria se realizó en la ciudad de Pachuca, del 9 al 13 de junio de 2014. El International Multidisciplinary Join Meeting congregó dos de las reuniones más importantes en el área de la NyN: el International Topical Meeting on Nanostructured Materials and Nanotechnology (Nanotech), y, el Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología (Nanomex). Los eventos se llevaron a cabo gracias a la colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México y sus diferentes centros de investigación: Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico.

A continuación las referencias de los trabajos realizados por los docentes y estudiantes del programa educativo, a la fecha:

- a) “Una alternativa para la remoción de nanopartículas de plata coloidales de agua por un tratamiento de electrocoagulación”.  
Autores: Víctor Alfredo Nolasco Arizmendi, Abygail Adarely Martínez Mendoza, Haly Surisadday Juárez Pérez.  
Evento: Factor Sinergia – Congreso Internacional de Investigación Aplicada e Innovación Tecnológica 2015. 25 al 27 de noviembre. San Juan del Río, Qro., Méx.
- b) “Síntesis verde y caracterización de materiales compuestos de plata utilizando extractos acuosos”. (Póster).  
Autores: Víctor Alfredo Nolasco Arizmendi. UTTT.  
Evento: VII Congreso Nacional de Ciencia e Ingeniería en Materiales.
- c) “Tratamiento de nanopartículas de plata por técnicas de precipitación”.  
Autor: Nolasco Arizmendi Víctor Alfredo, UTTT.  
Evento: IV Congreso de Nanociencias y Tecnología 2015.
- d) “Electrocoagulation system used as an electrochemical methodology to obtain Zn nanostructures of wastewater”.  
Autores: Víctor Nolasco Arizmendi, Lizeth Janeth Beltrán Ontiveros, María del Rosario Valencia Romero, Karla Edith Vega Chavez, Maricruz Rocha Rubio, Carlos Iván Rodríguez Rodríguez.  
Evento: IX International Conference on Surfaces, Materials and Vacuum.

- e) “Nanotecnología como un método para purificar el agua”.  
Autores: María Fernanda Campuzano y Ricardo Larios, estudiantes UTTT, coinciden en señalar que es importante encontrar métodos para reutilizar el agua. Disponible en : <<http://www.oem.com.mx/elsoldezamora/notas/n4161909.htm>>.
- f) “Efecto en el plasmón de resonancia superficial (SPR) de nanopartículas de plata obtenidas por biorreducción con *Citrus lemon L.* con diferentes estados de madurez”.  
Autores: Nolasco-Arizmendi V.A., Martínez-Mendoza A.A., Martínez-Muñoz P.E., Rodríguez- Rodríguez C. I.  
Evento: Food & Biotechnology International Congress 2016.  
ISBN de las memorias: 978-607-96797-2-9.
- g) “Remoción y reducción de iones Fe utilizando como floculante un extracto de *Solanum tuberosum L.*”.  
Autores: Nolasco-Arizmendi V.A., Martínez-Muñoz P. E., Rodríguez Rodríguez C. I.  
Evento: Food & Biotechnology International Congress 2016.  
ISBN de las memorias: 978-607-96797-2-9.

## Participaciones en eventos

En abril del presente año, se asistió al workshop “Interdisciplina aplicada y tecnologías disruptivas para Latinoamérica”, organizado por el Centro Latinoamericano de Formación Interdisciplinaria (CELFI) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina. Allí, diversos especialistas expusieron sus trabajos sobre el impacto de las nuevas tecnologías disruptivas, entre las que se encuentra la nanotecnología, y la democratización de conocimientos. En esta ocasión, el CELFI financió la participación de 25 becarios de diversos países de Latinoamérica, entre los cuales fue beneficiado un docente de la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, así como otros participantes de países como Brasil, Colombia, Venezuela y Ecuador. El trabajo presentado por la representación de la UTTT es un estudio sobre la estabilidad de nanopartículas de plata en un proceso de floculación.

## Perspectivas

El plan de desarrollo del Programa Educativo de Nanotecnología incluye su acreditación, en el corto plazo, ante los organismos del COPAES. Por otra parte, a partir de 2017, los estudiantes recibirán una certificación en el estándar “Análisis de materiales mediante técnicas cualitativas”, como parte de su formación profesional. Esto alineado a la entidad de certificación del CONOCER con la que cuenta la Universidad.

En materia de investigación, en 2017 el Cuerpo Académico de la carrera se someterá a un proceso de evaluación ante el PRODEP. Se espera obtener el nivel de *Cuerpo Académico Consolidado*.

# Instituto Tecnológico Superior de Irapuato\*

Rafael Vargas-Bernal,<sup>1</sup> Ma. Elena Calixto-Olalde,<sup>2</sup> José Hernández-Barajas,<sup>2</sup> Oliver Muñiz-Serrato,<sup>2</sup> Gabriel Herrera-Pérez<sup>2</sup>

**RESUMEN:** La nanotecnología y la nanociencia (NyN) representan actividades técnicas de vanguardia, que algunos grupos selectos de investigación y de desarrollo tecnológico alrededor del mundo están realizando para lograr aplicaciones tecnológicas emergentes. En este artículo, un breve resumen de las actividades que con respecto a NyN están siendo desarrolladas por el Departamento de Ingeniería en Materiales del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) es presentado. Entre las actividades descritas en este documento se encuentran una breve descripción del Instituto y del Departamento de Ingeniería en Materiales, las directrices de investigación, desarrollo tecnológico, e innovación relacionados con nanomateriales; la colaboración con otras universidades y centros de investigación, así como, la participación del Instituto en redes científicas; la infraestructura disponible para la síntesis y caracterización de nanomateriales; las actividades que los investigadores realizan con empresas; las actividades de docencia y formación de recursos humanos; los logros principales que tiene la institución con respecto a NyN; las perspectivas de actividades en NyN deben ser realizadas por los investigadores alrededor del mundo para mejorar el desempeño de los nanomateriales y sus productos, y, finalmente, las páginas web relacionadas con el Instituto y sus actividades sobre NyN son analizadas. La actividad que el Instituto Tecnológico hace con respecto a NyN puede ser atractiva para que estudiantes e investigadores de otras universidades y centros de investigación desarrollen proyectos multidisciplinarios donde las múltiples capacidades científicas y tecnológicas puedan ser explotadas al máximo por todos los participantes de los proyectos científicos o tecnológicos, ya sea desde el área de investigación básica o aplicada.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotubos de carbono, grafeno, compósitos, nanomateriales, óxido de zinc (ZnO).

**ABSTRACT:** Nanotechnology and nanoscience (N&N) represent cutting-edge technical activities that some select groups of research and technological development around the world are doing to achieve emerging technology applications. In this article, a brief summary of the activities concerning N&N are being developed by the Department of Materials Engineering at the Higher

---

Recibido: 20 de junio de 2016. Aceptado: 22 de agosto de 2016.

\* Se agradece a los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales Dra. Ma. Elena Calixto Olalde, Dr. José Hernández Barajas, Dr. Oliver Muñiz Serrato y Dr. Gabriel Herrera Pérez, así como al M.C.E. Rubén Fernández Trujillo, coordinador de la carrera de ingeniería en materiales del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) por la valiosa información proporcionada para la elaboración de este documento. Se agradecen también los apoyos económicos otorgados a los investigadores por parte de CONACyT, CONCyTEG y PRODEP, así como a la empresa Pequeño Curtidor para realizar investigación científica relacionada con nanomateriales.

<sup>1</sup> Profesor-Investigador Titular "C", Carretera Irapuato-Silao Km. 12.5, C.P. 36821, Irapuato, Guanajuato, México. Correspondencia: (ravargas@itesi.edu.mx). Tel. +52 (462) 606 7900 ext. 123.

<sup>2</sup> Profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI.

Technological Institute of Irapuato (ITESI) is presented. Among the activities described in this document are a brief description of the Institute and the Department of Engineering Materials, guidelines for research, technological development and innovation related to nanomaterials; collaboration with other universities and research centers, as well as the participation of the Institute in scientific networks; infrastructure available for the synthesis and characterization of nanomaterials; the activities that researchers have performed with companies; teaching activities and training of human resources; the main achievements of the institution regarding N&N; the prospects for activities concerning N&N should be performed by researchers around the world to improve the performance of nanomaterials and their products, and finally the web pages related to the Institute and its activities on N&N are analyzed. The activity that Technological Institute makes regarding nanoscience and nanotechnology can be attractive to students and researchers from other universities and research centers to develop multidisciplinary projects where multiple scientific and technological capabilities can be fully exploited by all participants of scientific and technological projects, either from the area of basic or applied research.

**KEYWORDS:** Carbon nanotubes, graphene, composites, nanomaterials, zinc oxide (ZnO).

## Introducción

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) nació bajo decreto de creación como Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado de Guanajuato, con personalidad jurídica y patrimonio propio, el 20 de octubre de 1995, cuya misión principal es la formación de ingenieros que contribuyan al desarrollo de Guanajuato y de México. El 18 de agosto de 1996, 10 meses después de su decreto de creación, el ITESI inicia actividades académicas bajo la dirección general del Dr. Juan Sillero Pérez, ofertando dos carreras: licenciatura en informática e ingeniería industrial con instalaciones prestadas y ubicadas en la calle Altamirano No. 7 en la zona centro de Irapuato. El 4 de octubre de 1996 fue colocada la primera piedra que edificaría el plantel actual, ubicando sus aulas y laboratorios en un terreno de 20 hectáreas en el kilómetro 12.5 de la carretera Irapuato-Silao. En el año 2010, bajo el apoyo del gobierno estatal y federal abre planteles en otras ciudades del estado estando vigentes los campus de San Luis de la Paz, San José Iturbide, San Felipe, Cuerámara y Tarimoro. ITESI ofrece 14 carreras, y 4 maestrías.

Las carreras que ofrece el ITESI en sus diferentes planteles son: ingeniería industrial, ingeniería en sistemas automotrices, ingeniería mecatrónica, ingeniería en materiales, ingeniería electromecánica, ingeniería electrónica, ingeniería en logística, ingeniería en gestión empresarial, ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en informática, ingeniería bioquímica, licenciatura en biología, ingeniería forestal, e ingeniería en innovación agrícola sustentable. Además, se ofrecen las maestrías en ingeniería industrial, en ingeniería eléctrica, en ingeniería electrónica, y en tecnologías de la información. ITESI es una institución certificada bajo la Norma ISO 9001-2008, así como la ISO 14001-2004 con un Sistema Integral de Calidad, y tiene el 60% de programas de estudio acreditados por Organismos Certificadores

en México como CONAIC (Consejo Nacional de Acreditación Informática y Computación A.C.), CACEI (Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería) y CACECA (Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Contaduría y Administración). En particular la carrera de ingeniería en materiales que desarrolla actividades de NyN se encuentra acreditada por CACEI desde enero de 2007 y está reacreditada desde el 15 de diciembre de 2011.

El ITESI, perteneciente a los Institutos Tecnológicos Descentralizados (ITDs) del Tecnológico Nacional de México, realiza investigación científica y desarrollo tecnológico en nanomateriales y nanotecnología a través del Departamento de Ingeniería en Materiales desde su creación en el año de 2004. El Departamento de Ingeniería en Materiales tiene como misión realizar investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, gestión, difusión y divulgación en el área de nanomateriales teniendo un enfoque principal dirigido al desarrollo de materiales poliméricos, cerámicos, compósitos e híbridos nanoestructurados o en la nanoescala con un enfoque multidisciplinario.

El Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI cuenta actualmente con 11 académicos, de los cuales 5 realizan investigación o desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con NyN. Desde noviembre de 2010 se registró ante PRODEP el Cuerpo Académico ITESI-CA-01 “Materiales Avanzados Aplicados a la Ingeniería” manteniendo el nivel de “En Consolidación” desde entonces hasta hoy en día. Los miembros actuales del cuerpo académico son el Dr. Gabriel Herrera Pérez (responsable técnico), el Dr. Oliver Muñiz Serrato, y el Dr. Rafael Vargas Bernal. Una imagen de la entrada y vista del primer edificio del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato es presentada en la figura 1.

## Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con NyN

Actualmente el grupo de profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI que realizan investigación y desarrollo en ciencia y tecnología relacionada con NyN está dividido en dos grupos de

**FIGURA 1.** Entrada y vista del primer edificio del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI).



**TABLA 1.** Especialidades de la carrera de ingeniería en materiales desde 2008 a 2014.

<b>ESPECIALIDAD</b>	
<b><i>Materiales poliméricos</i></b>	<b><i>Materiales cerámicos</i></b>
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde	Dr. Gabriel Herrera Pérez
Dr. José Hernández Barajas	Dr. Oliver Muñiz Serrato
	Dr. Rafael Vargas Bernal

**TABLA 2.** Especialidades de la carrera de ingeniería en materiales después de 2014 hasta ahora.

<b>ESPECIALIDAD</b>	
<b><i>Innovación y manufactura en materiales poliméricos</i></b>	<b><i>Diseño e innovación de materiales avanzados</i></b>
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde	Dr. Gabriel Herrera Pérez
Dr. José Hernández Barajas	Dr. Oliver Muñiz Serrato
	Dr. Rafael Vargas Bernal

acuerdo con el área de materiales que imparte dentro del Instituto. Los profesores son egresados de los programas de doctorado del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA), Chihuahua, del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), de Vanderbilt University (Estados Unidos), de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), y del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE). La distribución de los profesores-investigadores que realizan investigación científica y desarrollos tecnológicos en NyN de acuerdo con las retículas vigentes se describe en las tablas 1 y 2.

Las líneas de generación o aplicación innovadora del conocimiento (LGACs) registradas en PRODEP por parte del Cuerpo Académico Materiales Avanzados Aplicados a la Ingeniería ITESI-CA-01:

- Aplicación de la simulación computacional al estudio de los materiales y nanomateriales.
- Diseño y aplicación de sensores de gas.
- Síntesis y caracterización de materiales y nanomateriales avanzados.

Adicionalmente, las líneas de generación o aplicación innovadora del conocimiento (LGACs) personales registradas en PRODEP por los profesores-investigadores son:

- Síntesis y caracterización de materiales y nanomateriales avanzados.

**TABLA 3.** Reconocimientos recibidos por los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales desarrollando nanociencias y nanotecnología.

PROFESOR	NIVEL SNI (CONACyT)	PERFIL DESEABLE
Dra. Ma. Elena Calixto Olalde		
Dr. José Hernández Barajas		
Dr. Oliver Muñoz Serrato		X
Dr. Gabriel Herrera Pérez	I	X
Dr. Rafael Vargas Bernal	I	X

- Diseño e implementación de sensores de gas.
- Ciencia y desarrollo en nanotecnologías emergentes.
- Diseño y análisis de circuitos integrados.
- Obtención de materiales nanoestructurados para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes.
- Síntesis de materiales nanoestructurados y formación de películas delgadas a través de procesos en solución.
- Polimerización heterofásica de polímeros acrílicos (emulsión inversa, directa y por precipitación).
- Poliuretanos base agua.
- Caracterización de materiales.
- Aplicaciones de la química cuántica computacional al estudio de los materiales.
- Síntesis y caracterización de materiales mesoporosos.
- Materiales aplicados a la catálisis y adsorción.

Los profesores e investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales han sido reconocidos por sus trayectorias académicas y científicas por sus contribuciones a la investigación por parte de CONACyT (Sistema Nacional de Investigadores) y PRODEP (Profesor con Perfil Deseable) como lo indica la tabla 3 (información hasta agosto de 2016).

Dentro de las líneas de investigación en NyN que se llevan a cabo en el ITESI se desarrollan los siguientes proyectos de investigación científica básica y aplicada:

- Síntesis de hidrogeles y nanohidrogeles para su aplicación como soportes y nanosportes. (Dra. Calixto).
- Síntesis y caracterización de nanomateriales adsorbentes con aplicación potencial a la adsorción de contaminantes. (Dra. Calixto).
- Síntesis de nanocompuestos polímero/arcilla-nanotubos de carbono aplicados en la adsorción de metales pesados. (Dra. Calixto).
- Síntesis, modelado y caracterización de materiales compósitos basa-

- dos en polímeros y nanomateriales de carbono con propiedades eléctricas. (\$100,000.00 pesos PRODEP e ITESI). (Dr. Vargas).
- obtención de películas de  $\text{TiO}_2$  nanogranulares con superficies texturizadas para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes. (\$100,000.00 pesos PRODEP e ITESI). (Dr. Muñiz).
  - Desarrollo de película de polipropileno CAST (CPP) nucleado con estabilidad mecánica mejorada similar a películas bioorientadas a partir del uso eficiente de nanocargas minerales. (Dr. Herrera).
  - Determinación de los mecanismos de conducción eléctrica en materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono. (\$1,400,000.00 pesos CONACyT). (Dr. Vargas).
  - Desarrollo de recubrimientos metálicos y cerámicos para cambios térmicos y tolerantes a la radiación cósmica (\$300,000.00 CONACyT). (Dr. Vargas).
  - Aplicación de materiales cerámicos nanoestructurados en el diseño de sensores de gas. (Dr. Herrera).
  - Síntesis y caracterización de cerámicas avanzadas para su aplicación en nanotecnología y química fina. (\$300,000.00 ITESI-CONCyTEG). (Dr. Herrera).
  - Formación de películas nanoestructuradas y con superficies texturizadas para mayor absorción de luz solar. (Dr. Muñiz).
  - Desarrollo de nanocompuestos transparentes y flexibles polímero-arcilla formados por el proceso de colada de soluciones para celdas solares flexibles. (Dr. Muñiz).
  - Obtención de películas de grafeno conductoras eléctricas y transparentes por medio de exfoliación electroquímica. (Dr. Muñiz).
  - Desarrollo Tecnológico de Recubrimientos de Poliuretano de Alto Desempeño. (\$300,000.00 pesos PROMEP). (Dr. Herrera).
  - Degradación de pesticidas con la aplicación del ZnO como fotocatalizador. (\$ 150,000.00 TecNM). (Dr. Herrera).
  - Transformación catalítica del glicerol a un producto de mayor valor agregado. (\$ 200,000.00 TecNM). (Dr. Herrera).

## Colaboración y proyectos

El ITESI es una institución abierta a la colaboración con universidades y centros de investigación nacionales y del extranjero que realizan investigación y desarrollo tecnológico en el área de NyN con diferente grado de formalidad. Se tiene colaboración con las universidades y centros de investigación (ordenadas alfabéticamente):

- Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA), Campus Monterrey y Chihuahua.
- Centro Nacional de Metrología (CENAM).

- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICyT).
- Instituto Tecnológico de Celaya (ITC).
- Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).
- Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).
- Universidad de Guadalajara (UdeG).
- Universidad de Guanajuato (UG).
- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).
- Universidad Pública de Navarra (España).

Se participa con actividades de NyN en las siguientes redes temáticas de CO-NACyT:

- Red de Nanociencias y Nanotecnología (REDNYN), 3 miembros.
- Red de Ciencia y Tecnología Espaciales (REDCyTE), 1 miembro.
- Red Temática Nacional de Aeronáutica (RTNA), 1 miembro.
- Red Mexicana de Materia Condensada Blanda (RMMCB), 1 miembro.
- Red Estatal de Divulgación y Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología (REDyECyT) Guanajuato, 2 miembros.

La membresía a la red de NyN (REDNyN) ha permitido tener acceso a apoyos económicos para la participación en congresos de nuestros tesis y becas para ellos así como la interacción con investigadores de una gran trayectoria académica y científica a nivel nacional.

La colaboración interinstitucional ha sido un factor determinante para la realización de los diversos proyectos de investigación, en todas ellas se ha realizado la caracterización de los materiales obtenidos, por lo cual esto permite fortalecer las líneas de investigación que actualmente se desarrollan, así como concluir de forma exitosa los proyectos terminales de los estudiantes.

## Infraestructura

El Instituto Tecnológico Superior de Irapuato dispone de 1 laboratorio especializado para la preparación y caracterización de nanomateriales. Se cuenta con campana de flujo laminar y de extracción, hornos, centrífuga, medidores de pH, micro-balanzas, y reactores para síntesis de polímeros (figura 2). Adicionalmente tiene equipos de caracterización como espectrómetro infrarrojo (FTIR), Raman, UV-VIS, analizador térmico diferencial (DTA) y analizador termogravimétrico (TGA), y equipo de determinación de área superficial BET (figura 3).

**FIGURA 2.** Equipos para síntesis de nanomateriales.



**FIGURA 3.** Equipos para caracterización de nanomateriales.



En el área de NyN de polímeros hay un reactor Buchi Ecoclave 75 (figura 4) de 1 litro de capacidad en donde se realizan la síntesis de diversos sistemas poliméricos y diversas reacciones, gracias a su soporte de presiones y temperaturas altas.

Para la caracterización de distribución de tamaños de partícula de los sistemas poliméricos heterofásicos se cuenta con un equipo de dispersión de luz marca Malvern modelo Mastersizer 2000 que se muestra en la figura 5. Con este equipo se pueden hacer determinaciones de tamaños de partículas desde 20 nm hasta 2 milímetros con la ayuda de un láser He-Ne.

Para la determinación de las propiedades reológicas de algunos polímeros se dispone de un reómetro híbrido Discovery (DHR-3) de TA Instruments ilustrado en la figura 6. Este equipo permite estudiar las propiedades viscoelásticas de los polímeros bajo condiciones extremas.

**FIGURA 4.** Reactor Buchi Ecoclave 075. **FIGURA 5.** Mastersizer 2000 de Malvern.



**FIGURA 6.** Reómetro Híbrido Discovery DHR-3.



**FIGURA 7.** Máquina universal de ensayos mecánicos marca Shimadzu modelo AGS-X 10KN.



Para la determinación de las relaciones-propiedades mecánicas de los polímeros se dispone de una máquina universal de ensayos mecánicos marca Shimadzu modelo AGS-X 10KN que se muestra en la figura 7.

## Actividades con empresas

ITESI ha fomentado sus vínculos con el sector empresarial a través de la realización de proyectos de desarrollo tecnológico vinculados con la NyN como se describe a continuación:

- “Desarrollo a nivel piloto de modificadores reológicos de alto desempeño y alto valor agregado”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2015, con un monto de \$2,000,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Dispersiones acuosas híbridas de poliuretano-acríticas para calzado por rutas químico-enzimáticas”, proyecto vinculado con la empresa Simón Química, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2015, con un monto de \$286,468.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Desarrollo tecnológico de dispersiones acuosas de poliuretano para las industrias del cuero-calzado mediante el uso de un proceso biotecnológico para la obtención de polioles precursores”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2013, con un monto de \$1,900,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).
- “Desarrollo tecnológico de micropartículas de poliuretano de alto desempeño”, proyecto vinculado con la empresa El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. por medio del Programa de Estímulos a la Innovación 2011, con un monto de \$2,150,000.00 pesos para ITESI. (Dr. Hernández Barajas).

- “Desarrollo tecnológico de micropartículas termoplásticas acrílicas de alto desempeño”, proyecto vinculado con El Pequeño Curtidor de León, S.A. de C.V. en el Fondo Mixto Guanajuato-CONACyT 2010, con un monto de \$256,000.00 pesos para ITESI (Dr. Hernández Barajas).

## Propiedad intelectual solicitada y otorgada

Hasta el momento la propiedad intelectual no ha sido solicitada y otorgada ya sea debido a que los avances están vinculados con actividades de ciencia básica o debido a que los desarrollos realizados están destinados a empresas donde el secreto profesional no ha permitido difundir a la opinión pública los avances alcanzados en nanociencia y nanotecnología. Se espera que en los próximos años con los avances alcanzados puedan ser patentados algunos desarrollos que se encuentran en proceso.

## Docencia y formación de recursos humanos

Los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales que realizan actividades en NyN están activamente comprometidos con las labores de docencia y formación de recursos humanos. Ellos imparten en promedio 2 cursos de licenciatura por semestre ya sea del tronco común de ingenierías o de la especialidad a la cual ellos están adscritos. Los profesores dirigen tesis de grado, participan en comités de tutorías o de jurados de exámenes recepcionales, son asesores de residencias profesionales y de servicio social universitario, así como asesores del Verano de la Ciencia de la Región Centro y del Verano Estatal de Investigación con temáticas en NyN. Adicionalmente se participa en la aplicación de exámenes de admisión y de cursos básicos de nivelación para los alumnos de nuevo ingreso. Cada seis años junto con los profesores de institutos tecnológicos del país se crean y actualizan los planes de estudio de la carrera y cada 2 años se crean y actualizan los programas de las especialidades que se imparten localmente en el instituto en los dos últimos semestres de la formación académica de la licenciatura en ingeniería de materiales.

El Departamento de Ingeniería en Materiales desde su retícula 2004 imparte cursos con material asociado con NyN en el curso llamado materiales avanzados que apareció en la retícula en el séptimo semestre y era curso de tronco común para las especialidades ofrecidas. En la retícula 2010, aparece formalmente el curso llamado Introducción a los Nanomateriales también en el séptimo semestre del tronco común de ingenierías. La carrera de ingeniería en materiales inició actividades con dos especialidades en donde el uso de nanomateriales se refleja dentro de sus contenidos de los programas de estudio y sobre todo en las temáticas asociadas con los temas de tesis: materiales poliméricos y materiales cerámicos (tabla 1). Estas especialidades estuvieron vigentes hasta 2014, las cuales fueron actualizadas por las espe-

cialidades llamadas: 1) innovación y manufactura en materiales poliméricos, y, 2) diseño e innovación de materiales avanzados.

Dentro de la carrera de ingeniería en materiales se cuenta con un modelo de titulación que consiste en el desarrollo de un proyecto de investigación con un tiempo de duración en promedio de 10 meses, esto permite a los estudiantes aplicar los conceptos aprendidos en semestres anteriores, así como el desarrollo de habilidades genéricas, capacidad de análisis, redacción de textos científicos, análisis de información y solución de problemas, entre otras. Generalmente se agrupan en equipos de dos, sin embargo también puede ser un solo estudiante. En este contexto se han realizado proyectos de titulación relacionadas con el área de nanociencias y nanotecnología, dentro de los títulos más recientes se encuentran:

- Síntesis y caracterización de un nanocompósito a base de hidrogel/ arcilla como soporte de inmovilización.
- Determinación de la viabilidad del nanocompósito de hidrogel/arcilla como biocatalizador en la obtención de biodiesel.
- Síntesis y caracterización de materiales compuestos quitosano/NIPA/MMT-Na<sup>+</sup> para su potencial aplicación en la eliminación de arsénico.
- Síntesis de nanocompósito quitosano/polialcohol vinílico/montmorillonita-nanotubos de carbono para su potencial aplicación en la adsorción de cromo.
- Síntesis y caracterización de nanomateriales adsorbentes con aplicación potencial a la adsorción de cobre.
- Evaluación de las propiedades eléctricas del nanocompósito quitosano/montmorillonita-nanotubos de carbono.
- Estudio de la capacidad de adsorción de cromo en medio acuoso utilizando el nanocompósito quitosano/ polialcohol vinílico/ montmorillonita- nanotubos de carbono.
- Modelado de la conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado de la permitividad eléctrica de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Comparación del desempeño de los modelos de conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Estudio del comportamiento de la conductividad eléctrica en corriente directa de materiales compósitos polímero-nanotubos de carbono.
- Análisis de los métodos de funcionalización no-covalente de nanotubos de carbono para la entrega de medicamentos.
- Análisis de los métodos de funcionalización covalente de nanotubos de carbono para la entrega de medicamentos.

- Diseño matemático de micro y nanorobots: nanocarro como plataforma para la detección, diagnóstico y tratamiento de cáncer.
- Análisis de materiales cerámicos para sensores de gas.
- Obtención de nanopartículas de cerámica avanzada.
- Modelado eléctrico y mecánico de nanocompuestos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado térmico y magnético de nanocompuestos polímero-nanotubos de carbono.
- Modelado y síntesis de grafeno para aplicaciones electrónicas.
- Formación de superficies texturizadas a través de la técnica de replicación por moldeo.
- Obtención de nanocompuestos flexibles y transparentes de poliestireno/caolinita: delaminación y dispersión de caolinita.
- Producción de películas de grafeno transparentes y conductoras a través de un proceso en solución.
- Obtención de películas de  $\text{TiO}_2$  con superficies cuasi-aleatorias, para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorantes.
- La formación de un nanocompuesto polímero-arcilla, para su aplicación como sustrato en celdas solares flexibles.
- Síntesis y caracterización de nanoestructuras basadas en ZnO.
- Obtención de materiales zeotipos para su aplicación en catálisis heterogénea.

La Dra. Ma. Elena Calixto Olalde actualmente es codirectora de una tesis de doctorado de una alumna del Instituto Tecnológico de Celaya. Esta tesis tiene como fin sintetizar un hidrogel nanocompuesto para el diseño de filtros para la adsorción de arsénico. Hoy en día, otros de los investigadores de este equipo de trabajo asesoran tesis de maestría con otras universidades ya sea como colaboradores de cuerpos académicos o como parte del *staff* académico en programas con orientación a ingeniería en materiales.

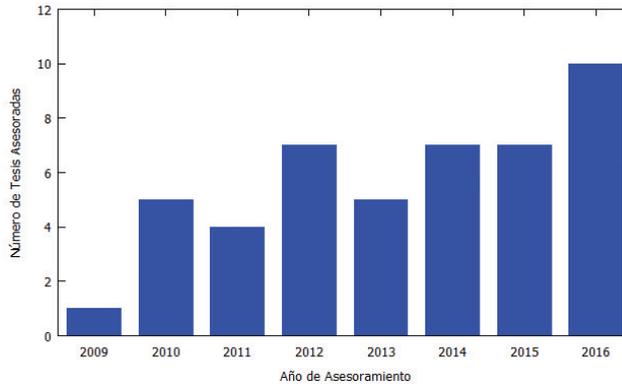
El Departamento de Ingeniería en Materiales todavía no cuenta con programas de posgrado en el área de NyN, el primero se encuentra en trámite en la Dirección de Posgrado del Tecnológico Nacional de México. La iniciativa plantea la creación de un programa en ciencias, el cual sería precursor en la institución ya que los 4 programas de posgrado ofertados hasta ahora en otras áreas del TESI son del tipo profesionalizante.

La cantidad de tesis de licenciatura asesoradas en relación con las NyN por los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales en el transcurso del periodo 2009-2016 se ilustra en la figura 8.

## Principales logros en el área de NyN

Los principales logros del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI en el área de NyN se pueden resumir en la siguiente forma:

FIGURA 8. Tesis de licenciatura asesoradas en el área de NyN.



- 1) Actualmente, de los 5 profesores que realizan investigación en NyN, 3 de ellos tienen perfil PROMEP deseable y 2 SNI I. Todos los profesores investigadores realizando actividades de investigación en NyN han obtenido apoyos económicos para realizar sus proyectos de investigación por parte de CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), CONCyTEG (Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato), y PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente). Esta situación permite pronosticar un futuro prometedor a fin de que el desarrollo en NyN permanezca garantizado para el grupo multidisciplinario del Instituto.
- 2) Se ha logrado publicar artículos en revistas indexadas tales como *Materials Letters* (Elsevier), *Microscopy and Microanalysis* (Cambridge University Press), *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems* (IEEE), y en *International Journal of Circuit Theory and Applications* (Wiley) (figura 9). En el caso de capítulos en

FIGURA 9. Artículos publicados en revistas indexadas relacionadas con NyN.

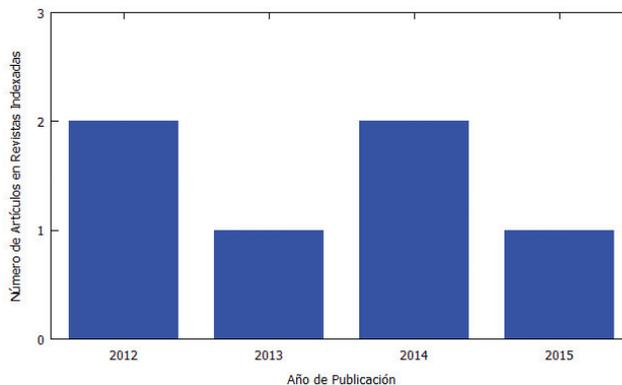
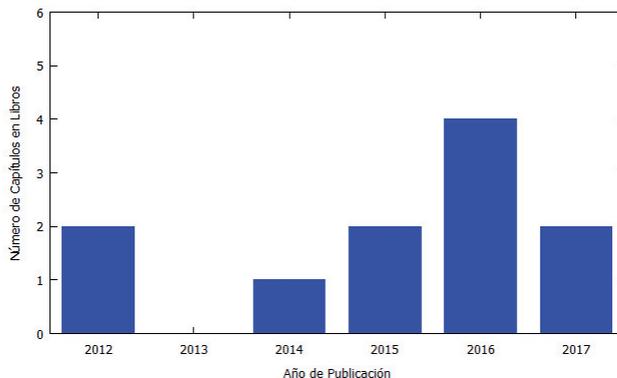


FIGURA 10. Capítulos en libros publicados relacionados con NyN.



libros se ha logrado publicar en editoriales tales como *Intech* (Croacia), *Springer* (Alemania), *One Central Press* (Reino Unido), y en *IGI Global* (Estados Unidos) (figura 10).

- 3) El área de modelado de nanomateriales ha permitido demostrar la aplicación de la simulación de modelos matemáticos para predecir las propiedades físicas de materiales compósitos basados en polímeros y nanotubos de carbono, óxidos metálicos, y materiales basados en grafeno. Estos resultados han permitido comparar los valores teóricos encontrados en nuestras actividades de investigación con aquellos reportados experimentalmente por diferentes grupos de investigación a nivel mundial. De tal comparación ha podido ser posible el diseño de cubiertas para el blindaje a la interferencia electromagnética, sensores de gas, y dispositivos electrónicos tales como transistores de efecto de campo (FETs).

## Perspectivas sobre actividades de NyN

Los profesores-investigadores del Departamento de Ingeniería en Materiales del ITESI que trabajan en el área de NyN consideran que las principales perspectivas desde sus áreas de desarrollo personal pueden resumirse de la siguiente manera:

- El desarrollo de la nanotecnología en el área de materiales ha sido de gran impacto pues permite una aplicación directa a diversas áreas. La preparación de nanocompósitos permite obtener materiales que pueden modificar sus propiedades de manera significativa, por la incorporación de nanomateriales, y a la vez confinar el nanomaterial dentro de una matriz que evita su exposición al medio ambiente y con ello se tiene un mejor control de esta clase de materiales, lo cual reduce el impacto ambiental. Es importante considerar la manipulación

adecuada de los nanomateriales ya que aún se desconoce el impacto que pueden tener en la salud del planeta, por lo cual los nanocompósitos constituyen un área de oportunidad de gran interés, en particular el desarrollo de nanocompósitos aplicados a la biotecnología. Además de la formulación, estructura y propiedades, es importante mejorar la dispersión del nanomaterial en la matriz ya que éste es un factor influyente en las propiedades finales del material, aunado a su formulación, enfoque de interés de los actuales y próximos proyectos de investigación.

- Un reto importante en NyN es el desarrollo de nanomateriales que permitan una eficiente absorción de luz solar y una alta conducción de electrones; esto para aplicaciones en celdas solares sensibilizadas con colorantes. En la absorción de luz es deseable controlar la nanoestructura de los materiales para que absorban mayor cantidad de energía en el rango de la luz visible y para que además estos materiales muestren una alta estabilidad química. Es necesario también obtener nanomateriales que presenten una mínima o nula recombinación de los electrones fotogenerados, para tener altos niveles de conducción eléctrica. En este sentido, se están utilizando procesos en solución tanto para la síntesis como para la deposición de los nanomateriales, pues estos procesos pueden ser una ruta viable y económica para obtener nanomateriales con los requerimientos deseados.
- Haciendo uso de las redes de vinculación universidad-empresa se pueden desarrollar proyectos multidisciplinarios donde se combinen la ingeniería de reacciones, biotecnología y nanotecnología como lo es el desarrollo de materiales de dimensiones nanométricas del Dr. Hernández Barajas a través del uso de dispersiones acuosas de poliuretano usando polioles obtenidos por medios enzimáticos.
- Es necesario optimizar los modelos matemáticos para predecir las propiedades físicas de los materiales nanocompósitos, con el fin de obtener valores teóricos mucho más cercanos a los valores experimentales. De esta manera se reforzaría la reproducibilidad y confiabilidad de los nanomateriales desde la etapa de diseño, lo cual supondría la reducción de costos y tiempo de síntesis para un gran número de aplicaciones donde las propiedades físicas deben ser sintonizadas.

## Sitios de interés relacionados con ITESI

Página institucional: <<http://www.itesi.edu.mx>>.

Página de google académico de la Dra. Ma. Elena Calixto Olalde: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=JVwm7LkAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. Oliver Muñiz Serrato: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=F4zmPfwAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. Gabriel Herrera Pérez: <<https://scholar.google.es/citations?user=Kj1eF5UAAAAJ&hl=es>>.

Página de google académico del Dr. José Hernández Barajas: <<https://scholar.google.com.mx/citations?user=Yl1taEYAAAAJ&hl=es&oi=ao>>.

Página personal del Dr. Rafael Vargas Bernal: <<http://www.angelfire.com/celeb/rvargas>>.

Página de google académico del Dr. Rafael Vargas Bernal: <<https://scholar.google.com/citations?user=fNdQrD0AAAAJ&hl=es>>.

# Universidad Politécnica de Pachuca\*

Maricela Villanueva-Ibáñez<sup>1</sup>

**RESUMEN:** La investigación en nanociencias y nanotecnología (NyN) en la Universidad Politécnica de Pachuca surge con un grupo multidisciplinario de profesores investigadores que posteriormente fue reconocido como Cuerpo Académico (CA) de Nanotecnología, nuevos materiales y sistemas para la salud, industria y energías alternas. El CA realiza sus actividades de investigación en el Laboratorio de Nanotecnología, sistemas Biológicos y Aplicaciones industriales (LaNBA), pionero en el estado de Hidalgo desde 2006. Las dos líneas de investigación que se desarrollan comprenden proyectos originales relacionados con el diseño, síntesis, caracterización y aplicación de nanomateriales para las áreas en las que el grupo se enfoca. Durante los cinco años de haber sido reconocido como CA *en consolidación*, el LaNBA se ha provisto de equipo básico para la caracterización de los nanomateriales producidos mediante métodos químicos, biosíntesis avanzadas puestas a punto en el grupo, así como materiales nanoestructurados obtenidos por métodos físicos para aplicación en energías. Una característica distintiva del grupo es la vocación por desarrollar proyectos que integran diferentes especialidades que permiten obtener dispositivos que cubran necesidades tecnológicas específicas.

**PALABRAS CLAVE:** Nanomateriales, nanobiotecnología, salud, energía alterna, aplicación industrial.

**ABSTRACT:** Nanosciences and nanotechnology (N&N) at the Polytechnic University of Pachuca emerge in a multidisciplinary group of researchers officially recognized under the name of "Nanotechnology, new materials and systems for health, industry and alternative energies". The group conducts its research at the Laboratory of Nanotechnology, Biological systems and industrial Applications (LaNBA), pioneer in the state of Hidalgo since 2006. Two lines of research develop original projects that include the design, synthesis, characterization and application of nanomaterials for areas in which the group focuses. In the last five years, the group has been *in consolidation* and has equipped the LaNBA with basic equipment for characterization of nanomaterials produced by chemical methods, the group has improved advanced biosynthesis of nanostructured materials obtained by physical methods for energy applications. A distinctive feature of the group is to develop projects that incorporate the specialties that allow to obtain devices that solve specific technological needs.

**KEYWORDS:** Nanomaterials, nanobiotecnology, health, alternative energy, industrial application.

---

Recibido: 23 de septiembre de 2016. Aceptado: 6 de octubre de 2016.

\* Se agradece a los profesores investigadores de la UPPachuca que pertenecen y colaboran en el CA: Dr. Marco Antonio Flores González, Dra. Patricia Nayeli Olvera Venegas, Dra. Blanca Estela Jaramillo Loranca, Dr. Roberto Castillo Ojeda, M.C. Gerardo Benítez Morales, M.C. Javier Hernández Pérez, M.M. Miguel Ángel Aguilera Jiménez y M.M. Roel González Montes de Oca por aportar información para la elaboración de este documento, así como a la Dra. María de los Ángeles Hernández Pérez de ESIQIE-IPN y de UPPachuca a la Dra. Rocío Álvarez García, a la Dra. Yuridia Mercado Flores y al Dr. Genaro Vargas Hernández, por su interés en colaborar con el CA en NyN.

<sup>1</sup> Responsable del LaNBA y líder del CA Nanotecnología, nuevos materiales y sistemas para la salud, industria y energías alternas (UPPACH-013). Universidad Politécnica de Pachuca. Carr. Pachuca-Cd. Sahagún Km.20, Ex-Hda. Santa Bárbara, Zempoala, Hidalgo, México. CP. 43830. Correspondencia: (villanueva@upp.edu.mx). Tel.: +52(771) 547 7510.

El estado de Hidalgo se ubica 65 km al norte del núcleo poblacional y económico más importante de la República Mexicana. La posición geográfica del estado de Hidalgo en la región centro oriente del país lo caracteriza como una región estratégica para el comercio y la conectividad nacional, particularmente con los estados de Querétaro, Veracruz, San Luis Potosí, Puebla, Tlaxcala y el Estado de México; es el séptimo estado más pequeño del país con una superficie de 20, 846 km<sup>2</sup>. La región considerada como de incidencia involucra las entidades con mayor necesidad de programas educativos de alto nivel que formen recursos humanos que coadyuven al progreso de sus estados tales como, Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México, Distrito Federal y Veracruz. Aquí es donde surge en 2004 por decreto de creación, la Universidad Politécnica de Pachuca (UPPachuca), bajo la necesidad de establecer un nuevo modelo de educación superior caracterizado por su alta pertinencia, flexibilidad y articulación académica, la cual forma profesionistas y especialistas en programas educativos de vanguardia pertinentes e innovadores.

En la Agenda de Innovación de Hidalgo se analizaron las capacidades existentes relacionadas con innovación, ventajas competitivas, visión del estado o región, así como áreas de especialización para enfocar esfuerzos y prioridades. Dado que se requiere asegurar la disponibilidad de recursos humanos de alto nivel con capacidades para resolver las complejidades que presentan las áreas prioritarias, es necesario fomentar proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación, formación de recursos humanos especializados, alianzas estratégicas con la formación de redes, así como la consolidación de cuerpos académicos y desarrollo de tecnologías emergentes partiendo de las necesidades de la entidad como una prioridad en su quehacer científico y tecnológico. En la Agenda de Innovación del estado se identificaron como áreas de especialización la metalmecánica-automotriz-transporte, agro biotecnología, tecnologías de la información y la comunicación (TIC), logística, y textil y confección, cada una con sus nichos de especialización. En este sentido se observa un gran terreno de oportunidades para las nanotecnologías como tecnologías multidisciplinarias para el estado de Hidalgo.

La UPPachuca ha sido por excelencia una referencia y pauta para las demás instituciones del subsistema respecto a investigación e innovación, bajo la iniciativa de dos profesores investigadores especialistas en nanomateriales, en 2006 se creó el Laboratorio de Nanotecnología y Bioelectromagnetismo Aplicado (LaNBA) de la Universidad Politécnica de Pachuca en alineación con el Plan Nacional de Desarrollo y Plan Estatal de Desarrollo así como con el Programa Institucional, siendo de esta forma pionero en el estado de Hidalgo. A partir de ahí, en 2008 se integró un grupo multidisciplinario de investigación conformado por especialistas en electrónica, mecatrónica, mecánica, biomédica y nanomateriales, que inició con lo imprescindible tanto para la preparación y caracterización de nanomateriales como con equipo básico de electrónica. Poco a poco, gracias a la gestión institucional y

**FIGURA 1.** Centro Multidisciplinario Institucional y entrada del Laboratorio de Nanotecnología y Bioelectromagnetismo Aplicado (LaNBA) de la Universidad Politécnica de Pachuca.



a los proyectos especiales ganados por los investigadores del grupo, el laboratorio incrementó su infraestructura y actualmente cuenta con un espacio de 133 m<sup>2</sup> que se ha ido equipando y está ubicado dentro de las instalaciones de la UPPachuca, en el Centro Multidisciplinario Institucional (CMI) en Carretera Pachuca-Cd Sahagún Km 20, Ex-Hacienda de Santa Bárbara en Zempoala, Hidalgo.

El grupo de investigación fue reconocido en el año 2011 como Cuerpo Académico (CA UPPAC-CA-013) *en consolidación* bajo el nombre de “Nanotecnología y sistemas inteligentes” en donde el principal objetivo era desarrollar investigación tanto básica como productos y procesos para nuevas tecnologías en áreas de salud, energía, agricultura, etc. Este concepto a lo largo de cinco años ha ido evolucionando y adaptándose a las necesidades actuales, de la misma forma que sus integrantes, pues actualmente se cuenta con especialistas en nanomateriales, materiales y metalurgia, biología molecular, semiconductores, mecatrónica, así como colaboradores en mecánica y energías, de tal forma que el nombre actual del CA es “Nanotecnología, nuevos materiales y sistemas para la salud, industria y energías alternativas” conservando la multidisciplinariedad que lo ha caracterizado. De igual modo, el nombre del laboratorio se ha renovado como Laboratorio de Nanotecnología, sistemas Biológicos y Aplicaciones industriales (LaNBA).

El CA está integrado por seis profesores investigadores como miembros permanentes y cuatro profesores reconocidos como colaboradores, adscritos todos a diferentes programas educativos, ingeniería en biotecnología, ingeniería mecatrónica, maestría y doctorado en biotecnología, maestría en mecatrónica y maestría en TICs. Dos profesores del grupo realizan sus inves-

tigaciones en nanociencias y nanotecnología (NyN) y dos de ellos son especialistas en materiales que se han involucrado desde su integración al CA en temáticas relacionadas con NyN. Los demás profesores especialistas en mecánica, mecatrónica, y energías, son un sólido soporte en el grupo ya que aplican los nanomateriales a dispositivos que diseñan y construyen.

## Líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC)

El CA es un grupo de investigadores de relativa reciente creación, en el corto tiempo de colaborar se ha trabajado en proyectos que han permitido involucrarse en diferentes temáticas relacionadas con nanociencias y nanotecnología y que actualmente se encuentra en proceso de obtención de resultados de la mayoría de sus proyectos. Muestra de que aún se encuentra en proceso de crecimiento y estabilización es que las líneas recientemente han sido reestructuradas y orientadas acorde con las necesidades actuales y futuras del estado de Hidalgo y se encuentran agrupadas de forma general en dos LGAC, donde cada una incluye diferentes temáticas de investigación y proyectos:

- 1) **Diseño e innovación de nanomateriales y materiales avanzados con aplicación tecnológica.** Se realiza investigación fundamental y desarrollo tecnológico de materiales nanométricos, nanoestructurados y nuevos materiales simples, compuestos e híbridos con aplicación en áreas de la salud, la industria y relativas a las energías alternas.
- 2) **Tecnología e innovación de sistemas aplicados a la salud, industria y energías alternas.** Se realiza investigación interdisciplinaria e innovación con nuevas tecnologías para sistemas aplicados en la solución de necesidades para el sector salud, industrial y de energías alternas.

En la primera LGAC se incluyen las siguientes temáticas de investigación:

- Síntesis por métodos químicos (sol-gel, poliol, hidrólisis forzada, etc.) de óxidos cerámicos puros, dopados y mixtos nanoestructurados.
- Aproximaciones biotecnológicas (plantas y microorganismos) para la obtención de nanopartículas metálicas, bimetalicas y óxidos cerámicos.
- Obtención y caracterización de nanomateriales luminiscentes.
- Obtención de materiales compuestos y materiales híbridos nanoestructurados con aplicación en áreas médica e industrial.
- Desarrollo de materiales piezoeléctricos nanoestructurados con aplicación en áreas médica y ambiental.
- Obtención y caracterización de nanomateriales con propiedades antimicrobianas.

- Desarrollo y aplicación de nanopartículas con actividad antifúngica.
- Obtención y uso de nanomateriales con propiedades fotocatalíticas para descontaminación de efluentes textiles.
- Adición de nanopartículas a fibras naturales.
- Purificación de minerales mediante métodos biotecnológicos alternativos para la producción de nanomateriales.
- Uso de nanomateriales en sistemas de energías alternas.
- Estudio del efecto de productos nanotecnológicos en cultivos agrícolas.
- Estudio de la recuperación de nanopartículas con una aproximación biotecnológica.

En la segunda LGAC, además de desarrollar sistemas acordes con las necesidades de la industria, salud y energías, se contempla la aplicación y el desarrollo de nanomateriales destacando las siguientes temáticas en NyN:

- Biosensores a base de biomateriales adicionados con nanopartículas metálicas.
- Diseño y construcción de transductores para ultrasonido médico que incluyan materiales piezoeléctricos nanoestructurados.
- Uso de nanomateriales en sistemas para tratamiento de efluentes.
- Desarrollo de sistemas de diagnóstico médico.
- Diseño y construcción de sistemas para la producción de nanomateriales.
- Adición de materiales nanoestructurados en sistemas de bioenergía.

Como resultado del apoyo obtenido mediante convocatorias de diferentes instancias como SEP-CONACyT, Ciencia Básica, Programa para el desarrollo profesional docente - PRODEP, PEI, SNI-tutorías, ha sido posible concretar proyectos y equipar el LaNBA para dar servicio al CA y a los grupos de investigación de UPPachuca que así lo requieran. A continuación se enlistan algunos ejemplos de proyectos relacionados con NyN con financiamiento externo que se han desarrollado o están en curso en el CA:

- Elaboración de soportes cerámicos porosos obtenidos a partir de materiales nanoestructurados para la inmovilización de un consorcio de bacterias nitrificantes usadas en el tratamiento de aguas residuales.
- Elaboración y caracterización magneto óptica de partículas metálicas nanométricas y nanoestructuradas adicionadas con tierras raras.
- Elaboración de materiales piezoeléctricos nanoestructurados para transductores de equipos de ultrasonido médico.
- Desarrollo de nuevos materiales nanométricos para aplicaciones en transductores magnéticos

- Estudio de las propiedades estructurales y ópticas de guías de onda planares adicionadas con nanopartículas sub-10 nm de tierras raras.
- Aplicación de materiales nanoestructurados como matriz filtrante de agua residual y efluentes de procesos biológicos.
- Estudio del efecto del tamaño de cristal en las propiedades de materiales cerámicos piezoeléctricos nanoestructurados libres de plomo con o sin adición de nanopartículas sub-100nm.
- Equipamiento del Laboratorio de Nanotecnología y Bioelectromagnetismo Aplicado para el fortalecimiento del CA nanotecnología y sistemas inteligentes.

## Infraestructura disponible

Las actividades de investigación en NyN del CA se desarrollan principalmente en el LaNBA; sin embargo, para llevar a cabo las diferentes temáticas que van desde síntesis y caracterización de nanomateriales, aplicación, desarrollo de dispositivos, hasta efectos en el ambiente, es necesario hacer uso de otros espacios con los que cuenta la Universidad Politécnica de Pachuca como el Laboratorio de Investigación Química I y II, Laboratorio de Microbiología Celular, Laboratorio de Células Vegetales y los Invernaderos Institucionales. Particularmente la infraestructura del LaNBA consiste en un espacio físico de aproximadamente 133 m<sup>2</sup> con mezzanine de aproximadamente 50 m<sup>2</sup>. En este laboratorio hay diferentes áreas delimitadas de acuerdo con las actividades multidisciplinarias que ahí se desarrollan.

a) Sala de Electrónica, sistemas Biológicos y Energías. Donde se realizan actividades de investigación relacionadas con la aplicación de nanomateriales y/o sistemas nanobiológicos en dispositivos electromecánicos y biomédicos. Se desarrollan además, nuevos materiales avanzados aplicables a energías mediante técnicas *top-down*. Se cuenta con equipo electrónico de medición, densitómetro óseo, ultrasonido médico, computadoras, dispositivo de rehabilitación y de manufactura de nanotubos de carbono, así como dispositivos para la fabricación de materiales semiconductores y depósito de películas por plasma, nanopelículas, microstrip, recubrimientos, etc. Además de un dispositivo *dip-coating* para depósito de películas finas. Estos últimos equipos han sido fabricados por investigadores del CA.

b) Área de Preparación de Materiales. Se efectúan principalmente métodos de obtención de nanomateriales en una aproximación *bottom-up* destacando los métodos químicos y aproximaciones biotecnológicas para aplicación en vectores de medicamentos, sensores, antifúngicos, antibacterianos, textil, fotocatalizadores, semiconductores, aprovechamiento de residuos agroindustriales para producción de nanopartículas, así como propuestas alternativas biotecnológicas de recuperación de oro, plata y tratamientos de arcillas de interés industrial. El espacio cuenta con equipo menor (parrillas

FIGURA 2. Aspecto general del interior del LaNBA; cámara de ambiente controlado; granulómetro láser.



con control de temperatura, rotoevaporador, muflas, destilador, desionizador, hornos circulares, estufa, campanas de extracción, incubadora, *shaker*, refrigeradores, tamizador rotap, entre otros).

c) Sala de Caracterización Primaria. Se lleva a cabo la primera caracterización a los materiales obtenidos y se da seguimiento durante su elaboración. Es de uso rutinario los espectrofotómetros UV-vis, así como el granulómetro láser para conocer la distribución del tamaño de partícula. En este mismo espacio se encuentran las balanzas digitales, centrífuga, baños ultrasónicos, así como almacenamiento de reactivos y de materiales y suministros.

d) Área de Alumnos de Posgrado. Se ubica en el mezzanine, cuenta con 6 mesas, computadoras con Internet y acceso a base de datos institucional. Una mesa de reuniones de tal forma que se organizan cuatrimestralmente seminarios internos por parte de los alumnos de posgrado y de licenciatura del LaNBA.

e) Cámara de atmósfera controlada. Es un espacio de aproximadamente 2.5 m<sup>2</sup> diseñado y construido por investigadores del grupo, donde se desarrollan proyectos que requieren de control de temperatura y humedad, desde cultivos de hongos para la biosíntesis de nanopartículas hasta el estudio de efecto *in vitro* de nanomateriales en semillas. Cuenta con controlador de humedad y de temperatura, así como mesa de trabajo.

f) Sala de microscopía y espectroscopías. Se cuenta con un microscopio electrónico de barrido que da servicio a los grupos de investigación o cuerpos académicos de la universidad. También se dispone de un espectrofluorímetro para llevar a cabo determinación de propiedades ópticas características y de un microscopio Raman para investigar algunas propiedades estructurales.

## Colaboraciones

El CA realiza proyectos en NyN con diferentes grupos de investigación. Se estableció colaboración con grupos de UPPachuca como el CA “Aprovechamiento integral de recursos bióticos” (UPPAC-CA-3) y con el grupo de investigación “Tecnología de compuestos bioactivos” quienes tienen sus propias líneas de investigación en el área de la biotecnología y participan en los proyectos de NyN del CA. Ambos grupos cuentan con sus equipos de análisis y son utilizados de forma complementaria para el desarrollo de los proyectos. Asimismo, se participa con otras instituciones en la realización de proyectos conjuntos con diferente grado de formalidad (Instituto Politécnico Nacional, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Nacional Autónoma de México, CINVESTAV), de tal forma que se han concretado redes formales de colaboración como la Red Temática de Colaboración “Ingeniería de Procesos Avanzados de Sistemas Ambientales” (Prodep) y la Red de Innovación en Agroecosistemas Productivos Sostenibles, lo que respalda las actividades de investigación en NyN. Cabe resaltar que tres investigadores del CA son miembros de la Red nacional CONACyT “Nanociencias y Nanotecnología”.

De igual modo, se mantiene colaboración con instituciones extranjeras como el Instituto Lumière Matière (ILM) en Lyon Francia, Grupo de Conservación del Patrimonio Instituto de Geología Económica de la Universidad Complutense de Madrid. Dentro de las actividades de investigación e innovación que se realizan, el CA se vincula con empresas del estado Hidalgo, entre éstas, Utopia, GreenTech S de RL de CV, Inno Tech Alimentos S de RL de CV, Bios Tecnología aplicada S de RL de CV, Productos y servicios de alta tecnología S de RL de CV, todo a través de la oficina de Investigación Innovación y Desarrollo Tecnológico de la UPPachuca. Finalmente, se resalta que también existe vinculación con dos empresas francesas NANO-H S.A.S. y FyberCryst S.A.S.

## Instrumentos de protección de propiedad intelectual

El CA ha solicitado dos registros de patente en México en el área de NyN, una de ellas está relacionada con un proceso de obtención de nanopartículas mediante un residuo agroindustrial (MX/a/2014/002235), cuyos inventores son M. Villanueva Ibáñez, P.N. Rivera Arzola, M.A. Flores González y J. Francisco Escudero. La segunda se refiere a un sistema para el tratamiento de efluentes utilizando piezoeléctricos nanoestructurados (MX/a/2014/002234), cuyos inventores son M.A. Flores González, M. Villanueva Ibáñez, P.N. Rivera Arzola, R. González Montes de Oca. Se ha dado inicio a la solicitud de registro de dos patentes más relacionadas con NyN, una de ellas es sobre un proceso para la obtención de nanomateriales luminiscentes y el otro sobre un proceso de purificación de minerales.

**FIGURA 3.** Equipos ubicados en la sala de microscopía y espectroscopías. Microscopio electrónico de barrido; espectrofluorímetro y microscopio Raman.



## Docencia y formación de recursos humanos

Por definición, las nanotecnologías son tecnologías convergentes que cruzan todos los sectores industriales verticales como química, energía, textil, telecomunicaciones, construcción, transporte, salud, biotecnología, aeroespacial, agricultura, automotriz, por mencionar algunos. Por esta razón, aunque la UPPachuca no oferta una carrera en nanotecnología, al ser una referencia y pauta en investigación e innovación para las demás instituciones del subsistema, se consideró acertada la presencia de este eje en la institución ya que en la nanotecnología se ven involucradas la mayoría de las carreras multidisciplinarias que se ofertan. Principalmente existe una fuerte interacción con los programas educativos de ingeniería mecatrónica, ingeniería en

biotecnología, ingeniería automotriz e ingeniería biomédica. Actualmente, alumnos de estas carreras han desarrollado proyectos de estadía<sup>2</sup> en el LaNBA, así como estancias que les permiten aplicar los conocimientos que van adquiriendo en su carrera. Con respecto a la formación de recursos humanos de alta calidad, el LaNBA ha formado alumnos de maestría en biotecnología, maestría en mecatrónica y doctorado en biotecnología, además de alumnos de posgrados de otras instituciones con temas relativos a NyN. El CA actualmente se encuentra gestionando de forma institucional junto con otros grupos de investigación, un programa de doctorado de carácter multidisciplinario en donde una de las líneas de investigación está relacionada con NyN.

## Principales logros en NyN

Uno de los principales logros alcanzado por el CA es haber sido el primer grupo de investigación en NyN en el estado de Hidalgo con un espacio dedicado a esa área. El grupo de investigación fue reconocido oficialmente como Cuerpo Académico en vías de consolidarse desde hace cinco años, tiempo en el que el CA ha destacado en NyN:

1. Primer Cuerpo Académico dentro del subsistema de universidades politécnicas dedicado a NyN reconocido oficialmente. De esta forma, se creó el primer laboratorio institucional dedicado a investigación en áreas de NyN en el estado.
2. Uno de los primeros CAs dedicados a NyN con orientación en salud, industria y energías gracias al enfoque multidisciplinario que lo ha caracterizado desde sus inicios. Esta multidisciplinariedad ha permitido que alumnos de diferentes carreras se integren a proyectos de NyN.
3. Reunir en un grupo de investigación distintos especialistas que lleven la misma dirección hacia NyN con el fin de que a corto plazo se concrete la fusión de todas en productos de beneficio para el estado y la región.
4. Conocimiento en el desarrollo de métodos con una aproximación biotecnológica mediante plantas o microorganismos para la biosíntesis avanzada de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos, cerámicos, compuestos, híbridos, así como la utilización de estabilizantes de origen biológico
5. Obtención de nanopartículas metálicas con amplias aplicaciones en áreas de la salud gracias a sus características superficiales que los

---

<sup>2</sup> Una estadía es el periodo final de formación del alumno, cuyo objetivo es la puesta en práctica de las competencias adquiridas en un ambiente real de trabajo. El alumno puede elegir realizar un proyecto de investigación para elaborar una memoria de estadía con características similares a una tesis que defenderá frente a un jurado.

medios biológicos les confieren. Entre los que destacan su potencial aplicación en la terapia contra el cáncer así como su aplicación en superficies antimicrobianas.

6. Desarrollo de pastillas piezoeléctricas a partir de materiales cerámicos nanoestructurados libres de plomo. Estos piezoeléctricos han sido aplicados en un prototipo de reactor de cavitación para el tratamiento de efluentes.
7. Desarrollo de materiales nanométricos y nanoestructurados con propiedades luminiscentes y su aplicación en impresión de materiales portadores de códigos ópticos y su utilización en documentos antipiratería.
8. Establecer una temática de investigación referente al efecto de los nanomateriales en cultivos agrícolas tanto a nivel de germinación de semillas como del desarrollo de las plantas.

## Sitio web institucional

<<http://www.upp.edu.mx/posgrado/index.php/cuerpos-academicos/?id=124>>.

# Universidad Politécnica de Chiapas

Alejandro Aguirre Tovar<sup>1</sup>

**RESUMEN:** La Universidad Politécnica de Chiapas cuenta con diez años de fundación, en poco tiempo se ha ido consolidando en el desarrollo de diversas líneas de investigación y desarrollo tecnológico relacionadas con áreas como la nanotecnología y su aplicación en temas como películas delgadas para celdas solares, gracias a su Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables, el cual cuenta con laboratorios de química, solar y eólica, con equipamiento de última generación destacándose en el sur-sureste de México.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotecnología, energía renovable, biotecnología.

**ABSTRACT:** The Universidad Politécnica de Chiapas has ten years of foundation, in a short time has been consolidated in the development of several lines of research and technological growth related to areas such as nanotechnology and its application in topics such as thin films for solar cells through its Center for Research and Technological Development in Renewable Energy which has chemical laboratories of solar and wind energy, with equipment of last generation excelling in south-southeast of Mexico.

**KEYWORDS:** Nanotechnology, renewable energy, biotechnology.

## Introducción

La UPChiapas fue creada dentro del Subsistema de Universidades Politécnicas, según decreto número 1694-A2004 Bis, publicado en el *Diario Oficial del Estado de Chiapas* del día 1 de diciembre del 2004. Nace con un modelo de enseñanza basado en competencias profesionales, vinculado estrechamente con los sectores industriales y empresariales, a través de sus estancias y estadías en dichos sectores.

La estadía tiene una duración de 600 horas (un cuatrimestre) y la estancia tiene una duración de 120 horas (un mes). Los alumnos realizan dos estancias cada una al finalizar el primer y segundo ciclo de formación; esto permite realizar una vinculación directa con el sector productivo, a efecto de que el alumno adquiera conocimientos prácticos que complementen los aspectos teóricos obtenidos en el aula.

---

Recibido: 19 de agosto de 2016. Aceptado: 16 de octubre de 2016.

\* Director de Innovación Educativa, Investigación y Posgrado de la Universidad Politécnica de Chiapas, Carretera Tuxtla-Villaflores Km. 1+500 entre el panteón y puente Santo Domingo C.P. 29150. Suchiapa, Chiapas. Correspondencia: (aaguirre@upchiapas.edu.mx). Teléfono: +52 (961) 617 1460.

FIGURA 1. Entrada principal de la UPChiapas.



La UPChiapas cuenta con 8 programas académicos de ingeniería:

1. Agroindustrial.
2. Desarrollo de *software*.
3. Tecnología ambiental.
4. Energía.
5. Biomédica.
6. Mecatrónica.
7. Petrolera.
8. Manufactura.

Y dos programas de posgrado:

1. Maestría en energías renovables incorporada al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
2. Maestría en biotecnología, en la modalidad profesional, que recibirá su primera generación en 2016.

Asimismo cuenta con 5 cuerpos académicos de investigación y desarrollo tecnológico, debidamente reconocidos por el Programa de Desarrollo Profesional Docente (PRODEP):

1. Cuerpo Académico de Investigación y Desarrollo Agroindustrial (en consolidación).
2. Cuerpo Académico de Energía y Sustentabilidad (en consolidación).
3. Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental Aplicada (en formación).
4. Cuerpo Académico de Investigación y Desarrollo en Tecnología Biomédica (en formación).
5. Cuerpo Académico de Sistemas Mecatrónicos para Fuentes de Energía Renovable ( en formación).

Para fortalecer los procesos de investigación científica y tecnológica, se creó en 2013 el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables (CIDTER), donde se desarrolla investigación sobre energía eólica, solar y de la biomasa.

Actualmente la Universidad Politécnica de Chiapas cuenta con 101 profesores de los cuales 54 son profesores de tiempo completo y 47 son de asignatura.

La totalidad de los profesores de tiempo completo cuenta con estudios de posgrado.

Ocho profesores están en el sistema Nacional de Investigadores, de los cuales 3 son nivel 1 y los demás candidatos.

De los 54 profesores de tiempo completo 7 realizan actividades de investigación y desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con la NyN. Dichos académicos pertenecen a las áreas de agroindustria, energía, tecnología ambiental y mecatrónica; asimismo, a la fecha trabajan con 10 alumnos de la maestría en energías renovables y de ingeniería en energía.

**FIGURA 2.** Edificio Administrativo del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables.



## Líneas de investigación

### *Materiales nanoelectrónicos y fotovoltaicos*

Algunos proyectos de investigación son:

- Theoretical study on the electronic structure and reactivity of the series of compounds  $[Au_3X_3M_2]$ , with  $X = H, F, Cl, Br, I$  and  $M = Li, Na, K, Rb, Cs$ : the quest for novel catalytic nanomaterials.
- Electroanalysis of diazepam on nanosize conducting poly (3-methylthiophene) modified glassy carbon electrode.
- Estudio físicoquímico de celdas solares nanocristalinas de  $TiO_2$  sensibilizadas con tintes, utilizando el método Rietveld.
- The role of aromaticity on the building of nanohybrid materials functionalized porphyrins and carbon nanohorns: A theoretical study.
- Synthesis and characterization of nanostructured semiconductors for photovoltaic and photoelectrochemical cell applications.
- temperature dependence and oscillatory behavior of the optoelectronic properties of a dye-sensitized nanocrystalline  $TiO_2$  solar cell.
- Caracterización optoelectrónica de celdas nanocristalinas de  $TiO_2$  sensibilizadas con tintes orgánicos.
- Estudio de las propiedades estructurales, morfológicas y ópticas de las nanopartículas de  $FeS_2$  sintetizadas por método hidrotermal.
- Estudio de películas delgadas de  $Cu_2S$  depositadas por *sputtering* para aplicaciones fotovoltaicas.
- El papel de la geometría en el grafeno.
- Estudio de la electro-oxidación de compuestos basados en metaloporfirinas/nanocatalizadores para aplicaciones en celdas de combustible de alcohol.

## Vinculación

Para la realización de los diversos proyectos de investigación en materia de nanotecnología, la Universidad Politécnica de Chiapas cuenta con colaboraciones con las siguientes instituciones:

- Centro Mesoamericano de Física Teórica (MCTP) de la Universidad Autónoma de Chiapas.
- Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Algunos equipos para la investigación

### Difractómetro de rayos-X (XRD)

El SmartLab (figura 3) es el más novedoso difractómetro de alta resolución disponible en la actualidad. Tal vez su característica más novedosa es el *software* SmartLab Guidance, que proporciona al usuario una interfaz inteligente capaz de guiarlo a través de las complejidades de cada experimento.

### Microscopio electrónico de barrido JEOL 7100

Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo fácil de usar (figura 4), altamente versátil y con una óptica de alta potencia.

Permite la observación y el análisis a bajo kilovoltaje de aceleración, toma de imágenes a alta resolución y la observación simultánea de diferentes señales (sistema TTLS), el modo de bajo vacío (sistema LV), y la observación y análisis con una amplio campo de visión (sistema LDF), puede satisfacer las necesidades individuales de cada usuario.

El microscopio electrónico de barrido está orientado a obtener imágenes de estructuras a escala nanométrica (que constituyen la milmillonésima



FIGURA 3. Difractómetro de rayos-X SmartLab.



FIGURA 4. Microscopio electrónico de barrido.



parte de un metro) de una amplia diversidad de materiales, pues forma imágenes en regiones extremadamente pequeñas, debido a que utiliza electrones en vez de luz, y trabaja en altas resoluciones y ampliificaciones.

## Laboratorio de supercómputo

La nanociencia y las nanotecnologías son un eje transversal en el desarrollo científico actual. Por lo anterior, en la UPChiapas se realiza investigación en el área de ciencia de materiales computacional aplicado a la predicción y desarrollo de nuevos materiales implementados en las energías renovables. Particularmente, contamos con un cluster (Ixchel) de cómputo de alto rendimiento (HPC, por sus siglas en inglés), el cual posee 360 *cores* y más de 500 GPUs de cálculo numérico (figura 5). El clúster cuenta con códigos computacionales en el área de química computacional y se le encuentran asignadas tareas de optimización de catalizadores heterogéneos para la producción de biodiesel, además del cálculo de propiedades fisicoquímicas para el mejoramiento de materiales implementados en celdas fotovoltaicas.

El equipo ha sido en los últimos años, uno de los clúster HPC con mayor empuje de la región del sur-sureste en el área de supercomputación y actualmente, en términos de rendimiento, sólo se encuentra por debajo del clúster donado a la Universidad Autónoma de Chiapas por el CERN.

**FIGURA 5.** Laboratorio de supercómputo.



### Ligas de interés:

- <[www.upchiapas.edu.mx](http://www.upchiapas.edu.mx)>.
- <[mer.upchiapas.edu.mx](http://mer.upchiapas.edu.mx)>.

# División de Materiales Avanzados- IPICyT\*

Horacio Flores Zúñiga\*\*

**RESUMEN:** En este trabajo se describen las actividades en nanociencias y nanotecnologías (NyN) que se llevan a cabo en la División de Materiales Avanzados del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICyT). En particular, se describen los laboratorios nacionales con los que cuentan los académicos para desarrollar sus investigaciones en estas áreas. Asimismo, se dan a conocer los proyectos de investigación que han sido apoyados con financiamiento externo. Por otro lado, se da cuenta de algunos de los equipos científicos y sus bondades para permitir caracterizar y estudiar las nanoestructuras y materiales nanoestructurados.

**PALABRAS CLAVE:** Nanociencias, nanotecnología, materiales avanzados, microscopía electrónica, difracción de rayos X, IPICyT.

**ABSTRACT:** In this work the research activities on nanosciences and nanotechnology at the Advanced Materials Department of the Potosino Institute of Scientific and Technology Research (IPICyT) are presented. Specifically, the scientific equipment and research grants that allow the nanostructures and nanostructured materials studies and characterization, performed by academics at two of the national laboratories in IPICyT.

**KEYWORDS:** Nanoscience, nanotechnology, advanced materials, electron microscopy, X-ray diffraction, IPICyT.

## Introducción

La División de Materiales Avanzados (DMAv) es una de las cinco áreas académicas del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICyT). Fundado en el año 2000, el IPICyT es un Centro Público de Investigación multi e interdisciplinario del CONACyT. Representa un esfuerzo importante tanto en la descentralización de las actividades científicas y tecnológicas como del Gobierno del Estado de San Luis Potosí.

En la DMAv se realiza la síntesis, caracterización y el empleo de nuevos materiales y nanoestructuras para su uso en aplicaciones emergentes. Materiales como grafeno, óxidos de titanio, nanotubos, nanocompositos, materiales

---

Recibido: 21 de julio de 2016. Aceptado: 31 de agosto de 2016.

\* Nuestro agradecimiento al LINAN y CNS por facilitar las imágenes de los equipos.

\*\* Jefe de la División de Materiales Avanzados, del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. Camino a la Presa San José 2055, Lomas 4ª sección, 78216 San Luis Potosí, S.L.P. Correspondencia: (horacio.flores@ipicyt.edu.mx). Tel. (444) 834 2000 ext. 7263.

**FIGURA 1.** Entrada del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica.



híbridos y biomateriales diversos son investigados tanto a nivel básico como en aplicaciones tales como la generación de fuentes alternas de energía, electrónica orgánica, sensores de gases, nanomedicina, inactivación de microorganismos patógenos, entre otros.

Para contribuir al estudio de estos materiales y nanoestructuras novedosos, el posgrado asociado a la DMAV tiene acceso a los equipos científicos del Laboratorio Nacional de Investigaciones de Nanociencias y Nanotecnología (LINAN). Asimismo, se utiliza el poder de cálculo del Centro Nacional de Supercómputo (CNS), el cual también es un laboratorio nacional del IPICT, para llevar a cabo simulaciones moleculares con el objetivo de entender diversas propiedades fisicoquímicas, electrónicas y magnéticas.

## Posgrados

En esta división se ofrecen dos posgrados de maestría y doctorado en nanociencias y materiales, los cuales tienen la misión de formar profesionales en estas áreas con compromiso social, competitividad en el desarrollo y estudio de nuevos materiales, y que cuenten con prestigio y reconocimiento social. Un porcentaje importante de las tesis desarrolladas tienen un tema relacionado con nanoestructuras o fenómenos nanoscópicos.

## Personal académico

La DMAV cuenta actualmente con 20 académicos, de los cuales; 15 se dedican a la investigación teórica y experimental en NyN; diez de éstos son investigadores consolidados y cinco son técnicos académicos. Uno de los investigadores considerados está asociado a otra área académica (ciencias ambientales).

El total de artículos científicos publicados en el tema de NyN desde 2001 a julio de 2016 (15 años) es de 370, con un promedio de 24.66 artículos por año.

## Líneas de investigación

Las líneas de investigación generales en NyN que se cultivan en el IPICYT son:

- Materiales y compuestos nanoestructurados.
- Fotocatálisis, nanocompositos, generación de hidrógeno.
- Biomateriales y bionanotecnología.
- Inactivación de microorganismos.
- Síntesis y modificación de materiales absorbentes con base en nanotecnología.

Cabe señalar que también se tiene una línea de trabajo sobre de materiales magnéticos, donde se realiza investigación en propiedades magnéticas de materiales nanoestructurados, lo cual contribuye al área de nanociencias.

De manera particular los investigadores dedicados a la NyN tienen líneas específicas de investigación, entre las cuales encontramos:

- Propiedades magnéticas de nuevos materiales nanoestructurados.
- Propiedades magnéticas en sistemas de baja dimensionalidad.
- Compuestos de grafeno - óxidos metálicos.
- Estudio de las propiedades electrónicas de compuestos orgánicos fotovoltaicos.
- Estudio de propiedades electrónicas de nanoestructuras orgánicas e inorgánicas y su aplicación a la nanoelectrónica.
- Propiedades electrónicas y de transporte de polímeros conductores: aplicación a la electrónica orgánica.
- Nanopartículas metálicas.
- Nuevos materiales nanoestructurados.
- Modelado de fenómenos nanoscópicos.
- Síntesis y aplicación de materiales catalíticos.
- Nanopartículas metálicas.
- Síntesis de nanoestructuras sol-gel.
- Síntesis de nuevos materiales nanoestructurados con propiedades catalíticas y semiconductoras.
- Síntesis y caracterización de nuevos materiales nanoestructurados sol-gel (semiconductores, películas, -óxidos mixtos, nanotubos, dopaje sol-gel, materiales mesoporosos de alta área superficial).
- Síntesis y funcionalización de grafenos por métodos de química suave.
- Estructura atómica de materiales complejos.
- Modelos matemáticos de los materiales complejos.

## Proyectos con financiamiento externo y relacionados con NyN

Desde el inicio se ha logrado obtener el apoyo para 67 proyectos de diferentes convocatorias, es decir, de financiamiento externo. De estos 67 proyectos, 60 han sido de convocatoria (CONACyT y otras Internacionales), 5 son de recursos propios y 2 de otros fondos como Gobierno del Estado de SLP y uno de colaboración con CIATEJ.

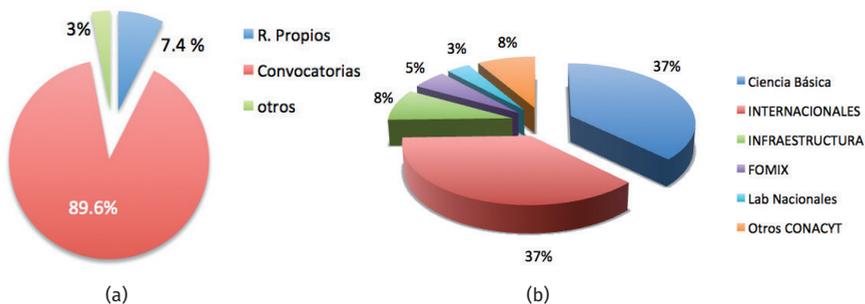
De los proyectos por convocatoria; 22 son internacionales, como, por ejemplo, UC-Mexus, Bilaterales, Air Forces de EEUU, etc. Asimismo, 21 proyectos fueron de la convocatoria de ciencia básica, 5 de infraestructura, 3 de fondos mixtos, 3 de laboratorio nacional, 5 del CONACyT de fondos diversos.

De los proyectos de Infraestructura y dos de CONACyT (Milenio y LINAN) permitieron equipar con equipo científico muy especializado como el microscopio electrónico de transmisión de alta resolución, y otros que se describen en la siguiente sección y que no pueden adquirirse a través de proyectos sectoriales como el fondo de ciencia básica o bien de fondos Internacionales. La figura 2 muestra la clasificación de los proyectos.

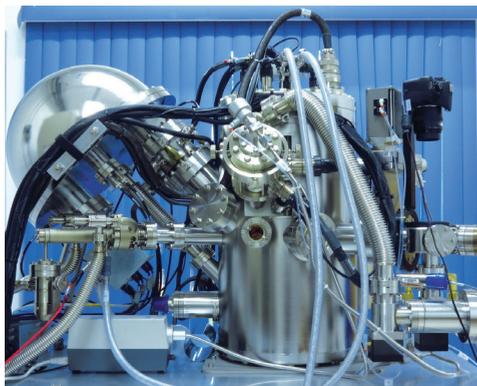
### Laboratorios nacionales

Los investigadores experimentales en NyN tienen acceso al Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN), localizado en la misma división académica; cuenta con una importante infraestructura de caracterización estructural, microestructural y de diversas propiedades físicas. La figura 3 muestra el detalle de un equipo de reciente adquisición XPS. La tabla 1 da cuenta de los equipos más importantes de este laboratorio, sus características y bondades. En general, cada equipo se encuentra en un espacio de laboratorio acondicionado para los requerimientos del fabricante.

**FIGURA 2.** Clasificación de los apoyos de proyectos: (a) Porcentaje por tipo de recurso. (b) Porcentaje por tipo de convocatoria.



**Figura 3.** Detalle del XPS (espectroscopía de electrones fotoemitidos) Versaprobe II.



**TABLA 1.** Equipos científicos del Laboratorio Nacional LINAN.

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	USOS
Microscopio electrónico de transmisión de alta resolución	HR-TEM FEI TECNAI F30 (300 keV) FEG, EELS, EDS, HAADF, Precisión.	Imágenes de alta resolución. Identificación de los elementos por EDS y por EELS. Patrones de difracción usando precesión del haz de electrones.
Microscopio electrónico de transmisión convencional	TEM JEOL 200 CX (200 keV). SAD.	Imágenes de la microestructura, por ejemplo, de defectos cristalinos. Patrones de difracción.
Microscopio electrónico de barrido con haz de iones	Dual Beam (FIB/SEM) FEI-Helios Nanolab 600. FEG, BSED, EDS, Ga ion beam.	Cortes con haz de iones de Galio, Elaboración de muestras de TEM. Resolución cercana a 1 nm. Imágenes de electrones retrodispersados. Análisis químico elemental por EDS.
Microscopio electrónico de barrido ambiental	ESEM FEI-QUANTA 250 FEG (Cañón de electrones de emisión de campo).	Imágenes de resolución cercana a 5 nm. Análisis químico elemental por EDS Observaciones a vacío moderado, humedad y diferentes temperaturas.
Microscopio electrónico de barrido ambiental	ESEM FEI-QUANTA 200.	Imágenes de resolución cercana a 10 nm. Análisis químico elemental por EDS Observaciones a vacío moderado, humedad y diferentes temperaturas.
Microscopio de fuerza atómica	AFM Jeol JSPM-5200.	Imágenes de la superficie.

TABLA 1. Equipos científicos del Laboratorio Nacional LINAN (continúa).

EQUIPO	ESPECIFICACIONES	USOS
Espectroscopía de electrones fotoemitidos	XPS. PHI 5000 VersaProbe II.	Fuente de R X Al-ka (1486.7eV). Información de los primeros 10 nm sobre la superficie. Sensitividad de 0.1 at.%. Detección elementos químicos excepto hidrógeno. Estados químicos. Perfil de composición (ARXPS) y con erosión de iones. Spot de 9 a 200 mm.
Difractómetro de rayos X	XRD Bruker D8 Advance	Patrones de difracción. Identificación del sistema cristalino de la muestra analizada e información 3D de la estructura interna del cristal.
Difractómetro de rayos-X	XDR SmartLab RIGAKU. Con detector rápido.	Obtención de patrones de difracción a diferentes temperaturas.
Espectrómetro fluorescencia de rayos X	Espectrómetro ZSX Primus II de la marca RIGAKU. RX de Rh.	Alta precisión y reproducibilidad. En sólidos, polvos, perlas y líquidos.
Espectrómetro Raman	InVía Microraman Renishaw (514 nm y 633 nm), filtros holográficos Notch o filtros dieléctricos).	Analiza compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos, materiales semiconductores, películas delgadas, polímeros, medicamentos y cristales; para elucidar su estructura mediante la obtención de un espectro Raman.
Sistema de medición de propiedades físicas (PPMS)	(PPMS) Quantum Design. de 2 a 400 K, campo magnético de 0 a 9 T.	Magnetización, capacidad calorífica y resistividad, efecto hall, curvas I-V.
Sistema de medición de propiedades físicas (PPMS)	(PPMS) DynaCool Quantum Design. Temperaturas de 2 a 400 K, campo magnético de 0 a 9 T.	Magnetización, Capacidad calorífica y resistividad, efecto hall, curvas I-V.

Además de los equipos del LINAN, se cuenta con otros equipos científicos dentro de los laboratorios de la División de Materiales Avanzados, entre los cuales están: cromatógrafo de líquidos, *sputtering*, calorimetría diferencial de barrido, microscopio óptico, *melt spinner*, sistema de síntesis química en fase vapor (CVD), horno de arco eléctrico, por mencionar algunos.

Asimismo, los investigadores teóricos tienen acceso a los servicios que ofrece el Centro Nacional de Supercómputo (CNS), el cual es un laboratorio nacional. Este centro tiene entre otros equipos, un clúster de 107 *teraflops* con 5,640 núcleos y 140 nodos de cálculo. Esto permite que los investigadores teóricos realicen cálculos necesarios para sus investigaciones. La figura 4 muestra la entrada del CNS y una imagen del clúster.

**FIGURA 4.** a) Entrada del edificio del CNS, y b) aspecto del clúster IBM iDataPlex dx360 M4 (rendimiento teórico de 107.568 Tera flops) y almacenamiento de 1.4 PB.



(a)

(b)



## Principales logros

- Consolidación de la infraestructura, que puede constatarse en los equipos que están en el Laboratorio Nacional LINAN.
- Se han podido consolidar tres grupos de investigación; uno de ellos en el área teórica de NyN, y dos en materiales nanoestructurados.
- 370 artículos en revistas indizadas internacionales en 15 años.
- Aunque los temas de investigación de esta división se han diversificado desde el año 2009, siguen publicándose un número importante de artículos en el tema de NyN.
- Los posgrados de maestría y doctorado en nanociencias y materiales están en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) con el nivel de consolidados.
- Se ha consolidado la mayoría de los investigadores: de los diez investigadores en NyN seis de ellos están en el nivel 3 del SNI y cuatro en el nivel 2.
- Se ha generado interdisciplina entre las cinco divisiones académicas, en particular se realiza investigación y se dirigen tesis en temas que involucran NyN en conjunto con las divisiones de biología molecular y con ciencias ambientales, dadas las aplicaciones que se tiene de las nanoestructuras en biología y en la remediación del medio.

# Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.\*

Zaira Yunuen García Carvajal,<sup>1</sup> Hugo Espinosa-Andrews<sup>2</sup>

**RESUMEN:** El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) es un Centro Público perteneciente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). CIATEJ es un centro interdisciplinario que realiza actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, ofrece servicios tecnológicos y formación de recursos humanos de alto nivel. Hoy en día, un número cada vez mayor de nanomateriales son incluidos en productos de terapia avanzada, medicamentos, y alimentos. Muchos de estos productos se encuentran en etapas tempranas de investigación y desarrollo, y algunos otros ya son comercializados. Sin embargo, las reivindicaciones para su comercialización se pueden ver obstaculizadas por exigencias normativas cada vez más complejas. En este sentido, CIATEJ es un socio estratégico que cuenta con personal especializado que puede asesorar, generar y proteger conocimiento de vanguardia desarrollando productos, procesos y servicios para para impulsar el desarrollo en este sector.

**PALABRAS CLAVE:** Investigación, desarrollo tecnológico, innovación, nanoalimentos, nanomedicina.

**ABSTRACT:** The Center for Research and Applied Technology in Jalisco (spanish acronym: CIATEJ) is part of the National Council of Science and Technology (spanish acronym: CONACyT). CIATEJ is an interdisciplinary institute where scientific research, technological development and innovation, technological services and postgraduate research programs (including Master of Science and Doctor of Philosophy) are performed. Today, a growing number of nanomaterials and nanoproducts are included in advanced therapy products, medicines, nutraceuticals and foods. Many of them are in research and development early-stages and some of them are already on the market. However, the claims for marketing are hampered by as complex regulatory requirements. In this sense, CIATEJ is a strategic scientific and technological partner because it has highly specialized personal who can advise, generate and protect up-to-date knowledge to develop innovative products, processes and services give a boost to the progress of these sectors.

**KEYWORDS:** Research, technology development, innovation, nanofoods, nanomedicine.

---

Recibido: 19 de agosto de 2016. Aceptado: 5 de octubre de 2016.

\* Se agradece a los doctores Inocencio Higuera Ciapara, Rodolfo Hernández Gutiérrez, Alba A. Vallejo Cardona, Maricela González Avila, Ma. de los Angeles Sánchez Contreras, Eristeó García Márquez y a la maestra Fátima G. Ordoñez de la Cruz, por su apoyo para la recopilación de la información.

<sup>1</sup> Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas No. 800, Colinas de la Normal, CP. 44270, Guadalajara, Jalisco, México. Correspondencia: (zgarcia@ciatej.mx).

<sup>2</sup> Unidad de Tecnología Alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Camino el Arenero 1227, El Bajío arenal, C.P.45019, Zapopan Jalisco, México. Correspondencia: (hespinosa@ciatej.mx).

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, CIATEJ A. C., fue fundado el 24 de agosto de 1976 en la ciudad de Guadalajara como una asociación civil sin fines de lucro, enfocada a la asistencia tecnológica de las industrias de la joyería, calzado y vestido de la región. En 1982 se establecieron las bases para orientar las investigaciones del CIATEJ hacia las necesidades de la industria agroalimentaria, química y farmacéutica del país. En 1992 se convierte en una institución paraestatal y en el año 2000 fue integrado a la red de centros públicos pertenecientes al Sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Desde 1996, el CIATEJ ofrece servicios de calibración de instrumentos en las magnitudes de masa, volumen, presión y temperatura, así como asesoría y capacitación en el área de Metrología. Actualmente, los servicios de calibración en las magnitudes de masa y volumen se encuentran acreditados bajo la norma NMXEC-025-IMNC-2000. En el año 2003 se iniciaron las actividades de vinculación con el sector farmacéutico veterinario a través de la firma de un contrato para el desarrollo de una vacuna para la prevención de la mastitis en el ganado lechero. En el 2006 se inauguró la Unidad de Investigación de Calidad del Aire, dentro del marco de la firma de un Convenio de Colaboración Científica, Tecnológica y Académica en materia de Medio Ambiente. En el 2009 se firmó un Convenio General de Colaboración con el Consejo Regulador del Tequila (CRT), con la finalidad de impulsar sólidamente a uno de los sectores en donde el CIATEJ ha generado una mayor dinámica en la formación de recursos humanos, generación de conocimiento, y transferencia de servicios tecnológicos para el sector. En el

**FIGURA 1.** Distribución geográfica de las Unidades del CIATEJ.



año 2013 el CIATEJ certificó su Oficina de Transferencia de Conocimiento con el Fondo Sectorial de Innovación Secretaría de Economía (FINNOVA).

En el 2016, la institución cumple 40 años impulsando el desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología del país mediante la generación de conocimiento de vanguardia y la aplicación innovadora de la biotecnología. El CIATEJ cuenta con cuatro unidades de investigación en las ciudades de Guadalajara y Zapopan, Jalisco (Unidad Central y Zapopan, respectivamente); Mérida, Yucatán (Unidad Sureste) y Apodaca, Nuevo León (Unidad Noreste). Como parte de la estrategia de crecimiento institucional, el CIATEJ cuenta con un equipo de investigadores en la ciudad de Acapulco, Guerrero, en el proyecto regional denominado Alianza Estratégica para el Desarrollo Sustentable de la Región Pacífico Sur (ADESUR); y en la ciudad de Xalapa, Veracruz, en el consorcio denominado Bio-Mimic. En el centro del país el CIATEJ tendrá presencia dentro del marco del proyecto “Ciudad del Conocimiento”, al formar parte del Centro de Agrobiotecnología en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, en conjunto con el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD).

## Líneas de investigación

Las líneas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (I+D+i) y servicios tecnológicos, servicios analíticos y metrológicos, gestión de posgrados y estudiantes que ofrece el CIATEJ son:

1. Biotecnología industrial
2. Biotecnología médica y farmacéutica
3. Biotecnología vegetal
4. Tecnología alimentaria
5. Tecnología ambiental
6. USAM: Laboratorios de Servicios Analíticos y Metrológicos

El CIATEJ cuenta con una matrícula de 147 estudiantes de posgrado inscritos en 5 programas de posgrado registrados en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) de la SEP-CONACyT:

1. Maestría en ciencia y tecnología del Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICyT),
2. Doctorado en ciencia y tecnología del PICyT,
3. Maestría en ciencias de la floricultura.
4. Maestría en ciencias en innovación biotecnológica (reciente creación).
5. Doctorado en ciencias en innovación biotecnológica (reciente creación).

Estos dos últimos presentan las opciones terminales en biotecnología médica farmacéutica, biotecnología agroalimentaria y ciencias ambientales. La

característica principal de los posgrados del CIATEJ es la formación de capital intelectual de alto nivel científico y tecnológico, capaz de generar, innovar, aplicar y transmitir conocimientos actuales de vanguardia y socialmente relevantes, impactando en el sector productivo del país.

## Investigación en el campo de la nanotecnología

Las investigaciones y desarrollos tecnológicos están orientados dentro de los temas prioritarios del PECiTI 2014-2018 en las áreas de desarrollo tecnológico: desarrollo de nanomateriales y de nanotecnología, y, salud: medicina preventiva y atención de la salud; y al interior del CIATEJ se desarrollan en las áreas de tecnología alimentaria y biotecnología médica y farmacéutica.

## Tecnología alimentaria

El área de tecnología alimentaria atiende las necesidades de investigación y desarrollo tecnológico de la industria y de servicios, en el que se incluyen tanto a las empresas que elaboran alimentos y bebidas como otras industrias y servicios afines. Las aplicaciones de las nanociencias y nanotecnología en los alimentos es un campo relativamente nuevo, que muestra un crecimiento exponencial en los campos de la ciencia, la tecnología y los desarrollos comerciales. El CIATEJ es considerado pionero en el estado de Jalisco en el desarrollo tecnológico en el área de la nanotecnología aplicada al campo de la alimentación ([www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/9521](http://www.jalisco.gob.mx/es/prensa/noticias/9521)). Se espera que el desarrollo de aplicaciones, productos y procesos tecnológicos relacionados con la nanotecnología traerá múltiples beneficios en el sector de la alimentación, como la mejora de textura en los alimentos, el incremento de las sensaciones organolépticas, incremento en la biodisponibilidad de nutrientes, y el mejoramiento de empaques entre otros.

Los investigadores relacionados con esta área de investigación tienen presencia en las cuatro Unidades del CIATEJ agrupados en la línea de investigación de “Desarrollo y calidad de alimentos y bebidas”. Las investigaciones desarrolladas en esta línea de investigación relacionada con las nanociencias y nanotecnologías abordan estudios fundamentales de ciencia-básica y ciencia-aplicada con la finalidad de obtener y caracterizar sustancias bioactivas y biomateriales; diseñar y validar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y tecnológicas de las nanopartículas. Las sub-líneas de investigación en esta área están orientadas a comprender cómo las características fisicoquímicas de los nanomateriales pueden cambiar la estructura, textura, estabilidad y propiedades sensoriales de los alimentos (color, sabor, olor, consistencia, entre otras). La adquisición de infraestructura en el campo de la nanotecnología posiciona al área de tecnología alimentaria como un aliado estratégico para desarrollar proyectos de investigación básica y aplicada en esta materia. Por ejemplo, en el CIATEJ se cuenta con diferentes tecnologías

para separación de sustancias bioactivas mediante tecnologías de vanguardia, entre las que podemos mencionar la extracción con fluidos súper-críticos, destilador molecular, tecnología de membranas cromatografía a contracorriente de alta resolución (HPCCC, por sus siglas en inglés), así como la identificación de las mismas mediante cromatografía de capa fina (TLC, por sus siglas en inglés), cromatografía de gases, cromatografía de líquidos de alta presión entre otros.

Contamos con tecnología de vanguardia en proyectos de I+D+i relacionados con la generación de nanopartículas y nanocápsulas empleando la tecnología de secador por aspersión a escala nano (figura 2), la cual permite obtener partículas en polvo de 1 a 2 órdenes de magnitud menores a los equipos convencionales de secado por aspersión; o en proyectos de encapsulación de principios bioactivos de baja solubilidad mediante la optimización de nano-emulsiones y nanosuspensiones (figura 3).

**FIGURA 2.** Nanosecador por aspersión B-90 (Büchi, Suiza).



FIGURA 3. Homogeneizador de alta presión (Microfluidics, Estados Unidos).



Estas tecnologías son aplicadas en el campo de la nanoencapsulación de aditivos, nutracéuticos, alimentos funcionales, aromas, proteínas, péptidos, entre otros. Entre las principales ventajas que ofrecen incluyen: 1) reducir la dosificación e incrementar el valor agregado de los productos bioactivos; 2) incrementar la biodisponibilidad de los principios activos; 3) mejorar la solubilidad y dispersabilidad de los principios bioactivos; 4) reducir los costos de I + D, y, 5) trabajar con volúmenes pequeños del principio activo. En general, la reducción de tamaño y distribución de las partículas incrementa el área superficial del principio activo, lo que repercute en un incremento en la velocidad de disolución aumentando la tasa de transferencia. En el campo de los alimentos, la distribución de tamaño de las partículas puede oscilar entre 10 nm – 1  $\mu$ m. Las aplicaciones de la nanotecnología aún son limitadas en el sector de alimentos, pero muestran un incremento importante en el área suplementos alimenticios y farmacéutica. En esta sublínea de investigación las investigaciones giran alrededor de:

1. Nanoencapsulación de aromas y sabores.
2. Desarrollo y validación de la funcionalidad de nanopartículas de sustancias bioactivas.
3. Diseño y funcionalización de principios bioactivos lipofílicos a partir de nanoemulsiones/nanosuspensiones.

## Biología médica y farmacéutica

La Unidad de Biología Médica y Farmacéutica del CIATEJ surge como una alternativa para atender las demandas del sector salud humana y animal

**FIGURA 4.** Simulador del tracto digestivo humano (Mx/a/2012/005418; por sus siglas en inglés: ARIS, Automatic and Robotics Intestinal System).



de nuestro país, a través del desarrollo de medidas profilácticas y/o terapéuticas, que favorezcan el crecimiento de ambos sectores. Esta unidad cuenta con 18 investigadores y 3 cátedras CONACyT en las siguientes líneas de investigación: 1) desarrollo y evaluación de vacunas y compuestos inmunomoduladores; 2) desarrollo y validación de pruebas de diagnóstico molecular; y 3) desarrollo y evaluación de productos con potencial terapéutico.

Los investigadores de esta unidad que trabajan con nanotecnología se orientan en investigaciones relacionadas con:

### **Tecnología farmacéutica de formas de administración vía oral**

La industria farmacéutica está experimentando ciertas transformaciones, como la evolución de medicamentos tradicionales a medicamentos especializados dirigidos a grupos específicos. Los enfoques de sistemas de entrega de fármacos actuales deben ser rediseñados, mejorados y optimizados para lograr la individualización. Esto obliga al desarrollo de nuevas e innovadoras formas de dosificación mediante la aplicación de la nanotecnología, lo que podría superar las limitaciones de las formulaciones farmacéuticas actuales. Sin

embargo, aún existen retos que superar y nuevas necesidades no satisfechas en el mercado para proponer soluciones funcionales en la administración especializada de fármacos por la vía oral. Las actividades científicas de CIATEJ en este sentido se enfocan en:

1. Diseñar, mejorar y optimizar formas de dosificación oral con versatilidad de encapsulamiento y de liberación inteligente, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas de los materiales de partida que aseguren que los ingredientes encapsulados son liberados en el momento y lugar adecuado del tracto gastrointestinal, incrementando la posibilidad de acción de los ingredientes contenidos.
2. Evaluar la funcionalidad de las formas de dosificación oral en términos de: 1) digestibilidad del prototipo; 2) determinación del perfil de liberación del activo, 3) impacto de la formulación (sin ingrediente activo) sobre la microbiota intestinal empleando un simulador del tracto digestivo humano (figura 4).
3. Acompañamiento científico y tecnológico para el desarrollo de nanoproductos innovadores en fases de I+D+i.

### Evaluación de toxicidad *in vitro* de nanoproductos

La industria agrícola y agroalimentaria de nuestro país exporta productos a nivel global y de manera cotidiana; esto involucra el cumplimiento de regulaciones sanitarias. Innovaciones en este sector se han enfocado al desarrollo de: 1) nanocápsulas conteniendo nutrientes (vitaminas, aceites, etc.); 2) nanosensores embebidos en el envasado de alimentos, los cuales advierten de contaminación química o bacteriana; 3) adición de nanoestructuras en la superficie de los paquetes que podrían ayudar a reducir/minimizar la carga bacteriana en contacto con el alimento extendiendo su vida de anaquel.

Sin embargo, los productos alimentarios no están sujetos a regulaciones estrictas en materia de nanotecnología. Por lo general, los fabricantes no tienen que declarar que han utilizado nanotecnología, o que su alimento contiene formulaciones de tamaño nanométrico. Aunado a esto, los consumidores en todo el mundo son cada vez más conscientes de lo que consumen, lo que ocasiona que se planteen preguntas sobre el origen y seguridad de los nanoproductos de consumo alimentario. A pesar de los grandes esfuerzos y logros hechos en materia de nanotecnología en México, nuestro país no cuenta con lineamientos sobre la seguridad alimentaria de los nanoproductos.

En CIATEJ estos problemas pueden ser abordados mediante la evaluación y seguimiento de nanomateriales presentes en productos nutraceuticos o farmaceuticos empleando un sistema de digestión *ex vivo* (ARIS), el cual está adaptado con microbiota intestinal de población mexicana sana. Este sistema es una herramienta útil e innovadora para evaluar la funcionalidad de productos funcionales del sector agroalimentario y farmacéutico del país.

Los esfuerzos de esta sublínea de investigación están orientados en establecer las metodologías y técnicas apropiadas que permitan evaluar la funcionalidad en términos de seguridad y eficacia de nanoproductos.

También en la Unidad de Biotecnología Médica y Farmacéutica se han desarrollado investigaciones científicas relacionadas con la nanotecnología en terapia avanzada:

### **Medicamentos de terapia avanzada**

Los medicamentos de terapia avanzada son una categoría de productos innovadores y comprenden medicamentos de terapia génica, terapia celular somática y productos de ingeniería tisular. La mayoría de estos productos se encuentran en las fases de I+D+i, impulsados por académicos, empresas de base tecnológica, y organizaciones sin fines de lucro. La complejidad de la clasificación de productos, procedimientos onerosos para las combinaciones de medicamentos de terapia avanzada de dispositivos médicos, las incertidumbres que rodean los procedimientos de certificación, la falta de armonización de importación —exportación, las normas y procedimientos divergentes para aspectos críticos del desarrollo en los diferentes países—. Actualmente, la nanotecnología desempeña un papel importante en la medicina regenerativa y en el desarrollo de órganos artificiales. Los avances se han dirigido a comprender las interacciones entre los dispositivos médicos y las células; desarrollo de nanomateriales inteligentes, nanopartículas fluorescentes como puntos cuánticos, nanopartículas magnéticas, nanotubos de carbono, grafeno, entre otros. Su finalidad es dar seguimiento a células y mejorar las propiedades de los implantes como el cartilago de pabellón auricular, epitelio gastrointestinal, hueso cortical, tendón y ligamento.

CIATEJ también ha incursionado en emplear la nanotecnología para la detección de cáncer. Varios estudios han demostrado que el suero de pacientes con cáncer contiene anticuerpos que reaccionan con un grupo de autoantígenos asociados con tumores denominados (TAA). En este sentido en el CIATEJ se busca desarrollar dispositivos para detectar diferentes tipos de líneas celulares de cáncer a base de proteínas y nanopartículas de oro. La detección de glicoproteínas como biomarcadores potenciales para el cáncer de mama en etapas tempranas (I y II) de la población mexicana es de vital importancia para su prevención dado que no se manifiestan síntomas que indiquen la presencia de esta enfermedad. La adquisición de infraestructura básica y la experiencia de sus investigadores en el campo de la nanotecnología posicionan al área de biotecnología farmacéutica como un aliado estratégico para desarrollar proyectos de investigación básica y aplicada en esta materia. Por ejemplo, en proyectos de I+D+i relacionados con la generación de andamios poliméricos conteniendo nanopartículas y nanocápsulas han sido fabricados empleando técnicas de electrohilado y de bioimpresión 3D (figura 5).

**FIGURA 5.** Bioimpresora 3D con aditamentos para la impresión de geles poliméricos y estructuras nanométricas contenidas en los geles.



Las actividades científicas de CIATEJ en este sentido son:

1. Diseñar, mejorar y optimizar biomateriales de modo que sirvan como andamios para aplicaciones en ingeniería tisular incluyendo o no nanomateriales.
2. Diseñar, mejorar, optimizar, estandarizar, validar metodologías y técnicas de acuerdo con normativa armonizada (ISO 10993) a medida que sean de utilidad para la evaluación de la seguridad y eficacia de dispositivos médicos y por ende en el registro sanitario.
3. Desarrollo y evaluación de nanoprodutos con potencial terapéutico.
4. Acompañamiento científico para el desarrollo de productos innovadores en fases de I+D+i, mejora y optimización de los ya existentes.

## Proyectos CONACyT

Algunos de los proyectos recientemente aprobados en las diferentes convocatorias de CONACyT relacionados con las NyN son:

1. Interacciones moleculares en sistemas nanoencapsulados.  
Responsable técnico: Dr. Inocencio Higuera Ciapara.

2. Desarrollo de hidrogeles para reconstrucción auricular de pacientes quemados.  
Responsable técnico: Dra. Zaira García Carvajal.
3. Funcionalización de nanopartículas de oro y magnéticas para detección y tratamiento de células cancerosas segunda Etapa.  
Responsable técnico: Dr. Rodolfo Hernández Gutiérrez.
4. Nanoestructuras autoensambladas a base de biopolímeros naturales y su evaluación estabilizante de hierro para atender la desnutrición infantil.  
Responsable técnico: Dr. Jorge Alberto García Fajardo.
5. Estudio de nanocomplejos como matrices de liberación controlada de compuestos bioactivos.  
Responsable técnico: Dr. Hugo Espinosa Andrews.

Algunos de estos proyectos se desarrollan en colaboración con instituciones como el Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra”, la Universidad de Guadalajara (CuTonalá, CUCIENEGEA, CUCEI), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Universidad Veracruzana, Universidad Autónoma del Estado de México, Universidad Autónoma Metropolitana, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, el CIVESTAV y la Universidad de Münster, Alemania (Convenio firmado y vigente); y con empresas de base tecnológica como InMateriis, S.A. de C.V. e InterLatin-Colibri.

## **Redes CONACyT**

Desde el año 2014 el CIATEJ pertenece a la Red Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico en Alimentos Funcionales y Nutraceuticos ([www.alfanutra.com](http://www.alfanutra.com)). Esta red interinstitucional tiene como objetivo conjugar el conocimiento integral, multidisciplinario, y las capacidades con las que cuenta la red de centros públicos de investigación del CONACyT, que se requiere para la obtención exitosa de ingredientes funcionales, desarrollo y diseño de alimentos funcionales y nutraceuticos, que generen conocimiento y riqueza.

## **SINANOTOX. Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología**

Recientemente, el CIATEJ se ha incorporado a la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT dentro de la iniciativa denominada “Sistema Nacional de Evaluación Nanotoxicológica SINANOTOX”. Las actividades científicas del CIATEJ se enfocarán en:

1. Diseñar, estandarizar y validar las metodologías y técnicas que permitan estudiar la digestibilidad, disolución, y degradación de

nanoproductos y nanoalimentos empleando el sistema de digestión *ex vivo*.

2. Acompañamiento científico para el desarrollo de productos innovadores en fases de I+D+i, así como la mejora y optimización de los ya existentes.

## Perspectivas a 5 años

La adopción de nuevas tecnologías como lo son la nanotecnología, biotecnología y biomedicina aplicadas a productos de consumo humano deben enfrentar varios retos científicos, tecnológicos, de legislación, y la aceptación por los consumidores, entre otros. Ejemplos de estos retos son: 1) cumplimiento de una serie de requisitos sanitarios debidamente justificados para su salida al mercado, 2) cumplimiento de un exigente control de calidad, 3) cumplimiento de buenas prácticas de fabricación, por mencionar algunos.

A pesar de esto, muchas de las innovaciones en productos para consumo humano aplican la nanotecnología, dado que están proporcionando soluciones únicas con lo que aseguran el éxito comercial. A pesar del impacto de estos avances en la condición de la salud humana y alimentación, muchos de los estudios en humanos aún son marginales, y se espera que para la próxima década este tipo de estudios aumente considerablemente.

Por lo tanto, el mirar hacia adelante y visualizar las tendencias en nanotecnología con aplicaciones innovadoras para la salud y alimentos es un reto para CIATEJ. Por lo que nuestras perspectivas de trabajo se enfocan en:

1. Desarrollo de nanopartículas para proteger compuestos de interés contra el medio ambiente maximizando sus propiedades organolépticas y funcionales, minimizando su dosificación.
2. Desarrollo de nanopartículas que permitan una dosificación inteligente y controlada de los principios bioactivos.
3. I+D+i en tecnologías para la producción de nanomateriales para la salud
4. I+D+i en tecnologías, metodologías, productos para cuestiones de seguridad y salud relativas a los nanomateriales.
5. Educación en nanotecnología para la población y formación de recursos humanos en esta área.
6. Acompañamiento científico para las empresas interesadas en invertir en soluciones innovadoras para la salud y alimentos.
7. Desarrollo de nanoproductos innovadores que sean susceptibles de propiedad intelectual para su transferencia y licenciamiento al sector productivo.
8. Consolidación de línea de investigación de investigación e innovación en nanopartículas y nanoemulsiones como matrices de liberación controlada de compuestos bioactivos.

9. Consolidación de la línea de investigación “Diseño y evaluación de herramientas biotecnológicas enfocadas a medicina regenerativa” en CIATEJ y socialización de la misma al sector productivo.
10. Incursionar en la aplicación innovadora de las nanociencias y la nanotecnología en las diferentes áreas del CIATEJ: biotecnología industrial; biotecnología ambiental y biotecnología vegetal.

## **Espacios web institucionales**

- <[www.ciatej.mx](http://www.ciatej.mx)>.
- <<http://www.picyt.edu.mx/>>.

# Centro de Investigación en Química Aplicada

Carlos Alberto Ávila Orta\*

**RESUMEN:** El Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) cumple 40 años en este 2016, de los cuales aproximadamente la mitad se ha dedicado a la investigación, desarrollo e innovación de la nanociencia y nanotecnología (NyN). En este periodo se han obtenido como resultado un buen número de proyectos financiados por agencias tanto gubernamentales nacionales como extranjeras, así como con la iniciativa privada. Los productos derivados de estos proyectos han sido artículos, patentes, formación de recursos humanos altamente especializados en los niveles de doctorado, maestría, licenciatura, y, recientemente, técnicos superiores en nanotecnología. Contribuyendo con esto al desarrollo de conocimiento fundamental, aplicado y de formación de recursos humanos del país en los sectores salud, energía, agrícola y automotriz, entre otros.

**PALABRAS CLAVE:** Nanociencia, nanotecnología, polímeros, síntesis, modificación, procesamiento, patentes.

**ABSTRACT:** On his 40th anniversary, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) celebrates that half of his life has been devoted to research, develop and innovate (RD+i) in nanoscience and nanotechnology (NT and NS). As a result a number of RD+i projects in NS and NT have been supported from government agencies, mainly CONACyT, and overseas, as well as from private industry. The main products of such RD+i projects are scientific papers, intellectual property (patents), highly educated human resources in PhD, masters and bachelors lever, and recently nanotechnology undergraduate students. All of this have contributed to the generation of new knowledge, fundamental and applied and human resources formation in priority sectors such as health care, energy, agriculture, automotive among others.

**KEYWORDS:** Nanoscience, nanotechnology, polymers, synthesis, surface modification, processing, patents.

## Antecedentes

El CIQA es un organismo descentralizado, perteneciente al Sistema de Centros Públicos de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, cuyo objetivo es realizar actividades de investigación científica básica y aplicada, desarrollo experimental, innovación tecnológica y formación especializada de capital humano de alto nivel en los campos de la química, los

---

Recibido: 18 de agosto de 2016. Aceptado: 24 de agosto de 2016.

\* Investigador Titular B. Departamento de Materiales Avanzados, CIQA. Blvd. Ing. Enrique Reyna H. No. 140. Col. San José de los Cerritos, Saltillo, Coah., México, C.P. 25294. Correspondencia: (carlos.avila@ciqa.edu.mx). Tel. +52 (844) 438-9830 ext. 1391.

**IMAGEN 1.** Dirección General.



polímeros, los materiales avanzados, la biotecnología, el medio ambiente, los recursos naturales y demás disciplinas afines.

Estratégicamente ubicado en la ciudad de Saltillo, el CIQA se constituye como el centro más integrado y avanzado del país, que provee a diferentes sectores e industrias que utilizan plásticos, de especialistas, maestros y doctores altamente calificados, así como de investigación para generar conocimiento, desarrollo de nuevas tecnologías, y servicios de análisis y laboratorio.

De igual manera se vincula con diferentes instituciones y organismos en busca de acciones cooperativas que generen el desarrollo regional, y cumple su responsabilidad de divulgar a la sociedad los beneficios y resultados de su investigación.

## Misión

Realizar actividades de investigación, docencia y servicios tecnológicos en el área de química, polímeros, nanomateriales y disciplinas afines para contribuir al progreso del sector industrial, educativo y social, mediante la creación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico, y la formación de capital humano especializado.

## Visión

Ser líder nacional en el área de polímeros y nanomateriales, con reconocimiento internacional en investigación, desarrollo tecnológico, innovación y

formación de capital humano; socio tecnológico de alto valor para el sector industrial; una institución con suficiencia económica, y, contribuir de manera relevante a la solución de problemas nacionales, regionales y locales en nuestras áreas de competencia.

## Historia

En 1973, el Centro de Investigación en Química Aplicada inició sus actividades con un proyecto sobre el aprovechamiento de uno de los recursos naturales de las zonas áridas del norte de México, el hule de guayule. El día 2 de noviembre de 1976 se hizo oficial la existencia del CIQA mediante un decreto presidencial publicado en el *Diario Oficial de la Federación*. Posteriormente el CIQA incorporó a sus programas de investigación y desarrollo, estudios para el aprovechamiento de otros recursos naturales, como los extractos de las hojas de gobernadora, la cera de candelilla, el aceite de jojoba y las fibras de lechuguilla y palma.

Todo este trabajo sobre recursos naturales permitió, paralelamente, la formación de investigadores y la conjunción de infraestructura en química orgánica, química analítica, tecnología de polímeros e ingeniería de procesos químicos. En este periodo se estableció en el CIQA un Programa de Plásticos en la Agricultura, que ubicó al CIQA como pionero en el país, en el desarrollo de técnicas y materiales plásticos para su aplicación en cultivos agrícolas.

Al tiempo que el CIQA reorientaba sus esfuerzos hacia la vinculación con la industria, hacia mediados de los años 80 del siglo pasado, el Centro decidió concentrar su área de trabajo y enfocarse principalmente hacia la tecnología de polímeros y especialidades químicas relacionadas.

Los proyectos de investigación, desarrollo e innovación actuales se basan en necesidades detectadas en la industria. Esto ha permitido ofrecer en el mediano plazo, desarrollos tecnológicos de alto valor agregado, y además ha hecho posible mantener un ritmo creciente de generación de conocimientos que se traducen en patentes, publicaciones científicas y formación de recursos humanos.

Dentro de la tecnología de polímeros, una de las áreas de mayor interés fue la de formular materiales compuestos, donde los polímeros actúan como matrices, las cuales son reforzadas con micropartículas de origen metálico, cerámico y de carbón. Así, de manera natural, con la disponibilidad de nanopartículas de estos tres tipos de materiales se formularon los primeros nanocompuestos poliméricos en el CIQA a finales de la última década del siglo XX e inicios de la primera del XXI. Aunado a esto, se investigaba la síntesis de nuevos materiales, lo cual sirvió como base para la creación del Departamento de Materiales Avanzados y el Laboratorio Central, en 2005. Posteriormente, gracias al auge de la investigación en grafenos y nanopartículas de carbono, se creó en 2014 el Laboratorio Nacional de Materiales Gráficos (LNMG).

IMAGEN 2. Edificio del Departamento de Materiales Avanzados.



## Una visión directiva

El CIQA nace como Centro Científico en 1976, sin instalaciones propias, y en 1984, se le clasifica como Centro Tecnológico, como tal, sus esfuerzos debieron enfocarse hacia la industria. En 1995, nuevamente da el giro hacia el ámbito científico, con lo que uno de los objetivos fue incrementar el currículo de los investigadores, lo cual motivo a que en la década de los 90, un buen número de éstos realizara sus estudios de doctorado en el extranjero; principalmente Inglaterra y Francia, en prestigiosas universidades como Sheffield, Manchester, Loughborough, Estrasburgo, entre otras. Una vez concluidos sus estudios regresaron al país para fortalecer al CIQA. Lo anterior dio lugar a que en esta misma década surgieran los primeros programas de posgrado, atrayendo a nuevas generaciones de futuros investigadores.

*Fortalecimiento de recursos humanos.* Durante la administración del Dr. Luis Francisco Ramos de Valle, se inicia formalmente en 1995 la maestría en química aplicada, la cual posteriormente derivó en la maestría y doctorado en tecnología de polímeros. Con el afán de diferenciarse de otros programas de doctorado existentes en ese momento, se propuso la opción de ofrecer temas de tesis de posgrado de vanguardia que no se ofrecían en ningún otro programa similar, así, de manera natural, se ubicaron en el área emergente en ese entonces de la nanotecnología.

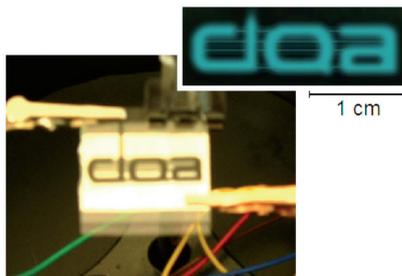
*Fortalecimiento de infraestructura.* Posteriormente, durante la administración del Dr. Juan Méndez Nonell se hizo énfasis en la adecuación de las instalaciones, así como en la reorganización del CIQA, culminando con la

creación del Departamento de Materiales Avanzados. Además, hubo un fuerte impulso para apuntalar la infraestructura existente adquiriendo equipo de vanguardia para la investigación, desarrollo e innovación en materiales avanzados y nanotecnología; se consolidó el área de caracterización microscópica con la adquisición de equipos como microscopio electrónico de transmisión (TEM), microscopio de tunelamiento (STM), microscopio de fuerza atómica (AFM), microscopio ambiental de doble haz (*dual beam microscope*), así como microtomos. Asimismo se adquirió un equipo de dispersión y difracción de rayos-X (SWAXS) el cual es complementario a las técnicas de caracterización microscópica en la escala nanométrica.

*Aplicaciones.* Actualmente, bajo la dirección del Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández y como parte del Plan Estratégico 2013-2018 se cuenta como misión objetivo realizar actividades de investigación, docencia y servicios tecnológicos en el área de química, polímeros, nanomateriales y disciplinas afines para contribuir al progreso del sector industrial, educativo y social, mediante la creación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico, y la formación de capital humano especializado. Mientras que parte de la visión es ser líder nacional en el área de polímeros y nanomateriales, con reconocimiento internacional en investigación, desarrollo tecnológico, innovación y formación de capital humano. Por lo que, dentro de las metas y objetivos para 2018 se tiene el ubicar al CIQA como Centro Tecnológico consolidado en áreas de investigación de vanguardia, prioritariamente nanotecnología y química sostenible, con grupos de investigación en biotecnología. Esto necesariamente se traduce en la aplicación del conocimiento científico y tecnológico en nanociencia y nanotecnología generado en los últimos años para contribuir a la solución de los retos actuales en sectores como salud, energía, agrícola y automotriz, entre otros. Ante la diversidad de sectores a atender, el CIQA está evaluando la posibilidad de abrir nuevas unidades en diferentes regiones del país para atender más cerca la demandas regionales. Por ejemplo, nanotecnología en Nuevo León, sector hidrocarburos en Campeche, sector energía en Tamaulipas y sector salud en el noroeste del país.

## NyN en el CIQA

El CIQA cuenta con aproximadamente 60 investigadores titulares y esta organizado en departamentos y laboratorios. Dentro de los departamentos de Síntesis de Polímeros, Procesos de Polimerización, Procesos de Transformación de Plásticos y Materiales Avanzados se cuenta con laboratorios especializados para la preparación de nanoestructuras y nanocompuestos. En el Laboratorio Central (LC) y en el Laboratorio Nacional de Materiales Grafénicos, así como en los mismos departamentos se cuenta con una amplia gama de equipos de caracterización de nanomateriales. El Departamento de Plásticos en la Agricultura cuenta con campos experimentales para probar la

**IMAGEN 3.** Diodo electroluminiscente fabricado en CIQA.

aplicación de nanomateriales en la producción agrícola. Las líneas de investigación, desarrollo e innovación en nanociencia y nanotecnología del CIQA pueden agruparse en: síntesis de nanopartículas, modificación superficial de nanopartículas, procesamiento de nanocompuestos de matriz polimérica, caracterización de nanoestructuras/nanomateriales y su aplicación en diferentes sectores estratégicos como son salud, energía, agrícola y automotriz, entre otros.

## Infraestructura y equipamiento

Sus departamentos cuentan con una amplia gama de laboratorios equipados con instrumental y equipos para sintetizar, modificar y procesar nanomateriales dentro de los que se cuenta con dos plantas piloto. Así como equipos para realizar la más avanzada caracterización de éstos dentro de sus laboratorios, los que cuentan con pero no se limitan a:

Espectrómetro de electrones fotoemitidos (XPS); THERMO Scientific modelo K-ALPHA XPS. Espectrómetro de masas (MALDI TOF); Bruker GT-D264-G-201. Microscopio electrónico de transmisión (TEM); Titan 80-300. Microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (SEM); Jeol JSM-7410F. Espectrofotómetro de rayos X (XRD); Bruker D8 Advance Eco. Microscopio atómico de tunelamiento (AFM STM); Angstrom Advanced AA5000. Analizador de Redes PNL; Keysight N5234A. Espectrofotómetro UV-vis; Cintra 2020. Analizador Termogravimétrico (TGA); TA Instruments Q500. Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC); TA Instruments Q2000. Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR); Nicolet is5 . Espectrofotómetro; Konica Minolta CM5. Medidor de tamaño de partícula y potencial Z (Zeta-Sizer); Malvern Nano-Zs90. Micro mezclador de doble husillo (inyección, extrusión película y extrusión fibras); XPlore. Molino de bolas: atricionador, planetario, de rodillos, de alta energía. Sistemas de Ultrasonido; QSonica Q500 y Q700. Sistema de Ultrasonido industrial; Hielscher UIP 1000hdT. Mezclador de alto esfuerzo de corte; Charles Ross and Son Co HSM-100LSK. Dispersión y difracción de rayos-X (SWAXS); SAXSess mc2 de Anton Paar. Extrusores mono y doble husillo, Inyectoras, sopladoras, extru-

IMAGEN 4. Instalaciones.



sores para película plana coextruida. En el caso de textiles se cuenta con una línea combinada de extrusión de multifilamentos bicomponente coextruidos y tela no tejida monocomponente; FET.

## Nanotecnología en números

*Proyectos científicos y vinculados.* Del 2002 al 2014 se han aprobado 27 proyectos relacionados con nanociencia y nanotecnología por medio del Fondo SEP/CONACyT de ciencia básica, de los 64 aprobados al CIQA, es decir el 42% de los proyectos están orientados hacia estas importantes áreas del conocimiento. Además, un número considerable de proyectos vinculados con la industria a través de Fondos Bilaterales de México con España, Francia e Inglaterra en Europa, así como con Brasil en el continente Americano, y a través de diversos fondos como el Programa de Estímulos a la Innovación de SE/CONACyT han sido financiados, coadyuvando con esto al fortalecimiento en la competitividad de las empresas mexicanas. También ha participado en proyectos financiados por SENER/CONACyT dentro de los Centros Mexicanos en Energía Solar (CEMIESol) y del Océano (CEMIEOceano). Finalmente, por citar un ejemplo, se participó en 3 de los 4 proyectos aprobados en la convocatoria 2009 CONACyT/CE dentro del Programa Marco 7 de la Comunidad Europea. Los proyectos en los que se participó fueron: Cuvito, Minano y Nanominning.

*Artículos.* En cuanto a la producción de artículo científicos indexados, del 2004 a la fecha se han publicado 131 artículos abordando temas de nanociencia y nanotecnología del total de 896 publicados. Esto es un 15% del total de publicaciones donde participa el CIQA, de acuerdo con la base de

**IMAGEN 5.** Microscopio Eléctronico de Transmisión.

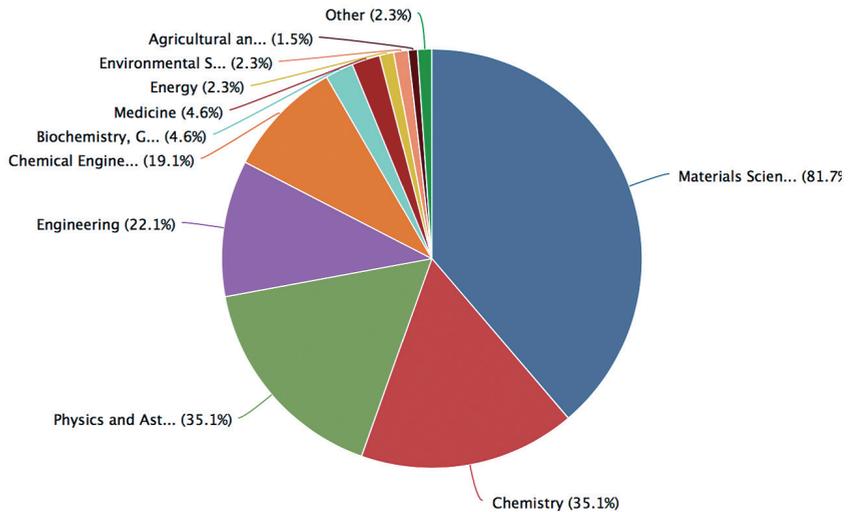


datos *Scopus*<sup>™</sup>. La tendencia es creciente en los últimos 10 años, como se puede ver en la figura 1. Los artículos han estado enfocados mayormente en el área de ciencia de los materiales, seguidos de las áreas de química, física e

**FIGURA 1.** Número de artículos científicos en nanociencia y nanotecnología publicados por el CIQA en revistas indexadas (Fuente: *Scopus*<sup>™</sup>).

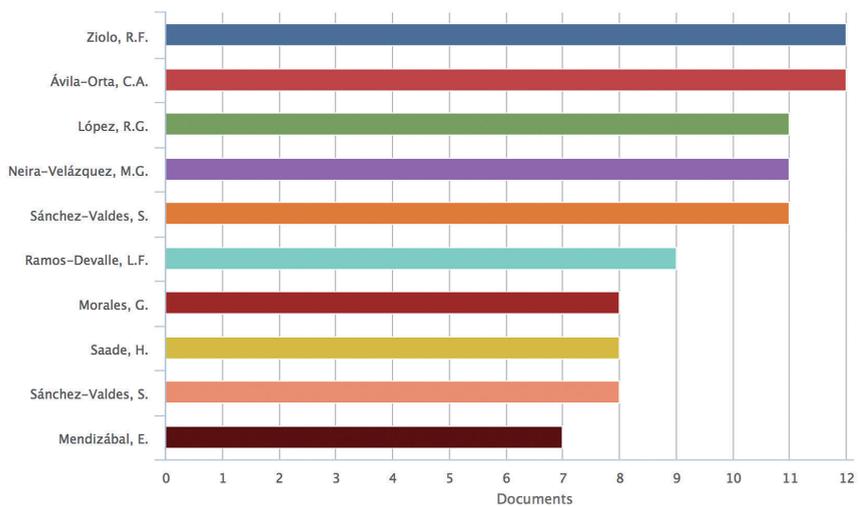


**FIGURA 2.** Áreas del conocimiento donde se han publicado artículos científicos del CIQA en nanociencia y nanotecnología en revistas indexadas (Fuente: Scopus™).

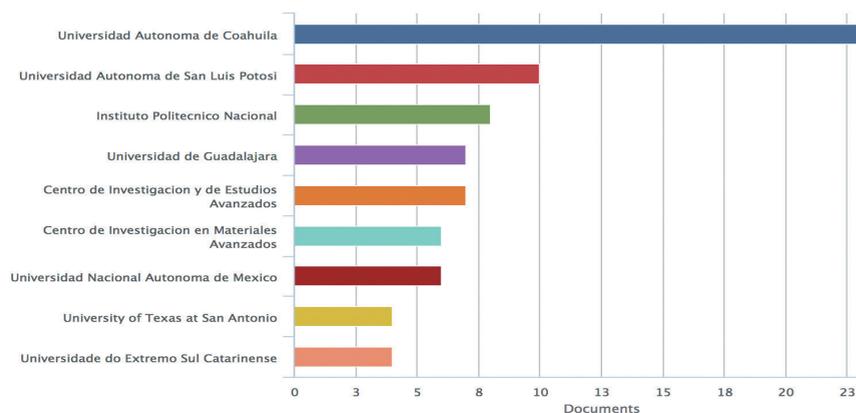


ingeniería, respectivamente (figura 2). En la figura 3 se muestran los principales autores, y, finalmente, en la figura 4, las instituciones con las que más se ha colaborado en la publicación de estos artículos, destacando la Universidad Autónoma de Coahuila y la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

**FIGURA 3.** Principales autores en nanociencia y nanotecnología en el CIQA de artículos científicos indexados (Fuente: Scopus™).



**FIGURA 4.** Principales instituciones colaboradoras en la publicación de artículos científicos indexados en nanociencia y nanotecnología en el CIQA (Fuente: Scopus™).



*Patentes.* Del 2000 a la fecha se ha hecho la solicitud de 26 patentes en el área de la nanociencia y la nanotecnología de las 140 totales solicitadas por el CIQA, es decir el 19%. Se han otorgado 2, donde una misma patente se ha otorgado en 3 países: México, China y Japón (Patente mexicana 323756 “Proceso continuo asistido por ultrasonido de frecuencia y amplitud variable, para la preparación de nanocompuestos a base de polímeros y nanopartículas”).

*Recursos humanos.* De 2004 a 2011 se graduaron 68 estudiantes de maestría y doctorado en polímeros en temas relacionados con la nanociencia y nanotecnología de los 192 totales. Esto es un 35%. Este porcentaje se ha visto incrementado durante los últimos 5 años, se han graduado 31 estudiantes de maestría en tecnología de polímeros y 21 de doctorado en tecnología de polímeros. Ambos casos representan el 47% de los estudiantes graduados en estos programas. Por otro lado, sólo 2 estudiantes de 39 se han graduado de la maestría en agroplasticultura con temas de nanociencia y nanotecnología, del 2010 a la fecha. Finalmente, 31 de 170 estudiantes de la especialidad en química aplicada, es decir el 18%, han hecho tesis relacionadas con la nanociencia y la nanotecnología. En resumen, el CIQA ha formado a través de sus programas de posgrado en su conjunto, todos ellos dentro del padrón de excelencia de CONACyT, más de 150 estudiantes con tesis o tesis relacionadas con la nanociencia y la nanotecnología. Lo anterior sin contar las innumerables tesis de licenciatura y tesis de técnicos superiores que se realizan en colaboración con otros institutos y universidades.

## Conclusiones

El CIQA ha participado de manera integral en la investigación, desarrollo e innovación en los campos de la nanociencia y la nanotecnología; activamente

en proyectos de generación de conocimiento fundamental, así como vinculados con sectores estratégicos del país y en colaboración con otros países y continentes. Además, el conocimiento generado se ha traducido en artículos científicos y patentes, así como en la formación de un número de estudiantes graduados altamente especializados en estos campos.

Aun cuando el avance es significativo, pues con la tecnología desarrollada y por desarrollar, es posible producir nanomateriales a la medida de las necesidades de los sectores o empresas. Es necesario conocer las necesidades de cada uno de los sectores industriales, para modificar y optimizar estas tecnologías.

Finalmente, se considera la necesidad de establecer negociaciones y planes estratégicos entre los centros de investigación y las empresas, para que los desarrollos tecnológicos finalicen en la transferencia tecnológica a las empresas.

# Instituto Mexicano del Petróleo

Jaime Sánchez Valente<sup>1</sup> y José Antonio Toledo Antonio<sup>2</sup>

**RESUMEN:** En el mundo actual es indudable que el uso de la nanotecnología es indispensable, para la manipulación de los materiales desde sus unidades básicas de construcción, con el fin de controlar las distintas propiedades fisicoquímicas de los mismos. Por tal motivo, en el presente trabajo se expone el empleo de la nanotecnología en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), como una herramienta para el diseño y desarrollo de nuevos materiales, así como la infraestructura con la que cuenta el IMP para su caracterización, escalamiento y evaluación a nivel micro y piloto.

**PALABRAS CLAVE:** Nanotecnología, catalizadores, desarrollo tecnológico, petróleo.

**ABSTRACT:** It is indubitable that in our modern world, nanotechnology is fundamental for the manipulation of materials from their basic building blocks, so that their physicochemical properties may be controlled. For this reason, herein is presented the use of nanotechnology at the Mexican Petroleum Institute (IMP) as a tool for the design and development of novel materials. Also the infrastructure that IMP has for the characterization, scaling-up, and evaluation, at micro and pilot level, of nanomaterials.

**KEYWORDS:** Nanotechnology, catalysts, technological development, oil.

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), creado el 23 de agosto de 1965, es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera, cuyos objetivos principales son la investigación y desarrollo tecnológico, así como la formación de recursos humanos de alto nivel. Proporciona, también, servicios técnicos y capacitación a la industria del petróleo, además de la comercialización de los desarrollos tecnológicos, ya sea por cuenta propia o bajo la suscripción de alianzas con instituciones o empresas privadas.

Actualmente, debido a la apertura del mercado petrolero en el país, el IMP ha sido transformado en un instituto nacional. Adaptándose en consecuencia a los nuevos objetivos y grandes retos de la industria petrolera, mediante renovados esfuerzos basados en la investigación y desarrollo tecnológico, con el enfoque a mejorar la eficiencia, productividad y crecimiento del sector de hidrocarburos.

---

Recibido: 27 de junio de 2016. Aceptado: 28 de octubre de 2016.

<sup>1</sup> Gerente de desarrollo de materiales y productos químicos, Instituto Mexicano del Petróleo, Edificio 23, Oficina 204, Eje Central L. Cardenas # 152, Col. Sn Bartolo Atepehuacan, Del. G. A. Madero, 07730 Ciudad de Mexico. Correspondencia: (jsanchez@imp.mx), Tel. (52) 55 9175 8413.

<sup>2</sup> Líder de especialidad en el Instituto Mexicano del Petróleo, Edificio 23, Oficina 221, Eje Central L. Cardenas # 152, Col. Sn Bartolo Atepehuacan, Del. G. A. Madero, 07730 Ciudad de Mexico. Correspondencia: (jtoledo@imp.mx), Tel. (52) 55 9175 8434.

FIGURA 1. Entrada principal y torre ejecutiva del IMP.



Como centro público de investigación, el Instituto Mexicano del Petróleo tiene la *misión* de transformar el conocimiento en tecnología y servicios de valor para la industria petrolera; y la *visión* de ser un centro público de investigación de clase mundial con personal reconocido, con tecnologías y servicios que contribuyan al desarrollo de la industria petrolera.

Considerando que la manera de crear valor económico, a partir de los hidrocarburos, es a través de procesos de transformación química, y sabiendo que alrededor del 90% de tales procesos emplean algún tipo de catalizador, es claro que la catálisis tiene un papel de suma importancia; principalmente la catálisis heterogénea. En este sentido, desde sus orígenes, el IMP ha desarrollado metodologías de síntesis de catalizadores heterogéneos, buscando siempre controlar las estructuras cristalinas, es decir, los arreglos atómicos que constituyen el compuesto, así como la superficie expuesta del mismo y eventualmente la dispersión de los componentes activos, en los catalizadores heterogéneos que se emplean en la industria petrolera.

En 1836, Berzelius acuña el término “catalizador” para referirse a una sustancia que desempeña un rol central en una reacción química, sin sufrir una transformación en sí misma. En concreto, su función principal es la de disminuir las barreras energéticas y orientar selectivamente la formación de los productos deseados. De tal forma, la catálisis heterogénea es un campo interdisciplinario de la ciencia y la tecnología, que hace uso de la química, la

**FIGURA 2.** Vista aérea de las instalaciones del IMP sede.

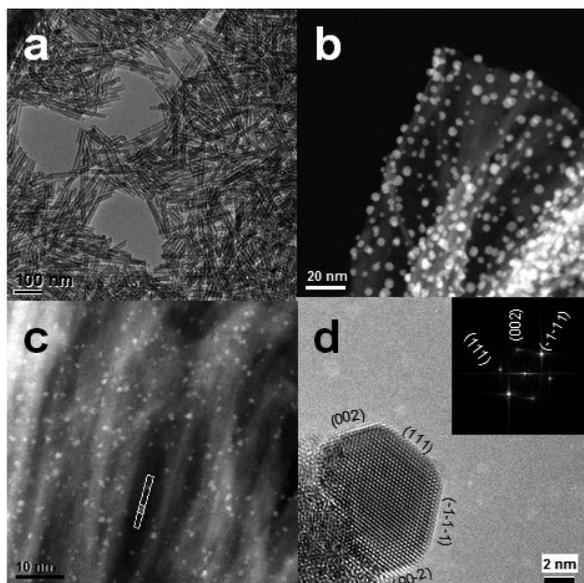
ingeniería, la física del estado sólido, la biología y la rama de la ciencia conocida hoy en día como nanotecnología, entre otras disciplinas.

Cabe hacer mención de que los catalizadores empleados en la industria siempre se han manejado a escala nanométrica. Sin embargo, no fue sino hasta los años 80's, debido a los avances de distintas tecnologías, en particular la relacionada con los microscopios electrónicos, que ha sido posible manipular y observar de manera precisa los materiales a escala nanométrica, lográndose así importantes avances en el diseño de los catalizadores más eficientes, debido a que los materiales nanoestructurados ( $1\text{nm} = 10^{-9}$  metros) exhiben propiedades electrónicas únicas, reflejándose la mayoría de las veces en su reactividad y selectividad química, permitiendo sorprendentes e impredecibles ventajas en sus diversas aplicaciones.

En catálisis, los nanomateriales catalizan reacciones químicas con más altas conversiones y selectividades, logrando altos rendimientos hacia el o los productos deseados y con mayor eficiencia energética, comparado con los catalizadores convencionales, lo cual se traduce en ventajas tecnológicas y económicas considerables, por ejemplo, lograr disminuir el contenido de metal noble en catalizadores para procesos de hidrogenación y reformación, desde concentraciones de 3.0 % peso hasta  $<0.3\%$  peso de metal.

La nanotecnología es una rama de la ciencia dedicada a la manipulación de materiales desde sus unidades básicas de construcción: los átomos, las moléculas, y el estudio de las partículas de tamaños del orden desde 1 a 100 nm;

**FIGURA 3.** (a) Materiales con morfología nanotubular y dimensiones nanométricas, (b) metales soportados con dimensiones < 5.0 nm, (c) metales soportados con dimensiones < 1.0 nm, y, (d) estructura cristalina de una nanopartícula metálica soportada.



es decir, desde una millonésima hasta una diezmilésima parte de un milímetro. A esta escala, la materia tiene propiedades especiales que, por mencionar alguna, le ayudan a reaccionar más fácilmente con otras moléculas.

En el Instituto Mexicano del Petróleo se estudian la manipulación y control de distintos materiales, usando las herramientas disponibles con las que cuenta la institución. En este sentido, el control de nanopartículas ha sido de gran importancia, pues éstas tienen a menudo propiedades catalíticas importantes y distintas a cuando esos mismos compuestos se presentan en forma de partículas de mayor tamaño.

La nanotecnología hoy en día se define como la habilidad para construir artefactos mediante la manipulación de átomos o moléculas a través de estrategias denominadas “de abajo a arriba” utilizando técnicas y herramientas desarrolladas para hacer productos de más alto rendimiento.

## Líneas de investigación en nanotecnología

En las muy diversas reacciones químicas de interés para el IMP (refinación de petróleo, producción de hidrocarburos y productos petroquímicos, purificación de combustibles, entre muchas otras) intervienen comúnmente diversos materiales y catalizadores. Una manera de mejorar el desempeño de tales compuestos es mediante la manipulación de los arreglos atómicos a escala nanométrica durante su formación. En el IMP se estudia la nanotecnología

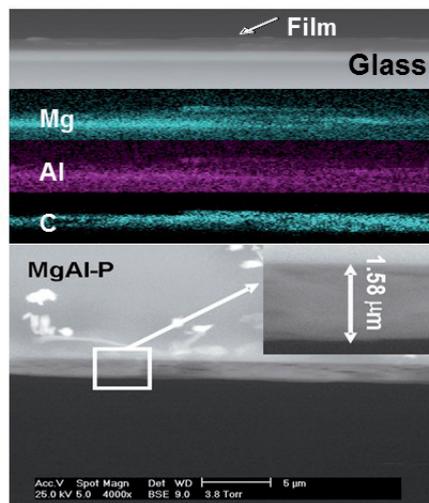
aplicada al desarrollo de las distintas líneas de investigación; se destacan, entre otras, las siguientes:

- Producción de combustibles limpios.
- Oxidación parcial de parafinas ligeras.
- Aprovechamiento del gas natural (transformación de metano y etano a productos químicos y petroquímicos de mayor valor agregado).
- Transformación de CO<sub>2</sub> a productos químicos y petroquímicos.
- Producción de hidrógeno.
- Películas delgadas.
- Biomateriales.
- Biocombustibles.
- Productos químicos.
- Tecnologías para el desarrollo y explotación de yacimientos convencionales y no convencionales.
- Mejoramiento de hidrocarburos no convencionales.
- Fotocatálisis de contaminantes recalcitrantes en medio acuoso.

## Nanotecnología computacional en el IMP

La nanotecnología computacional está basada en la modelación molecular y la simulación a multiescala, lo cual permite el desarrollo de modelos que representan los fenómenos fisicoquímicos, considerando las propiedades electrónicas moleculares y termodinámicas del compuesto en estudio. De

**FIGURA 4.** Análisis por microscopía electrónica de películas delgadas, preparadas por el método sol-gel, de hidróxidos dobles laminares.



este modo se abarcan los dominios microscópico, mesoscópico, y nanométrico. Los modelos así desarrollados permiten la solución de problemas no sólo científicos, sino incluso tecnológicos, creando la base para la generación y establecimiento de la relación teoría-industria. Las aplicaciones de la nanotecnología requieren un conocimiento profundo de los aspectos teóricos de los materiales y dispositivos a escala nanométrica. Por tal motivo, diversas áreas, en específico la química computacional con la gran diversidad de aproximaciones a multiescala, permiten el estudio de los materiales.

La química computacional es esencial para la integración y comprensión entre las escalas atómica y molecular con el mundo micro, meso y macroscópico. Los métodos empleados en esta área han avanzado considerablemente, dentro de éstos se encuentran: la teoría de los funcionales de la densidad (DFT), la mecánica molecular, los métodos de dinámica de partícula disipativa (DPD), las técnicas de mecánica cuántica-mecánica molecular (QM-MM), y aproximaciones del efecto solvente como el modelo de apantallamiento como conductor para solventes reales (COSMO-RS). Estas técnicas han demostrado ser muy útiles en la determinación de diversas propiedades como la estructura molecular, y han ayudado a dilucidar la estructura electrónica, reactividad y selectividad de diversos materiales, así como sus propiedades termodinámicas.

En este sentido, la investigación en modelado y simulación en nanociencia en el Instituto Mexicano del Petróleo es cada vez más variada y diversificada debido a que tanto el *software* como el *hardware* son cada vez más potentes.

## Investigadores especializados en nanotecnología

El IMP cuenta con recursos humanos altamente especializados y una gran infraestructura para la investigación en nanotecnología; entre el personal altamente calificado existen más de 30 investigadores con grado de doctor y pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), además de ingenieros y personal técnico. Si bien el IMP tiene muy diversas áreas de investigación y profesionales en distintas ramas, al menos 15 de nuestros investigadores poseen una vasta experiencia en la preparación, caracterización y aplicación de nanomateriales.

## Propiedad intelectual

El Instituto Mexicano del Petróleo fue creado el 23 de agosto de 1965 como un centro de investigación dedicado al área petrolera. En 1970 le fue otorgada su primera patente, y, desde entonces, su acervo se ha incrementado continuamente, consolidándose como uno de los centros de investigación con más patentes registradas anualmente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Por ejemplo, solamente en el área de catalizadores,

cuenta con más de 164 patentes otorgadas, además de 197 en el área de procesos químicos, petroquímicos y refinación, entre muchas otras en las áreas de equipos, aparatos, productos químicos y aditivos. Al mismo tiempo, la investigación científica realizada en el IMP continúa publicándose en prestigiosas revistas científicas internacionales, contribuyendo de manera sustancial al desarrollo tecnológico del país.

La lista completa de patentes se puede consultar en los siguientes vínculos:

<<http://www.imp.mx/DatosAbiertos/Diccionario.docx>> ,

<<http://busca.datos.gob.mx/#!/conjuntos/patentes/>> .

## Formación de recursos humanos

El IMP cuenta con un programa de posgrado donde se pueden obtener los grados académicos de maestro y doctor en ciencias o en ingeniería, así como los diplomas de especialidad en ciencias y especialidad en ingeniería. El posgrado del IMP en su trayectoria histórica de 13 años cuenta con 59 graduados a nivel doctoral y su calidad ha sido avalada por el número de publicaciones con arbitraje internacional con un total de 139 publicaciones en el periodo 2004-2015, así como la productividad de 25 patentes internacionales concedidas y 80 solicitudes, 22 patentes nacionales concedidas y 30 solicitadas, como consecuencia de la importancia de resguardar las investigaciones con carácter de innovación; derivado de esta productividad, actualmente algunos productos se están comercializando por parte del IMP. El 61% del total de graduados son miembros del Sistema Nacional de Investigadores.

Para el caso de maestría se cuenta con un número de 76 graduados, aunque no es requisito para graduarse la publicación de artículos o solicitud de patente, también se cuenta con productividad científica de 24 derechos de autor y dos patentes. De estos alumnos, el 94% tuvo beca del CONACyT para realizar sus estudios.

Las áreas temáticas en las que los estudiantes pueden desarrollarse son las de transformación industrial de hidrocarburos o exploración y producción. Entre éstas, las líneas de investigación que podrían relacionarse con la nanotecnología son las de desarrollo de materiales y productos químicos, la de refinación de hidrocarburos, o la de transformación de biomasa, todas ellas en el área de transformación industrial de hidrocarburos.

El programa de posgrado del IMP difunde su oferta académica en el ámbito nacional e internacional. El impacto de esta difusión se puede observar en la diversidad del origen de las solicitudes de ingreso, al momento, de 22 diferentes entidades federativas (Ciudad de México, Edo. de México, Veracruz, Morelos, Tabasco, Hidalgo, Sinaloa, Puebla, Sonora, Guanajuato, San Luis Potos, Tamaulipas, por mencionar algunas). En lo que se refiere al impacto internacional, en la historia del programa de posgrado se han recibido 9 solicitudes de ingreso de diversos países.

FIGURA 5. Equipo robotizado para la preparación de disoluciones, para la síntesis de materiales.



## Infraestructura disponible

El IMP cuenta con gran variedad de tecnología de punta. Por ejemplo, un laboratorio de química combinatoria, equipado con una sección de preparación automática de miligramos de materiales, constituida por dos robots

Figura 6. Equipo de síntesis de materiales por química combinatoria.



**Figura 7.** Sección de evaluación de catalizadores del equipo de química combinatoria.



CAVRO, con 48 recipientes de síntesis, bajo atmósfera, temperatura y agitación controladas. Asimismo, el laboratorio tiene una sección de evaluación catalítica de los materiales, empleando moléculas modelo, equipada con 48 microrreactores y un sistema de análisis con 6 cromatógrafos en línea.

Además, el IMP posee diversos laboratorios de síntesis de materiales (adsorbentes, soportes y catalizadores), con infraestructura para preparar desde gramos hasta kilogramos. En los laboratorios de investigación se dispone de infraestructura de material de vidrio y equipo para la síntesis de materiales por diversos métodos: precipitación, coprecipitación, sol-gel, entre otros. Además, los laboratorios están habilitados con trenes de autoclaves, con capacidades desde 50 mL hasta de 6 L, que operan de forma automatizada para la preparación de materiales mediante métodos hidrotérmicos, tanto a presión autógena como superiores a ésta.

Para el secado de los materiales, se cuenta con equipamiento de estufas atmosféricas y de vacío de diferentes capacidades, así como equipos de secado por aspersión (*spray-dryer*), para la obtención de lotes desde gramos hasta kilogramos. Para la activación térmica de los materiales, se tienen calcinadores tanto estáticos como dinámicos, habilitados para operar en atmósferas oxidante, reductora o inerte, según se requiera. Se cuenta con calcinadores que pueden operar hasta temperaturas superiores a los 1000 °C, con lotes desde gramos hasta 0.5 kg de material.

De igual manera, los laboratorios tienen instalada la infraestructura necesaria (amasadores mecánicos, microextrusores y extrusores mecánicos, esferulizador, etc.) para la preparación de materiales y catalizadores másicos o soportados con morfología en extruido (cilíndrico, trilobular, tetralobular,

FIGURA 8. Equipo de secado por aspersión (*spray-dryer*), ubicado en el área de microplantas del IMP.



etc., de diferentes diámetros y longitudes), en lotes de gramos hasta kilogramos. Para la preparación de catalizadores con estas morfologías, se cuenta con la experiencia en la formulación, amasado y peptización de pastas de diferentes composiciones.

Existe también una amplia infraestructura para la caracterización de materiales. Para la medición de las propiedades mecánicas de los extruidos fabricados, el IMP dispone de un equipo para la medición de resistencia a la fractura y atrición de catalizadores en forma de extruido ajustándose a los métodos ASTM. Se dispone también de la infraestructura necesaria para la caracterización de los materiales preparados mediante las técnicas de: análisis térmico gravimétrico y térmico diferencial (con análisis mediante espectroscopía de infrarrojo de los productos de descomposición); espectroscopía de absorción atómica; espectroscopía de emisión de plasma; fluorescencia de rayos X; difracción de rayos X; así como fisisorción de nitrógeno para la determinación de las isotermas de adsorción/desorción, el área específica, la distribución de los diámetros de poro, etcétera.

El IMP también tiene equipos de caracterización para la investigación de los materiales a nivel atómico, mediante técnicas especializadas. El Laboratorio de Microscopía Electrónica, el cual es el más completo de México y Latinoamérica. En éste se lleva a cabo la caracterización estructural de nuevos materiales a nivel nanométrico ( $10^{-9}$  m), así como el desarrollo de una gran variedad de métodos y análisis. Está conformado por dos microscopios electrónicos de barrido, seis microscopios electrónicos de transmisión, dos microscopios de fuerza atómica, una estación de doble haz (iónico y elec-

**FIGURA 9.** Sistema de extrusión mecánica para la obtención de extruidos cilíndricos, tri y tetra-lobulares de distintas longitudes y diámetros.

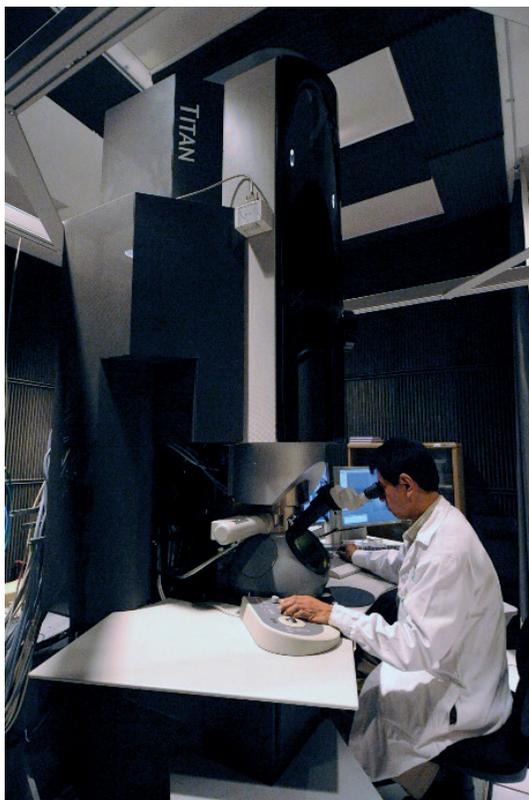


trónico), un nanomanipulador y equipo periférico para la preparación de muestras.

Para su óptima operación, el laboratorio se divide en cuatro grandes áreas:

- a) Microscopía electrónica de transmisión, mediante la cual se determina la morfología, tamaño y estructura cristalina de materiales a nivel micrométrico, nanométrico y atómico (hasta  $0.85 \text{ \AA}$ ), para posteriormente correlacionar las propiedades fisicoquímicas, ópticas, magnéticas y electrónicas, con su comportamiento macroscópico.
- b) Microscopía electrónica de barrido, en la que se analiza la estructura de la superficie de los materiales (orgánicos, inorgánicos y biológicos) a nivel micro y nanométrico, con el fin de correlacionarla con las propiedades de superficie de la muestra (rugosidad y fenómenos de interface, entre otros). Asimismo, se realizan análisis químicos a escala nanométrica para obtener información de la naturaleza y composición de los materiales.
- c) Microscopía de fuerza atómica y tunelamiento, misma que permite estudiar la superficie de las muestras, con alta resolución espacial y capacidad de medición de relieves topográficos y dominios magnéticos. Esta técnica tiene una característica única: su capacidad de manipular átomos y moléculas, modificando local y controladamente la superficie de la muestra para el diseño de nuevos materiales.

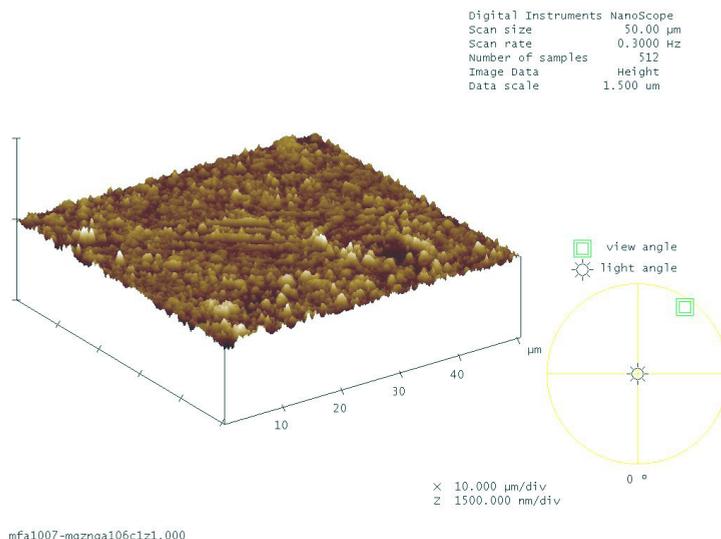
FIGURA 10. Microscopio electrónico de transmisión de alta resolución.



- d) Finalmente, la preparación de muestras se efectúa en un área en la que se utilizan varias técnicas, para observar adecuadamente los materiales en los microscopios y hacer cortes transversales con ayuda de un haz iónico, cuya precisión se mide en micras.

En cuanto a la caracterización de la superficie de los materiales, el IMP cuenta con laboratorios de espectroscopía Raman y fotoelectrónica de rayos X (XPS). El instrumento de espectroscopía Raman tiene un diseño integrado por un triple espectrómetro para una alta estabilidad óptica. La tecnología de filtros holográficos Notch proporciona una muy buena solución para observar números de onda en el espectro visible, hasta  $10,000\text{ cm}^{-1}$ . Contempla una tecnología de doble monocromador (modo triple sustractivo) que permite obtener información espectral muy cercana a la línea de láser ( $5\text{ cm}^{-1}$ ). La configuración triple aditiva hace posible realizar un estudio muy preciso de la posición de las bandas Raman, del orden de  $0.1\text{ cm}^{-1}$  facultando la observación de muy pequeñas transiciones de energía. Cuenta con microscopio con confocal acoplado con objetivos de 10X, 50X, y 100X. Tiene una celda Linkam

**FIGURA 11.** Microscopía de fuerza atómica (AFM) realizada sobre una película de hidróxidos dobles laminares de composición MgZnGa, depositada sobre ITO.



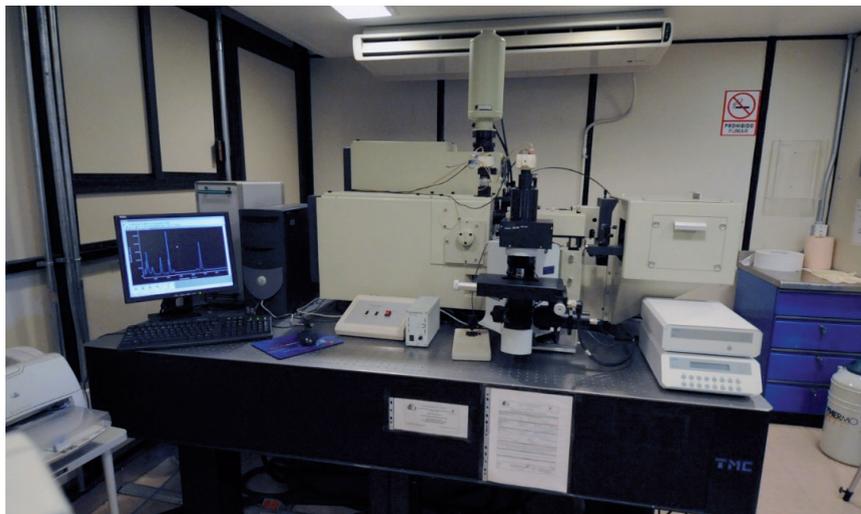
THM600 de calentamiento/enfriamiento ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) donde es posible hacer estudios de transformaciones de fases cristalinas y modificaciones superficiales, por efectos de temperatura o atmósfera oxidante o reductora y estudiar además interacciones gas-sólido bajo atmósfera controlada. También se cuenta con otra celda Linkam CCR1000, la cual es una celda de reacción para estudiar transformaciones estructurales durante un ambiente reductor u oxidativo o inclusive seguir una reacción catalítica acoplando un analizador cromatográfico a la salida.

Esta técnica de análisis se hace necesaria para poder comprender los mecanismos de reacción que participan en muchos procesos importantes. Esto facilita el diseño y desarrollo de nuevos materiales y su aplicación de manera óptima. Dado que fortalece el conocimiento de caracterización *in situ* e *in operando*, permite adquirir información de tipo estructural de catalizadores y su fase activa, cerca de las condiciones reales de reacción dentro de un proceso catalítico.

La técnica de espectroscopía Raman es de carácter no destructivo. Las muestras a analizar no requieren ningún tratamiento previo, su naturaleza puede ser sólida, con distintos estados de agregación como polvos o piezas; líquida o gaseosa, utilizando celdas adecuadas para ellas. Dado que se trata de una técnica de microespectroscopía, el tamaño de la muestra puede ser microscópico o analizar de forma diferenciada zonas distintas dentro de la misma.

En el IMP hay también un laboratorio de espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS). El XPS es una técnica de análisis de superficies, eficaz y

**FIGURA 12.** Equipo de espectroscopía Raman (Yvon Jobin Horiba, T64000) equipado con doble monocromador (modo triple sustractivo)



ampliamente utilizada. Una muestra es irradiada por baja energía de rayos X en ultra alto vacío. Esto causa una fotoionización de átomos en la superficie de la muestra: los fotoelectrones son emitidos desde niveles de energía determinados por la estructura electrónica del espécimen. La técnica del análisis de XPS examina las energías cinéticas de estos fotoelectrones para determinar su distribución de energía. De los resultados de este análisis es posible la identificación de los elementos presentes, sus estados químicos y la cuantificación de ellos.

Por otra parte, existen tres equipos de espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR): un espectrómetro FTIR NICOLET, modelo 710, un espectrómetro FTIR NICOLET, modelo MAGNA-560 y un espectrómetro FTIR NICOLET, modelo PROTEGE 460. Durante los procesos de desarrollo de materiales con propiedades especiales y con capacidad para ser utilizados como soportes de catalizadores, catalizadores o bien en procesos fotocatalíticos, es necesario llevar a cabo la caracterización de los mismos.

La espectroscopía FTIR ha sido una de las técnicas espectroscópicas pilares en el desarrollo de nuevos materiales y catalizadores vía la caracterización estructural, estudios por marcado isotópico y la determinación de las propiedades fisicoquímicas por la adsorción-desorción de moléculas sonda, tanto a alta como a baja temperatura. En particular, dentro de las más utilizadas podemos mencionar la adsorción-desorción de piridina y dióxido de carbono, las cuales permiten examinar las propiedades ácido-base de los materiales, así como del monóxido de carbono a baja temperatura (100K), que posibilita determinar sitios activos con deficiencias electrónicas. Actual-

**FIGURA 13.** Equipo de espectroscopía fotoelectrónica de rayos X (XPS) THERMO-VG SCALAB 250 equipado con fuente de rayos X, AlK $\alpha$  X (1486.6 eV) y analizador hemisférico.



mente, se cuenta con equipos FTIR que permiten aplicar técnicas novedosas de caracterización en el campo de la catálisis y los materiales, como son los sistemas de caracterización en el modo OPERANDO hoy en día en boga y las técnicas de STEP-SCAN que facilitan seguir procesos efectuados a alta velocidad y capaz, además, de trabajar en todo el rango espectroscópico, aún desde el ultravioleta-visible (UV-Vis).

Posteriormente, el análisis de los fenómenos de transición por excitaciones electrónicas y los procesos de relajación son importantes para determinar las propiedades de estos materiales así como las energías fotónicas necesarias para superar la energía de banda prohibida entre la banda de conducción y la banda de valencia. Por otro lado, los nanomateriales presentan efectos electrónicos propios de las geometrías que estas nanoestructuras adoptan, por efecto de su tamaño, mismas que pueden ser estudiadas utilizando la técnica de resonancia plasmónica en el ultravioleta-visible (UV-Vis).

En el laboratorio de resonancia magnética nuclear (RMN) se realizan análisis que proporcionan datos en relación con el entorno de la estructura en un material, principalmente de los estados de coordinación o corrientes isoméricos, análisis estructural y comportamiento del átomo en todo el sólido. La RMN de líquidos se utiliza como una poderosa técnica analítica cuya aplicación es amplia. En general esta técnica permite la elucidación de estructuras moleculares, el estudio de polímeros y la determinación cuantitativa de mezclas; asimismo, posibilita determinar parámetros moleculares promedio, tales como el factor de aromaticidad, el número de sustituyentes alquilo en anillos aromáticos y la distribución de tipos de

Figura 14. Equipo de resonancia magnética nuclear de sólidos (RMN).



carbono en mezclas complejas de hidrocarburos. Entre las aplicaciones de la RMN de sólidos en el IMP, se encuentran las de el estudio de materiales zeolíticos, en donde se han identificado los tipos de aluminio presentes, la relación Si/Al, etc.

La aplicación de la RMN de sólidos en catálisis heterogénea provee información esencial para avanzar en el diseño de nuevos catalizadores activos y selectivos para su aplicación en diferentes procesos químicos. Por sus características, esta técnica permite investigar aspectos diferentes de un sistema catalítico: i) caracterización estructural de los catalizadores; ii) interacción del catalizador con moléculas sonda y reactivos; iii) estudio de mecanismos e intermediarios de reacciones químicas. Desde el desarrollo inicial de la RMN de sólidos, las zeolitas (silicatos y aluminosilicatos) y los zeotipos (aluminio-fosfatos y silico-aluminio-fosfatos) han ejercido una gran atracción sobre los investigadores por sus únicas propiedades estructurales y químicas. Además del interés académico, estos materiales tienen aplicaciones industriales potenciales, como catalizadores en procesos petroquímicos, así como adsorbentes e intercambiadores iónicos. La RMN de  $^{27}\text{Al}$  y  $^{29}\text{Si}$  ( $^{31}\text{P}$  en aluminofosfatos) da información del entorno local de los átomos en la red, que complementa los datos de difracción de rayos X y otras técnicas, en la elucidación estructural de los materiales. La RMN de  $^1\text{H}$  y su interacción con moléculas sonda permite estudiar las propiedades ácidas.

Respecto a la espectroscopía Mössbauer, para la cual también se cuenta con un laboratorio, ésta tiene numerosas aplicaciones en el campo de la corrosión, debido a su sensibilidad para el estudio de materiales sólidos que contienen hierro, así como los productos de corrosión de ductos que

**FIGURA 15.** Sistema de evaluación catalítica con reactor en flujo continuo y lecho fijo, a nivel micro-reacción, para el hidrot ratamiento de destilados intermedios de refin erías.



transportan crudo, gasolina y combustóleo (FeS, FeC y FeO). Su sensibilidad y alcance facilitan la revelación de aspectos no expuestos por otras técnicas. Se pueden determinar compuestos de hierro cuyos porcentajes son mayores que 0.5 % en peso. Estos estudios se complementan con análisis de fases por difracción de rayos X (DRX) y análisis semicuantitativo por fluorescencia de rayos X (FRX). La identificación se realiza por medio de las propiedades magnéticas y eléctricas de los componentes de hierro.

Por otra parte, en el IMP hay también diversos laboratorios para evaluación catalítica, se cuenta con infraestructura de reactores por lotes para la evaluación de prototipos catalíticos con moléculas modelo y cargas reales. En el laboratorio de microrreacción se lleva a cabo la evaluación continua de catalizadores con cargas sintéticas o reales de refin ería. Además, existen laboratorios de plantas piloto, los cuales están habilitados con equipos a escala micro y semicomercial que permiten simular la operación de las unidades industriales con una menor inversión, reduciendo gastos de operación y de insumos de materias primas, catalizadores, energéticos y servicios auxiliares.

Como se ha referido, el IMP tiene la capacidad para efectuar el escalamiento de materiales catalíticos, realizar la evaluación de procesos en microplantas y de materiales en microsistemas. Para ello se dispone de reactores de lecho fijo, ebullente y lecho fluidizado transportado; así como de reactores que trabajan en régimen de tanque agitado, isotérmico y adiabático, y equipos de destilación. La operación de estas unidades es continua, automatizada y con la capacidad de obtener registros electrónicos; además se cuenta con soporte analítico según las necesidades del usuario.

**FIGURA 16.** Planta piloto de evaluación de catalizadores en el proceso de desintegración catalítica (FCC) con gasóleos de refinerías.



El laboratorio de plantas piloto y escalamiento de catalizadores da apoyo experimental a los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y de servicios, relacionados con los procesos de refinación y petroquímica.

## Sitios de interés

- <http://www.imp.mx>
- <http://busca.datos.gob.mx/#!/conjuntos/revistas-arbitradas/>

# Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares\*

Edgar Enrique Camps Carvajal,<sup>1</sup> Guillermo de Jesús Cruz Cruz,<sup>1</sup> Luis Escobar Alarcón,<sup>1</sup> Manuel Eduardo Espinosa Pesqueira,<sup>2</sup> María Eufemia Fernández García,<sup>2</sup> Guillermina Ferro Flores,<sup>3</sup> Claudia Elizabeth Gutiérrez Wing,<sup>2,\*\*</sup> Régulo López Callejas,<sup>1</sup> Demetrio Mendoza Anaya,<sup>2</sup> Gilberto Mondragón Galicia,<sup>2</sup> María Guadalupe Olayo González,<sup>1</sup> María Teresa Olguín Gutiérrez,<sup>4</sup> Marquidia Josseline Pacheco Pacheco,<sup>5</sup> Joel Osbaldo Pacheco Sotelo,<sup>5</sup> Rosendo Peña Eguiluz,<sup>1</sup> Raúl Pérez Hernández<sup>2</sup>

**RESUMEN:** Este documento describe brevemente el origen y objetivos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), así como un panorama general de sus actividades dedicadas al avance de la nanociencia y nanotecnología (NyN), enmarcadas en las líneas de investigación institucionales a través del desarrollo de diversos proyectos. Se incluyen las líneas de investigación, contribuciones, patentes y principales logros en este campo obtenidos a través de los años. También se presenta la infraestructura con que se cuenta para llevar a cabo las investigaciones sobre nanomateriales y sus aplicaciones orientadas a áreas de energía, salud y medio ambiente. Se enfatiza la importancia del trabajo de colaboración nacional e internacional y de la formación de recursos humanos. Finalmente, se presentan las perspectivas de desarrollo en esta área en nuestra Institución.

**PALABRAS CLAVE:** ININ, investigación, radiación, nanomateriales, energía, ambiente, salud, nanocatálisis.

**ABSTRACT:** This document briefly describes the origin and goals of the National Institute of Nuclear Research (ININ) and a general view of its activities dedicated to the development of nanoscience and nanotechnology, within the frame of the institutional research lines through the development of several projects. Research lines, contributions, patents and main achievements obtained through the years in this field are included. Also, the infrastructure available to perform research on nanomaterials and their applications focused on energy, health and environment. The importance of national and international collaborative work and human resources training are emphasized. Finally, the development research prospects on this field in our Institution are presented.

**KEYWORDS:** ININ, research, radiation, nanomaterials, energy, environment, health, nanocatalysis.

---

Recibido: 14 de octubre de 2016. Aceptado: 21 de octubre de 2016.

\* Se agradece a todos los colaboradores que se desempeñan en el área de NyN, por la información proporcionada para la elaboración de este documento.

Investigadores del ININ en NyN: <sup>1</sup> Departamento de Física; <sup>2</sup> Departamento de Tecnología de Materiales; <sup>3</sup> Departamento de Materiales Radiactivos; <sup>4</sup> Departamento de Química;

<sup>5</sup> Departamento de Estudios del Ambiente.

\*\* Correspondencia: (claudia.gutierrez@inin.gob.mx).

## Introducción

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) es un organismo dependiente de la Secretaría de Energía. De acuerdo con la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear, que le dio origen, tiene como función planear y realizar investigación y desarrollo en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país. El Artículo 43 de la citada ley establece que para el cumplimiento de su objeto, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares tendrá, entre otras atribuciones, las siguientes: realizar e impulsar las actividades que conduzcan al desarrollo científico y tecnológico en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, así como promover la transferencia, adaptación y asimilación en esta materia; prestar asistencia técnica a las dependencias y entidades públicas y privadas que lo requieran, en el diseño, construcción y operación de instalaciones radiactivas; realizar actividades de investigación y desarrollo relativas a las aplicaciones y aprovechamiento de sistemas nucleares y materiales radiactivos para usos no energéticos requeridos por el desarrollo nacional; además, promoverá las aplicaciones de las radiaciones y los radioisótopos en sus diversos campos. Para tal propósito, en el ININ se trabaja en diversas líneas de investigación aprobadas por su Órgano de Gobierno, entre las cuales se incluyen: ciencias nucleares, fuentes energéticas, tecnología de reactores nucleares, materiales nucleares y radiactivos, seguridad nuclear y radiológica, gestión de desechos radiactivos, química y radioquímica, radiobiología y genética, ecología y protección del medio ambiente, aplicaciones de los aceleradores de partículas, aplicaciones de las radiaciones a los sectores industrial, salud y agropecuario. En el marco de estas líneas de investigación y buscando impulsar la incursión en temas emergentes, con el propósito de aprovechar las oportunidades coyunturales que representan y que abren nuevos espacios para el progreso y bienestar social, se realizan proyectos de investigación centrados en materiales con al menos una dimensión en la escala de los nanómetros, denominados nanomateriales, permitiendo el desarrollo de NyN en el ININ. Lo anterior se debe a que las fases, tamaños y morfologías de los nanomateriales tienen gran influencia en sus propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas, fisicoquímicas y catalíticas, en algunos casos únicas y consecuentemente en sus aplicaciones potenciales. Para este fin, se han establecido en el ININ varios laboratorios en donde se realizan estudios sobre métodos físicos y químicos de síntesis, caracterización, diseño y aplicaciones de nanomateriales orientadas a energía, salud y medio ambiente, lo que lo ha llevado a ser partícipe en el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología realizando investigación científica de alta calidad.

Los investigadores del ININ dedicados al campo de investigación de NyN están conscientes de que el desarrollo actual de la industria basada en

nuevas tecnologías en el ámbito mundial, ha iniciado en algunas áreas la incorporación de nanomateriales con características y propiedades específicas en la elaboración de productos de uso común o bien de aplicaciones en áreas muy especializadas. Es importante mencionar que los materiales y fenómenos que ocurren en la nanoescala son de gran relevancia para el desarrollo científico y tecnológico en diversos campos, ya que permiten mejorar o ampliar el espectro de aplicaciones, respecto de los materiales convencionales, así como generar sistemas con nuevas funcionalidades. Áreas como catálisis, electrónica, biomedicina, industria aeroespacial, entre muchas otras, se han visto beneficiadas con el desarrollo de estos materiales. A partir de ellos, se han diseñado y desarrollado en el ININ diversos sistemas, entre los cuales podemos mencionar los siguientes: nanomateriales para detectar y cuantificar radiación ionizante y no-ionizante, nuevos catalizadores con base en nanopartículas metálicas y películas delgadas nanoestructuradas para aplicaciones ambientales y en energía, nanoestructuras metálicas para biomarcado, diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades, depósitos de nanopartículas sobre acero inoxidable con el fin de mitigar efectos de corrosión en reactores de agua en ebullición, desarrollo de agentes microbicidas con nanoestructuras metálicas, para la desinfección del agua. Es importante señalar que para diversas aplicaciones, como las mencionadas en éstas y otras áreas, se requiere que los materiales estén expuestos a diferentes campos de radiación, tanto ionizante como no-ionizante, para lo cual también se han dirigido esfuerzos al estudio de los efectos de la radiación en nanomateriales.

En el ININ se ha contribuido al avance de NyN a través de diferentes mecanismos; éstos incluyen la realización de investigación básica y aplicada, teórica y experimental, divulgación de los logros obtenidos en el campo de manera oral y escrita, instrumentos de protección de propiedad intelectual, así como participación en la organización de foros nacionales e internacionales para la difusión de conocimiento de vanguardia en esta área y formación de recursos humanos especializados.

## **Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con NyN**

Actualmente, la tendencia general en la investigación de nanomateriales, y la de algunos grupos del ININ en particular, va dirigida hacia la obtención de nanomateriales hechos “a la medida”; es decir, se busca desarrollar estrategias de preparación que permitan crear materiales con propiedades determinadas según las requieran aplicaciones potenciales específicas, sin excluir la investigación básica. Esto ha resultado en el establecimiento de muy diversas líneas de investigación en NyN, las cuales se pueden dividir en: síntesis y caracterización y aplicaciones de nanomateriales. A continuación se mencionan estas líneas:

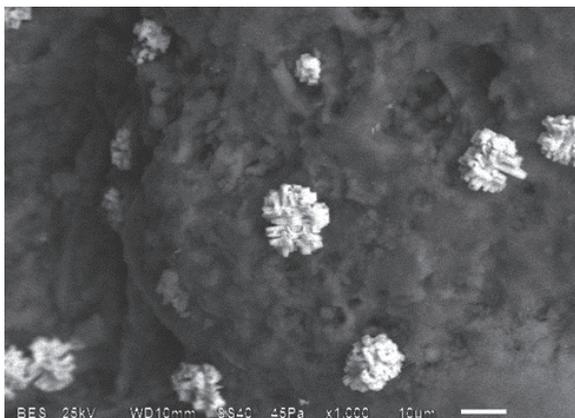
## Síntesis de nanomateriales

- Síntesis de nanopartículas (0D) y nanoestructuras unidimensionales (1D), metálicas y bimetálicas por métodos coloidales, calentamiento convencional y asistido por microondas.
- Generación de nanocompositos de nanopartículas y nanoestructuras unidimensionales en matrices poliméricas y de óxidos metálicos, para aplicaciones en termoluminiscencia y catálisis, entre otras.
- Efecto de depósitos de nanopartículas metálicas sobre las propiedades electroquímicas de aceros.
- Efecto de la radiación sobre la estructura y propiedades ópticas de nanomateriales.
- Síntesis de partículas poliméricas esféricas de tamaño nano y micro para aplicaciones biológicas y ambientales.
- Desarrollo de configuraciones alternativas de preparación de nanomateriales utilizando configuraciones no convencionales de ablación láser.
- Preparación de películas delgadas nanoestructuradas multifuncionales por ablación láser.
- Preparación de nanopartículas por ablación láser a alta presión, en vacío y en medio líquido.
- Preparación de nanomateriales híbridos formados por nanopartículas soportadas o embebidas en películas delgadas o en otros materiales.
- Generación de nano- y micro-partículas mediante plasmas producidas en alta y baja presión.
- Diseño de nanomateriales con aplicaciones catalíticas.
- Producción de nanoestructuras para el cuidado del ambiente.
- Influencia de los parámetros de plasma sobre las características de los materiales nanoestructurados sintetizados.
- Depósito de películas delgadas nanoestructuradas con propiedades mecánicas y tribológicas mejoradas.

## Caracterización de nanomateriales

- Caracterización de propiedades vibracionales de nanomateriales.
- Caracterización de propiedades ópticas de nanomateriales.
- Caracterización estructural, morfológica y químico-elemental de nanomateriales mediante técnicas como microscopía electrónica (barrido, transmisión y sonda por barrido), espectroscopía fotoelectrónica de rayos-X, espectroscopía infrarroja, así como análisis mediante técnicas de haces de iones.
- Análisis cristalográfico de polvos, películas delgadas, nanopartículas: identificación de fases cristalinas en compuestos, determinación de tamaño de cristalito, orientación cristalina, defectos.
- Refinamiento de estructuras cristalinas por el método de Rietveld.

**IMAGEN 1.** Micrografía SEM de micropartículas de Ag a tiempos largos de exposición a plasma.

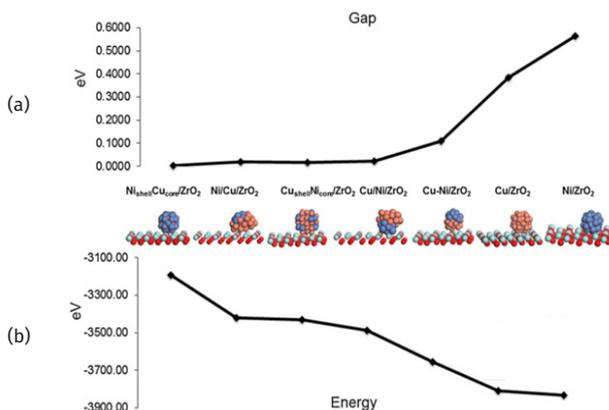


- Evaluación de las propiedades catalíticas de sistemas basados en nanoestructuras metálicas y bimetalicas.

## Trabajo teórico

- Modelado de nanoestructuras metálicas.
- Modelado de nanoestructuras soportadas en óxidos.
- Optimización geométrica de las nanoestructuras por medio de métodos clásicos.
- Cálculo de energías y propiedades moleculares.
- Simulación de imágenes de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución de nanoestructuras.

**GRÁFICA 1.** Modelos de nanopartículas bimetalicas Cu/Ni soportadas en ZrO<sub>2</sub>. a) Brecha de energía entre los orbitales frontera (GAP), y, b) Energía total del sistema.



## Aplicaciones

- Investigación y desarrollo de radiofármacos basados en nanosistemas para uso en medicina nuclear molecular.
- Desarrollo de apósitos bactericidas basados en nanopartículas metálicas.
- Desarrollo de nanomateriales avanzados con propiedades específicas, nuevas o mejoradas, con aplicaciones potenciales en catálisis, energía, dosimetría y ambiente, entre otras.
- Desarrollo de sustratos nanoestructurados para aplicaciones de espectroscopía Raman, específicamente SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) en biología, medicina, forense, ciencia de materiales y catálisis, entre otras.
- Implantes en tejidos neuronales de la médula espinal para promover la comunicación perdida entre el cerebro y el resto del cuerpo.
- Almacenamiento de hidrógeno, captura de gases tóxicos, mejoramiento de celdas solares.
- Nanomateriales en la lucha contra el cáncer y en lesiones de médula espinal en ratas de laboratorio para reconexión neuronal.

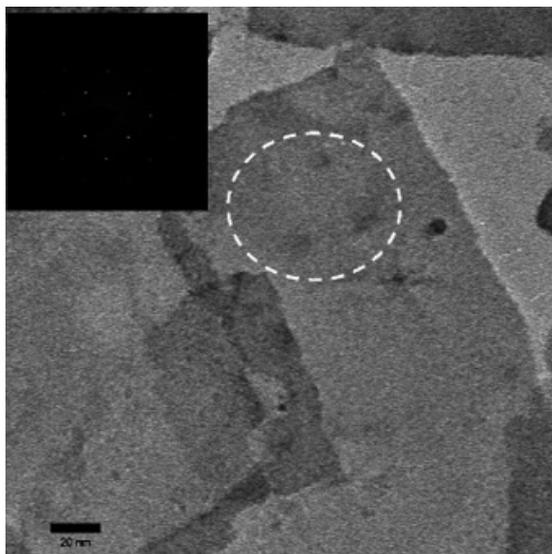
## Colaboraciones y proyectos

En el ININ se ha propiciado el trabajo en colaboración con colegas de diferentes instituciones, tanto nacionales como internacionales, lo cual ha permitido aglutinar grupos de trabajo interinstitucionales que realizan investigación científica de alta calidad en la síntesis y caracterización de nanomateriales con aplicaciones potenciales en diversas áreas de la ciencia y la tecnología.

## Colaboraciones nacionales

- Universidad Autónoma del Estado de México:
  - Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México y la Universidad Nacional Autónoma de México; Facultad de Medicina; Facultad de Ciencias; Facultad de Química.
- Universidad Nacional Autónoma de México:
  - Facultad de Química; Instituto de Investigaciones en Materiales; Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; Centro de Nanociencias y Nanotecnología; Instituto de Física; Facultad de Ingeniería; Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Campus-Querétaro.
- Centro Académico Multidisciplinario de la Universidad de Querétaro.
- Departamento de Física de la Universidad Autónoma Metropolitana.
  - Universidad Autónoma de Nuevo León.

**IMAGEN 2.** Nanohojas de bismuto obtenidas por ablación láser en líquido asistida ultrasónicamente.



- Instituto Mexicano del Petróleo.
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo:
  - Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.
  - Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales.
- Instituto Tecnológico de Toluca.
- Centro de Investigación en Mecatrónica Automotriz, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Toluca.
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Hospital Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social.
- Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.
- Instituto Nacional de Cancerología.

## Colaboraciones internacionales

- Universidad de Padua-Italia.
- Universidad de Missouri-USA.
- Centro Nacional para la Investigación Nuclear, POLATOM-Polonia.
- Universidad de Palermo-Argentina.
- Instituto de Óptica del Consejo Superior de Investigación Científica de Madrid, España.
- Universidad de Texas en San Antonio, USA.
- Laboratoire Plasma et Conversion d'Énergie, Toulouse, Francia.
- Centre d'Élaboration de Matériaux et d'Études Structurales, Toulouse, Francia.
- Faculty of Chemistry, Warsaw University, Polonia.

- Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports, Francia.
- Department of Electrical Engineering & Electronics, University of Liverpool.

## Proyectos CONACyT

Una fuente importante del financiamiento de la investigación desarrollada en el ININ en temas de nanociencia proviene de instituciones externas, principalmente de CONACyT; adicionalmente, es importante mencionar que un alto porcentaje de los investigadores que trabajan en esta área, pertenecen a la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología de CONACyT. A continuación, se listan algunos proyectos recientes.

- “Diseño y preparación de radiofármacos teragnósticos basados en sistemas hetero-bivalentes y -multivalentes de reconocimiento molecular específico.” (CB-242443).
- “Preparación de nanomateriales basados en  $TiO_2$  y  $V_2O_5$  utilizando configuraciones no-convencionales de ablación láser. (CB-240998).
- “Desarrollo de catalizadores a base de Cu y Ni soportado en  $ZrO_2$ - $CeO_2$  para la generación de hidrógeno mediante la reacción de reformado de metanol con vapor de agua en atmósfera oxidante”. (J-023959).
- “Estudio de los efectos de la radiación en la estructura y propiedades de nanomateriales: nanopartículas, nanoestructuras unidimensionales y nanocompositos”. (CB-169682).
- “Síntesis y caracterización de estructuras metálicas unidimensionales para la generación de nanocables”. (J-49603).
- “Desarrollo de un sistema dosimétrico a partir de  $ZrO_2$  y nanopartículas de cobalto”. (CB-04540).
- “Síntesis de nanoestructuras de carbono para su uso como catalizadores en el tratamiento de gases tóxicos”. (ICyT-DF-2007).
- “Síntesis de supercapacitores con nanotubos de carbono”. (CB- 245225).
- “Empleo de nanotubos de carbono para mejorar un sistema de plasma utilizado para tratar gases de efecto invernadero”. (CB- 234737).
- “Recubrimientos delgados de materiales transparentes con alta dureza”. (CB- 252972).
- “Modernización del Laboratorio de Difracción de Rayos-X del ININ”. (INFR-2015-01-251767).

## Proyecto OIEA

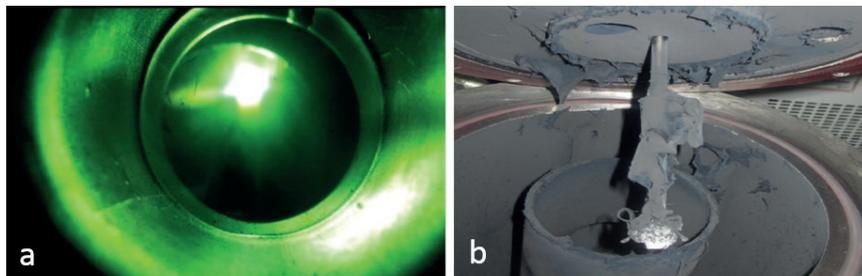
- “Nanosized delivery systems for radiopharmaceuticals: Nanosized radiolabeled polyamidoamine dendrimers for tumor imaging and targeted therapy”. (Contrato de Investigación No. 18358/Regular Budget Fund).

## Infraestructura

El ININ ha establecido laboratorios en los cuales se cuenta con técnicas y/o métodos de síntesis de nanomateriales, físicos y químicos, así como con diversos equipos, entre los que se tienen: molienda mecánica de alta energía, método de sol-gel, método de síntesis hidrotermal, método reducción química, reactor de arco corriente alterna y corriente directa, reactor de descarga luminiscente, sistema de descarga de microondas, reactor de plasma de radiofrecuencia inductivamente acoplado, sistema de depósito por ablación láser, sistema de depósito por pulverización catódica.

El ININ posee laboratorios y equipos destinados a la caracterización de nanomateriales tales como: tres microscopios electrónicos de barrido (SEM), un microscopio electrónico de transmisión (TEM); cada uno tiene acoplado un espectrómetro de dispersión de energía de rayos-X para análisis químico elemental (EDS). También se cuenta con un sistema para análisis elemental por microfluorescencia de rayos-X ( $\mu$ -EDXRF) y un sistema de retrodispersión de difracción de electrones (EBSD). Se tiene una cámara digital sCMOS para la adquisición de imágenes con resolución atómica y de patrones de difracción de área selecta (SAED), nanodifracción (NBD) y haz convergente (CBDE) en TEM. Un microscopio de sonda de barrido con capacidad para hacer microscopía de fuerza atómica y tunelamiento. Se cuenta con un difractómetro de rayos-X para polvos con óptica de Bragg-Brentano y un difractómetro de rayos-X de óptica múltiple, que permite realizar distintas técnicas de análisis cristalográfico como difracción de amplio rango, microdifracción ( $\mu$ -XRD), dispersión de rayos-X a bajo ángulo (SAXS), platina de calentamiento. Por otra parte, los equipos de preparación de muestras utilizados para microscopía electrónica son un ultramicrotomo, electropulidor Twin-Jet, equipos para recubrir la superficie con carbono y oro de muestras no conductoras. El ININ cuenta con equipos de caracterización por espectroscopías infrarroja, micro-Raman, UV-Vis con reflectancia difusa y fotoelectrónica de rayos-X (XPS). La caracterización de propiedades magnéticas se realiza con un espectrómetro Mössbauer, equipo de hipertermia,

**IMAGEN 3.** a) Síntesis de nanoestructuras de carbono por plasma; b) formación de nanoestructuras de carbono dentro del reactor.



**IMAGEN 4.** Infraestructura disponible en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Difracción de Rayos X.



magnetómetros. Equipos para determinar área superficial por método BET; analizadores de poros, analizadores termogravimétricos y calorímetros diferenciales de barrido. Se utiliza un cromatógrafo de gases acoplado a un equipo multitareas, un equipo de caracterización de catalizadores, un nanoindentador así como un perfilómetro. Se cuenta con aceleradores de iones pesados en que se tienen implementadas técnicas de caracterización como espectroscopía de retrodispersión de Rutherford (RBS), emisión de rayos-X inducido por partículas (PIXE), análisis por dispersión elástica hacia adelante (EFA), análisis por dispersión elástica de retrocesos (ERDA) y análisis por reacción nuclear (NRA).

Para el desarrollo de radiofármacos basados en nanosistemas utilizados en medicina nuclear se emplea un equipo de imagen preclínica para la obtención de imágenes moleculares ópticas *in vivo*, por luminiscencia; dos cromatógrafos de líquidos de alta eficiencia (HPLC). Un equipo analizador de distribución de tamaño de partícula, potencial Z y peso molecular por dispersión de luz dinámica y un espectrómetro gamma con detector de germanio hiper-

**IMAGEN 5.** Áreas de investigación, desarrollo y producción de radiofármacos en el ININ.



puro. Se utiliza software Spartan, Topas y libre. Un hecho importante de destacar es que en el ININ se cuenta con infraestructura única en el país para estudiar el comportamiento de los nanomateriales en condiciones especiales, por ejemplo, ante diferentes campos de radiación ionizante y no-ionizante. En este sentido, el instituto tiene aceleradores de electrones, de iones pesados, fuentes de radiación alfa, beta y gamma de diferente intensidad, así como el único reactor nuclear de investigación del país.

## Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En este rubro le han sido otorgadas al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares las siguientes patentes en México:

- “ $^{99m}\text{Tc}$ -EDDA/HYNIC-GGC-nanopartículas de oro-Manosa como un nuevo radiofármaco para la detección de ganglio centinela en cáncer de mama”. (No. Patente: 336321).
- “Reactor de plasma frío, de barrera dieléctrica con lecho de nanofibras de carbono y sistemas asociados para tratamiento de gases tóxicos en fuentes de emisión fijas y móviles”. (No. de Patente 213914/JUO/igm).

Tres patentes más se encuentran en trámite:

- “Nanopartículas de oro radiomarcada con  $^{99m}\text{Tc}$  conjugadas a péptidos c[RGDFK(C)] como un nuevo radiofármaco para la detección *in vivo* de angiogénesis (MX/a/2012/003633)”.
- “Nanopartículas de oro radiomarcadas con  $^{177}\text{Lu}$  y conjugadas a péptidos c(RGDFK)C como un nuevo radiofármaco para la terapia de tumores que sobre-expresan integrinas  $\alpha(v)\beta(3)$  (MX/a/2012/003632)”.
- “Juego de reactivos para la preparación de radiofármacos de blancos moleculares específicos basados en nanopartículas oro marcadas con  $^{99m}\text{Tc}$  (MX/a/2012/003635)”.

## Docencia y formación de recursos humanos

Respecto a la formación de recursos humanos, es importante señalar que el ININ no otorga grados académicos, sin embargo, asesora a estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado, en colaboración con académicos adscritos a las siguientes instituciones y programas académicos:

- Universidad Autónoma del Estado de México:
  - Facultad de Química: maestría y doctorado en ciencia de materiales; maestría y doctorado en ciencias químicas.
  - Facultad de Medicina: maestría en física médica, doctorado en ciencias de la salud.
- Universidad Nacional Autónoma de México:
  - Maestría y doctorado en ciencia e ingeniería de materiales.
- Universidad Autónoma de Querétaro:
  - Maestría en ciencias (nanotecnología).
- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla:
  - Doctorado en dispositivos semiconductores.
- Universidad Autónoma Metropolitana:
  - Maestría y doctorado en ciencias (física).
- Instituto Politécnico Nacional:
  - Maestría en ciencias fisicomatemáticas.

La formación de recursos humanos en NyN ha dado como resultado durante la última década la formación de un considerable número de estudiantes desde licenciatura hasta posdoctorado.

## Principales logros en NyN

El trabajo de investigación realizado en el ININ en los campos de NyN se puede resumir en los siguientes logros:

- En investigación teórica se han establecido metodologías para simular diferentes sistemas nanoestructurados geoméricamente estables utilizando métodos de mecánica clásica. Y, con métodos de mecánica cuántica, se han determinado las diferentes propiedades electrónicas de estas estructuras, tales como orbitales fronteras y energías de superficie.
- Se han desarrollado métodos para la producción en masa eficiente y rápida de nano- y micro-partículas de dióxido de titanio y de plata, soportadas en zeolitas mediante la aplicación de descargas eléctricas en agua, a presión y temperatura ambiente. Bajo el mismo principio de la aplicación de descargas eléctricas o plasmas, pero en atmósferas de diferentes gases se pueden obtener, diversos tipos de nanoestructuras de carbono (nanotubos, nanocápsulas) con reactores construidos en el ININ, o recubrimientos formados por nanocompuestos, en donde un cristal nanométrico se encuentra embebido en una matriz amorfa; como TiN, TiN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, AlN/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, para mejorar propiedades mecánicas, tribológicas y ópticas. Empleando plasmas, también se ha logrado sintetizar partículas poliméricas a partir de alilamina, furano, anilina, pirrol y tiofeno, como homopolímeros y como copolímeros en combinaciones de pirrol-etilenglicol y pirrol-alilamina.
- Implementación de arreglos experimentales no-convencionales en que se hacen interaccionar plasmas producidos por láser de manera simultánea a partir de materiales diferentes, así como configuraciones híbridas de ablación con evaporación térmica, lo que ha permitido preparar películas delgadas nanoestructuradas de materiales ternarios, composites y sistemas multicapa.
- Obtención de nanomateriales capaces de absorber luz visible para activarse como fotocatalizadores y emplearse en la degradación de compuestos orgánicos en solución, como fármacos o colorantes presentes en aguas residuales, utilizando luz solar.
- Preparación y caracterización de nanopartículas de Au, Ag y Bi por ablación láser en vacío y en medio líquido, logrando obtener nanopartículas y nanoestructuras novedosas con un buen control en el tamaño y forma y, por lo tanto, en sus propiedades físicas; preparación de nanoestructuras bidimensionales por ablación en medio líquido mediante un sistema asistido por ultrasonido.
- Preparación de películas delgadas bifuncionales para uso en celdas de combustible regenerativas y que pueden comportarse como celda de combustible al cambiar su polaridad, llevando a cabo la reacción de reducción de oxígeno de manera directa sin la presencia de agentes intermediarios de reacción.
- Obtención de nanomateriales soportados sobre compuestos porosos tales como zeolitas naturales y sintéticas para la remoción de contaminantes ambientales.

- Desarrollo de metodologías para el tratamiento de células cancerosas utilizando nanomateriales magnéticos en estudios de hipertermia.
- Aplicación de nanopartículas poliméricas obtenidas por plasma, en lesiones de médula espinal en ratas de laboratorio con resultados alentadores de reconexión neuronal.
- Síntesis de partículas organometálicas sobre películas del mismo material con aplicaciones en la remoción de contaminantes como cromo en aguas residuales, así como en aplicaciones optoelectrónicas como colectores solares.
- Investigación teórica y experimental en la formación y crecimiento de partículas de plata de tamaño nano y micro embebidas en una zeolita natural por medio de descargas de barrera dieléctrica pulsada, con el propósito de obtener sistemas de desinfección de agua.
- Nuevos reactores de plasma por arco eléctrico, de descarga dieléctrica para la síntesis de nanoestructuras.
- Autoensamblaje de nanopartículas de oro para la formación de superredes.
- Se estableció un protocolo para el diseño de nanopartículas funcionalizadas con péptidos obteniendo estos sistemas para su uso en diagnóstico de cáncer.
- Desarrollo de nanocatalizadores para la generación de hidrógeno a partir del reformado de alcoholes.
- En lo referente a infraestructura humana, se han conformado diferentes grupos de investigación en nanocatálisis y generación de fuentes alternas y almacenamiento de energía, limpieza de gases tóxicos. También se han conformado grupos con especialidad en la preparación de nanomateriales 0D, 1D, 2D y 3D, así como en su caracterización, a través de diferentes técnicas de microscopía electrónica, espectroscopías y difracción de rayos-X.

## Perspectivas sobre el estudio de la NyN

Los diferentes grupos de investigación que trabajan en las áreas de NyN del ININ consideran que las investigaciones, aplicaciones y logros son muy promisorias, ya que pueden contribuir al desarrollo tecnológico que México requiere. En este sentido, se plantean algunas de estas perspectivas.

- Empleo de sistemas multifuncionales de nanopartículas radiomarcadas que de forma simultánea puedan detectar y tratar enfermedades en combinación con otros fármacos, lo que puede convertirse, en la primera alternativa de uso en medicina nuclear molecular.
- Reducción de la contaminación ambiental mediante el desarrollo de nuevas fuentes integrales de energía limpia (hidrógeno) y de supercapacitores para solventar la problemática del déficit en el almacenamiento

de energía. Se plantea mejorar su utilización, para el tratamiento de gases de efecto invernadero, así como explorar aplicaciones en el área de fotocatalisis, para el tratamiento de aguas residuales. Lo anterior, para promover la cultura de desarrollo sustentable en materia de energía y ambiente.

- En relación con el crecimiento de nanomateriales utilizando configuraciones de depósito novedosas, se combinarán diferentes técnicas de depósito para preparar nanomateriales híbridos, en los cuales se tenga control de las fases presentes así como en las fracciones de las mismas, que permitan modular alguna(s) propiedad(es) de interés, a través del control en los tamaños, formas y fases de los mismos. Incursionar en otras áreas de aplicación, que pudieran servir como base de nuevas líneas de investigación, en particular, se plantea trabajar en la desactivación de radionúclidos utilizando ablación láser en medio líquido, combinándola con procesos de plasmónica.
- Es fundamental continuar con el diseño de materiales poliméricos particulados y en nano y micro fibras para aplicaciones en el sistema nervioso central.
- Se pretende establecer un método para la síntesis de nanopartículas con propiedades físicas y químicas específicas, mediante la técnica de descargas eléctricas en agua; así como sistematizar la obtención de películas de  $\text{TiO}_2$ , co-dopándolas con diferentes metales, a fin de optimizar sus propiedades foto-catalíticas mediante plasmas a baja presión.

Aunque el ININ cuenta con importante infraestructura física para la síntesis, caracterización y aplicación de los nanomateriales, es importante enriquecerla con equipos de última generación y por lo tanto de mayor sensibilidad; por ejemplo, microscopios electrónicos de emisión de campo, así como mantener un desarrollo propio de recursos humanos altamente especializados en NyN, siendo un sustento fundamental para alcanzar y superar los ciclos de investigación para insertarse en procesos productivos.

Considerando el número de instituciones que realizan investigación, infraestructura, número de publicaciones, convenios internacionales y cantidad de recursos humanos trabajando y formándose en el campo de la nanotecnología, México se encuentra en la segunda posición después de Brasil a nivel de América Latina. A pesar de este logro importante, en nuestro país no existe a la fecha una iniciativa nacional o un Plan Nacional de Nanotecnología que establezca objetivos en el mediano y largo plazo, que permita ubicar objetivos claros y que los esfuerzos en nanotecnología no estén dispersos ni aislados. En este sentido y desde 2001, el gobierno reconoce la nanotecnología como un área estratégica en sus políticas de ciencia y tecnología y ya existen considerables impulsos en el establecimiento de laboratorios nacionales como el Laboratorio Nacional de Nanotecnología en Chihuahua (Nanotech) y el Laboratorio Nacional en Nanociencia y Nanotecnología

(LINAN) en San Luis Potosí. Avanzando en esta dirección, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares forma parte de la Red Internacional de Nanociencia y Tecnología y de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología de CONACyT. El conjunto de proyectos que se han expuesto en este catálogo combina la ciencia de materiales, biotecnología, química y otras ramas de la ciencia, para alcanzar logros y aplicaciones novedosas que sirven de plataforma inicial para sustentar una economía basada en la gestión del conocimiento, en la cual México debe participar, atendiendo la Nueva Ley de Ciencia y Tecnología, que redunde en un crecimiento económico apoyado por el sector científico e instituciones gubernamentales asociadas con las empresas.

- ▶ 15-17 de febrero de 2017  
**nano tech 2017**  
*Tokyo Big Sight. Tokio, Japón*  
<<http://www.nanotechexpo.jp>>



## **nano tech 2017**

International Nanotechnology Exhibition & Conference

- ▶ 5-6 de marzo de 2017  
**ICNN 2017: 19<sup>th</sup> International Conference on Nanoscience and Nanotechnology**  
*Hotel NH Roma Villa Carpegna. Roma, Italia*  
<<https://www.waset.org/conference/2017/03/rome/ICNN>>



- ▶ 28-30 de junio de 2017  
**Nanotech France 2017**  
*París, Francia*  
<[www.nanotechfrance.com](http://www.nanotechfrance.com)>

The International Nanotech & NanoScience Conference and Exhibition

# **NANOTECH FRANCE 2017**

June 28 - 30, 2017 | Paris, France

*Nanotechnology for a better world*

[www.nanotechfrance.com](http://www.nanotechfrance.com)

- ▶ 5–7 de abril de 2017  
**4<sup>th</sup> World Congress and Expo on Nanotechnology and Materials Science**  
*Tryp Barcelona Apolo. Barcelona, España*  
<<http://www.worldnanoconference.com/>>



- ▶ 14–17 de mayo de 2017  
**Nanotech 2017. Conference & Expo**  
*Gaylord National Hotel & Convention Center*  
<<http://www.techconnectworld.com/Nanotech2017/>>

**NANOTECH 2017**  
**CONFERENCE & EXPO**

- ▶ 21–23 de junio de 2017  
**EuroNanoForum**  
*Mediterranean Conference Centre. Valletta, Malta*  
<<http://euronanoforum2017.eu/>>



**EuroNanoForum**  
2017

▶ 1-8 de julio de 2017

## **Nanotexnology 2017. International Conferences & Exhibition on Nanotechnologies – Organic Electronics & Nanomedicine**

*Porto Palace Conference Centre & Hotel. Thessaoniki, Grecia*

<<http://www.nanotexnology.com>>



▶ 20-25 de agosto de 2017

## **XXVI International Materials Research Congress – 2017**

*JW Marriott Cancun Resort & Spa y CasaMagna Marriott Cancún Resort.  
Cancún, México*

<<https://www.mrs-mexico.org.mx/congreso.html>>



▶ 27 de agosto–1 de septiembre de 2017

## **18<sup>th</sup> International Conference on Luminescence**

*Peota Ronaldo Cunha Lima Convention Center. João Pessoa, Paraíba, Brasil*

<<https://icl2017br.com/>>



► 13–14 de noviembre de 2017

## 22<sup>nd</sup> International Conference and Expo on Nanoscience and Molecular Nanotechnology

*Flemings Hotel Wien-Westbahnhof. Viena, Austria*

<http://nanotechnology.conferenceseries.com/>

22<sup>nd</sup> International Conference and Expo on  
Nanoscience and Molecular  
Nanotechnology



# INSTRUCTIVO PARA AUTORES

*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* invita a enviar colaboraciones para su siguiente número. Éstas deben tener el objetivo de diseminar los avances y resultados del quehacer científico y humanístico en las áreas de la nanociencia y la nanotecnología por medio de artículos de divulgación escritos en español. Esta publicación está dirigida tanto a profesionistas como a estudiantes interesados en aumentar sus conocimientos sobre la nanociencia y la nanotecnología.

## Aplicación de criterios éticos

Esta publicación se adhiere a la declaración y normas del Committee on Publication Ethics (COPE).

## Revisión de pares

Los artículos son sometidos a revisión por especialistas en el tema, en la modalidad de doble ciego.

La revista está organizada en las siguientes secciones:

## Cartas de los lectores

Cartas con sugerencias, comentarios o críticas sobre artículos aparecidos en números anteriores de la revista.

## Noticias

Notas breves que expliquen descubrimientos científicos, actos académicos, reconocimientos importantes otorgados.

## Artículos

Artículos de divulgación sobre aspectos científicos y tecnológicos, políticoeconómicos, éticos, sociales y ambientales de la nanociencia y la nanotecnología. Deben plantear aspectos actuales y brindar la información necesaria para que un lector no especializado en el tema lo pueda entender. Se deberá hacer hincapié en las contribuciones de los autores y mantener una alta calidad de contenido y análisis. (Deberán iniciar con el resumen y palabras clave en español seguidos del respectivo *abstract* y *keywords* en inglés).

## Reseñas de libros

Reseñas sobre libros publicados recientemente en el área de nanociencia y nanotecnología.

## Imágenes

Se publicarán las mejores fotos o ilustraciones en nanociencia y nanotecnología, las cuales serán escogidas por el comité editorial.

## MECANISMO EDITORIAL

I. Toda contribución deberá ser original (no haber sido remitida para su publicación en otra revista) y será sometida a arbitraje por expertos en la materia externos a las entidades editoras. Los criterios que se aplicarán para decidir sobre la publicación del manuscrito serán la calidad científica del trabajo, la precisión de la información, el interés general del tema y el lenguaje claro y comprensible utilizado en la redacción. Los trabajos aceptados serán revisados por un editor de estilo. La versión final del artículo deberá ser aprobada por el autor, sólo en caso de haber cambios sustanciales.

Para enviar sus artículos, los autores deberán darse de alta en el sistema en línea (Open Journal Systems, OJS) de la revista: <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/login>>, y en esta plataforma subir el texto, resumen, palabras clave y figuras. Para contactar a los editores en relación con otras cuestiones, escriba a: (mundonanounam@gmail.com).

## II. Los manuscritos cumplirán con los siguientes lineamientos:

- a) Estar escritos en Microsoft Word, en página tamaño carta, y tipografía Times New Roman en 12 puntos, a espacio y medio. Tamaño máximo de las contribuciones: noticias, una página; cartas de los lectores, dos páginas; reseñas de libros, tres páginas; artículos completos, quince páginas.
- b) En la primera página deberá aparecer el título del artículo; el nombre del autor o autores; el de sus instituciones de adscripción con las direcciones postales y electrónicas de cada uno de ellos, así como los números telefónicos.
- c) Enviar un breve anexo que contenga: resumen del artículo y palabras clave (con las correspondientes traducciones al inglés tanto del resumen como de las palabras clave), importancia de su divulgación y un resumen curricular de cada autor que incluya: nombre, grado académico o experiencia profesional, número de publicaciones, distinciones y proyectos más relevantes.
- d) Las referencias, destinadas a ampliar la información que se proporciona al lector deberán ser citadas en el texto. Las fichas bibliográficas correspondientes serán agrupadas al final del artículo, en orden alfabético. Ejemplos:
  1. Artículos en revistas (no se abrevien los títulos ni de los artículos ni de las revistas):  
N. Takeuchi, N. (1998). Cálculos de primeros principios: un método alternativo para el estudio de materiales. *Ciencia y Desarrollo*, vol. 26, núm. 142, 18.
  2. Libros:  
Delgado, G. C. (2008). *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CBIICH, UNAM. México.
  3. Internet:  
NobelPrice.org. (2007). The Nobel Prize in Physics 1986. En: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1986/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html)>.
  4. En el cuerpo del texto, las referencias deberán ir como en el siguiente ejemplo:  
“...y a los lenguajes comunes propuestos (Amozurrutia, 2008a) como la epistemología...”  
Si son varios autores, la referencia en el cuerpo del texto irá:  
(García-Sánchez *et al.*, 2005; Smith, 2000).

## PRIMERO EN LÍNEA

Los artículos que no puedan ser incluidos en el número inmediato a la fecha de aceptación serán publicados en la sección “Primero en línea” e integrados posteriormente a un volumen y número específicos de la revista.



COORDINACIÓN  
DE HUMANIDADES



**CCADET**  
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO

