



Revista
Interdisciplinaria
en Nanociencias
y Nanotecnología

Universidad Nacional Autónoma de México

ISSN 24485691

Vol. 9, No. 16, enero-junio, 2016

Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en **nanociencias y nanotecnología** Parte 1

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



REVISTA INTERDISCIPLINARIA EN

Nanociencias y Nanotecnología

Vol. 9, No. 16, enero-junio, 2016

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 • Dr. Rodolfo Zanella Specia • rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx
Oscar Edel Contreras López • edel@cnyun.unam.mx

Editor Asociado

M. en C. Mario Rogelio López Torres • mrlt@unam.mx

COMITÉ EDITORIAL

Física (teoría)

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

Física (experimental)

Dr. Isaac Hernández Calderón
• Isaac.Hernandez@fs.cinvestav.mx
Departamento de Física, Cinvestav. México

Ingeniería

Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro
• SALcocerM@iingen.unam.mx
Instituto de Ingeniería, UNAM. México

Microscopía

Dr. Miguel José Yacamán
• miguel.yacamán@utsa.edu
Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Texas en Austin. Estados Unidos

Catálisis

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

Materiales

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

Ciencia, tecnología y género

Dra. Norma Blazquez Graf
• blazquez@unam.mx
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México

Filosofía de la ciencia

Dr. León Olivé Morett
• olive@unam.mx
Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM. México

Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia
• amoz@labcomplex.net
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. México
Dr. Ricardo Mansilla Corona
• 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
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
Instituto de Ecología, UNAM. México
Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar
• omararellano@ciencias.unam.mx
Facultad de Ciencias, UNAM. México

Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow
• 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
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Brasil
Mtra. Kamilla Kjolberg
• 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
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, No. 16, enero-junio 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, México, D. F., <http://www.mundonano.unam.mx>, 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: 15 de agosto 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. 16, enero-junio, 2016

4 EDITORIAL

PRESENTACIÓN

- 5 Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología - Parte 1
Rodolfo Zanella Specia, Gian C. Delgado Ramos y Óscar E. Contreras López (coordinadores)

CATÁLOGO NACIONAL

- 7 División de Ciencias Básicas e Ingeniería-UAM Azcapotzalco
Miguel Torres Rodríguez
- 16 Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM
Rodolfo Zanella
- 30 Centro de Nanociencias y Nanotecnología-UNAM
Irene Barberena Rojas, Oscar Edel Contreras López y Leonardo Morales de la Garza
- 49 Facultad de Ciencias-UNAM
Reyna Caballero, Carlos Quintanar y Elisa T. Hernández
- 57 Instituto de Física-UNAM
Mercedes Rodríguez Villafuerte
- 77 Instituto de Investigaciones en Materiales-UNAM
Rocío G. de la Torre Sánchez
- 96 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM
Alma Vázquez Durán y Fernando Alba Hurtado
- 106 Universidad de las Américas Puebla
Miguel A. Méndez-Rojas
- 115 Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C.
Sergio Alonso Romero
- 128 Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Ernestina Castro-Longoria
- 136 Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
Jesús González Hernández
- 148 Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.
Liliana Medina Portillo
- 157 Laboratorio Nacional de Nanotecnología-CIMAV
Francisco Espinosa Magaña
- 168 Centro Nacional de Metrología
Víctor José Lizardi Nieto y Norma González Rojano
- 179 **EVENTOS**
- 182 **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 *Mundo Nano* presenta el *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 las Coordinaciones de la Investigación Científica y la de Humanidades, ambas de la UNAM. La finalidad y características del Catálogo se detallan en la Presentación de este número.

El CEIICH no figura en el Catálogo en tanto no es una entidad avocada a la investigación y desarrollo de las nanociencias y nanotecnología (NyN); no es el caso del CCADET y el CNyN. La participación del CEIICH responde 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 NyN. El esfuerzo del Centro en este sentido data desde la fundación de esta revista en 2008 y en la celebración de NanoMex, uno de los eventos internacionales de carácter interdisciplinario más relevantes en el país y llevado a cabo con una periodicidad anual desde 2008 hasta 2014.

Nos complace anunciar que a partir de este año inauguramos, en la versión digital de la revista, la sección “Primero en línea”, en la cual se publicarán los trabajos recibidos y dictaminados satisfactoriamente, con el propósito de darlos a conocer primero sin que los autores tengan que esperar la publicación del volumen y número correspondiente.



Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología - Parte 1

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

El *Catálogo nacional de instituciones de investigación con actividades en nanociencias y nanotecnología* es una iniciativa de nanoUNAM, un consorcio académico de la UNAM integrado desde 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). nanoUNAM está interesado desde sus orígenes 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.

Considerando lo antes dicho, el presente Catálogo se perfila como un aporte clave para dilucidar el estado del arte de la NyN en México, en este caso en las instituciones de investigación con actividades en NyN. Se trata de un esfuerzo renovado, que busca avanzar de cara a otros ejercicios previos como el *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México* (CIMAV-FUNTEC/SE. México, 2008). Por ello, 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 que puede ser pieza clave para potenciar sinergias entre las instituciones que conforman este Catálogo y de éstas con otras instituciones extranjeras. Al mismo tiempo, se pretende que sea referente de información y diagnóstico para tomadores de decisiones, inversionistas públicos y privados, y público en general.

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



Está dividido en tres partes. El presente número de *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* hace entrega del primer grupo de entidades. Una segunda parte se publicará en el próximo número de esta revista, y, finalmente, las entidades remanentes se integrarán en la edición acabada, es decir, propiamente en el mencionado Catálogo, mismo que contará con un análisis integral de país tanto cuantitativo y cualitativo, como gráfico. Se publicará en 2017.

La figura 1 muestra en orden estrictamente alfabético las instituciones que en esta primera parte se presentan, 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 “nanoproductos” en el país.



División de Ciencias Básicas e Ingeniería - UAM Azcapotzalco

Miguel Torres Rodríguez*

RESUMEN: En el presente documento, se describen los trabajos y las áreas en Nanociencia y Nanotecnología (NyN) que se desarrollan en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco (CBI-UAM-A), se presentan los antecedentes, las líneas de investigación, los proyectos institucionales y financiados por CONACyT y PRODEP, el número de profesores investigadores, las carreras que se imparten, así como, su relación con los temas de NyN, además se describe brevemente la infraestructura y se abordan las perspectivas a futuro.

PALABRAS CLAVE: nanociencia, nanotecnología, nanopartículas, nanoestructuras, nanocatalizadores.

ABSTRACT: The following panorama presents the research projects and areas in Nanoscience and Nanotechnology (N&N) that are currently developed in the División de Ciencias Básicas e Ingeniería at Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco (CBI-UAM-A) campus, that comprise the research lines and institutional projects financed by CONACyT and PRODEP, the number of research-professors, the programs, and their relationship items with N&N; also, it briefly describes the infrastructure and addresses the perspective to the future.

KEYWORDS: nanoscience, nanotechnology, nanoparticles, nanostructures.

Introducción

La División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco (CBI-UAM-A), está ubicada en la zona norte de la Ciudad de México. La División está integrada por 5 departamentos académicos, formados por 27 áreas de investigación y 13 cuerpos académicos. Cuenta con 368 profesores-investigadores de tiempo completo, 47 de los cuales realizan trabajos de investigación básica, aplicada o desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con la NyN, los departamentos y sus áreas de investigación que desarrollan trabajos en estas disciplinas son: Departamento de Ciencias Básicas, áreas de: física atómica molecular aplicada; física de procesos irreversibles; física teórica y materia condensada; química; química aplicada; química de materiales; química y fisicoquímica ambiental. Departamento de Electrónica, áreas de: control de procesos e instrumentación.

Recibido: 4 de abril de 2016. Aceptado: 26 de abril de 2016.

* Jefe del Área de Química Aplicada-Universidad Autónoma Metropolitana. Av. San Pablo 180, C.P 02200, Col. Reynosa Tamaulipas, Del. Azcapotzalco, Ciudad de México.



Departamento de Energía, áreas de: ingeniería energética y electromecánica; procesos de la industria química; tecnologías sustentables. Departamento de Materiales, área de: ciencia de los materiales, e ingeniería de materiales.

Existen antecedentes de trabajo en temas relacionados con la nanociencia desde 1990 en proyectos relacionados con la síntesis de catalizadores, películas, recubrimientos y sus aplicaciones en la refinación del petróleo y en la protección ambiental, se puede mencionar que uno de los antecedentes de formalización a partir 1998 es el registro y alta el cuerpo académico, Nanotecnología y Calidad Ambiental ante PRODEP y proyectos de investigación en catálisis, desarrollo de nuevos materiales, producción de hidrógeno en reactores de membrana y protección ambiental con apoyo y financiamiento de la división de CBI-UAM-A y del CONACyT, en estos trabajos están incluidos el desarrollo de tesis de licenciatura, maestría y doctorado en NyN. Los proyectos de investigación en NyN se encuentran enmarcados en las líneas de investigación divisionales vigentes.

Líneas de investigación e innovación

Las líneas de investigación divisionales relacionadas con NyN que se estudian en la división de CBI-UAM-A son: problemática del medio ambiente; desarrollo y caracterización de materiales; investigaciones teóricas y experimentales. La mayoría de los proyectos de investigación que se desarrollan cuentan con una componente multidisciplinaria y se articulan de forma transversal a varias líneas de investigación:

- Nanomateriales para aplicaciones ambientales.
- Nanomateriales para aplicaciones energéticas.
- Nanomateriales para aplicaciones en electrónica.
- Nanomateriales para aplicaciones en medicina.

Colaboración y proyectos

Desde su fundación, la Universidad Autónoma Metropolitana y en particular la División de CBI-UAM-A se han mantenido abiertas a la colaboración con académicos, Instituciones de Educación Superior (IES) y Centros de Investigación (CI) que cultivan temas de interés común, esta actitud de vinculación se mantiene hasta nuestros días y actualmente se tienen colaboraciones de investigación y desarrollo tecnológico en el área de NyN, con diferente grado de formalidad, con las unidades hermanas de la UAM: Iztapalapa, Xochimilco, Cuajimalpa y Lerma, así como CI y IES nacionales dentro de los que podemos citar: Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, el CINVESTAV Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma de Campeche, la Universidad Autónoma del Estado de

Morelos, CIMAV Chihuahua y CINVESTAV-Mérida, por mencionar algunas.

A nivel internacional se cuenta con colaboraciones en España con: la Universidad Complutense en Madrid, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica en Madrid, el Instituto de Nanociencia de Aragón en Zaragoza, la Universidad Politécnica de Valencia. En Francia con el Institut de Recherches sur la Catalyse et l'environnement de Lyon. En Estados Unidos con la Universidad de San Antonio Texas. En Brasil con la Universidade Federal do Rio Grande do Norte. En Argentina la con Universidad del Litoral, en Santa Fe. En Uruguay con la Universidad de la República del Uruguay. En Venezuela con la Universidad Simón Bolívar en Caracas, entre otras.

Los proyectos de investigación registrados y aprobados por el Consejo Divisional de Ciencias Básicas e Ingeniería relacionados con NyN son:

- Estructura electrónica de materiales catalíticos.
- Estudio de materiales mediante microscopia de fuerza atómica y tunelamiento.
- Síntesis de materiales sólidos híbridos y su evaluación catalítica en reacciones de obtención de compuestos orgánicos con actividad biológica y/o inhibidores de la corrosión de aceros.
- Síntesis y caracterización de polioxometalatos.
- Procesos biotecnológicos y bionanotecnológicos de interés ambiental.
- Metales particulados.
- Materiales híbridos mesoestructurados en reacciones de alto valor agregado.
- Síntesis de nano-partículas Pd-Cu y Pd-Co para sus aplicaciones en energía y protección ambiental.
- Determinación, modelación y control de carbón negro y otras especies provenientes de fuentes de combustión de biomasa y de diésel.
- Diseño de materiales poros y evaluación de sus propiedades catalíticas y adsorbentes.
- Síntesis, modificación y aplicación de materiales sólidos porosos a fenómenos de sorción y catálisis.
- Síntesis y caracterización de óxidos funcionales obtenidos como películas con propiedades opto-eléctricas eléctricas o superconductoras.
- Influencia del tamaño de partículas y porcentaje en peso en las propiedades mecánicas y químicas de materiales compuestos (PLA/Quitina) y (PLA/Quitosan).
- Estudio y caracterización superficial de materiales micro y nanoestructurados con aplicaciones en ingeniería.
- Reactividad de nanopartículas metálicas para la oxidación de moléculas orgánicas en celdas de combustible de alcohol directo.
- Métodos electroquímicos y analíticos para el desarrollo de nuevos materiales.

- Nanotecnología y materiales para la conversión de energía en dispositivos electroquímicos.
- Desarrollo de catalizadores para producir niacinamida a partir de glicerina
- Eliminación de los precursores de contaminantes en combustibles fósiles empleando nanocatalizadores de metales nobles reducidos.

Como resultado del trabajo de investigación relacionado con el área de NyN en los dos últimos años, se han publicado alrededor de 40 artículos con estricto arbitraje en revistas internacionales y se han concluido 15 tesis de posgrado.

La división de CBI, también cuenta con proyectos de investigación financiados por CONACyT y el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP).

CONACyT

- Reducción de NO_x y oxidación de CO por cúmulos bimetálicos pequeños Au-M (M=Ag, Ni, Pt, Pd, Rh) aislados y soportados en óxidos metálicos: estudio teórico *ab initio*.
- Propiedades redox, carbono negro y otras especies orgánicas en partículas atmosféricas provenientes de la quema de la caña de azúcar.
- Hidrotalcitas MCM-41 y zirconia sulfatada funcionalizados como catalizadores híbridos en la síntesis de aminoalcoholes esteroidales azanucleosidos y 2-mercaptobenzoimidazoles.
- Fortalecimiento del área de química de materiales en la síntesis y caracterización de nanotubos de carbono (NTCs) sintetizados a partir de materiales metal-orgánicos (MOFs).

PRODEP. Cuerpos académicos y redes.

- Catálisis Ambiental.
- Red Nacional de Investigaciones en Química Analítica y Electroquímica, (Red NIQAE).

Infraestructura

La división de CBI-UAM-A cuenta con laboratorios de investigación ubicados en diversos edificios del campus universitario. Una parte importante de ellos se encuentran ubicados en los Edificios W(a) y W(b), G y G^{bis}, los laboratorios que se hallan en este espacio son:

- Laboratorio Interdisciplinario de Electroquímica e Ingeniería de los Materiales (LIEIM)
- Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Materiales
- Laboratorio de Química Atmosférica.

- Laboratorio de Microbiología.
- Laboratorio de Química de Materiales.
- Laboratorio de Sensores y Señales.
- Laboratorio de Evaluación Catalítica.
- Laboratorio de Fisicoquímica Molecular.

En la figura 1, se muestra una fotografía del edificio W(a) que cuenta con una superficie útil aproximada de 650 m²; en la figura 2, se presenta una fotografía del edificio G bis; en la figura 3, se muestra la fotografía de un cromatógrafo de gases con detector de masas; en la figura 4 se presenta un equipo de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier; en la figura 5 un equipo de espectroscopía de plasma ICP; en la figura 6 se muestra la fotografía del microscopio electrónico de barrido de alta resolución, marca Carl Zeiss de uso Divisional; figura 7, fotografía del Raman (Renishaw) de última generación con tres láser (488, 532 y 765 nm) y una celda Linkman en la cual se pueden realizar estudios a diferentes temperaturas y con un flujo continuo de gases (N₂, H₂, CO₂, aire, etc.).

FIGURA 1. Edificio W que cuenta con una superficie de 650 m².



FIGURA 2. Edificio G-bis.



FIGURA 3. Cromatógrafo de gases con detector de masas.



FIGURA 4. Espectrómetro de infrarrojo FTIR.

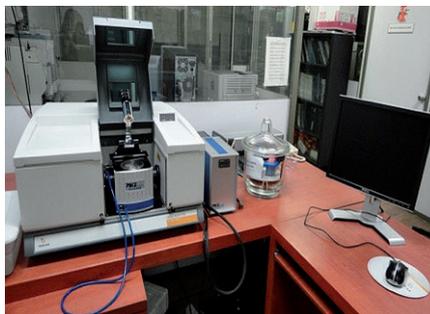


FIGURA 5. Cromatógrafo de gases con detector de masas.



FIGURA 6. Microscopio electrónico de barrido Supra 55VP.



FIGURA 7. Raman (Renishaw) de última generación con sus accesorios.

De la figura 3 a la 7 se presentan varios de los equipos e instrumentos con que se desarrollan los trabajos de investigación en NyN.

Los laboratorios albergan un número importante de equipo dedicado a la síntesis, caracterización y evaluación de NyN. Los laboratorios de síntesis se encuentran dotados con campanas de extracción, placas de agitación y calentamiento, mantas de calentamiento, equipos de ultrasonido, rotavapores, hornos de calcinación, estufas para secado a presión atmosférica y en vacío, sistemas para tratamiento térmico de materiales con atmósferas inertes, reductoras y oxidantes, sondas de ultrasonido de alta potencia para procesos de sonoquímica, diversas líneas de gases, N_2 , H_2 , CO_2 , NH_3 , aire, Ar, He, et cétera.

En los diversos laboratorios de caracterización se encuentra, los siguientes equipos: espectrómetro Raman de última generación, cromatógrafos de gases con detectores de conductividad térmica, ionización de flama, detector de masas, cromatógrafo de líquidos, espectroscopía UV-VIS con diversos accesorios, espectroscopías infrarroja con cámara de reacción y ATR, equipo de termodesorción programada de amoníaco, termo-reducción, termo-oxidación, equipo para la determinación de área superficial BET, potencióstato/galvanostato, analizador de carbono total, además se cuenta con

acceso al laboratorio divisional de caracterización que cuenta con un microscopio electrónico de barrido de alta resolución, un difractómetro de rayos X y un equipo de resonancia magnética de líquidos de 400 Mhz.

Los laboratorios de evaluación cuentan con sistemas de microrreacción, diversos tipos de reactores de vidrio, cuarzo y acero inoxidable, reactores por lotes, de lecho fijo acoplados en línea a cromatógrafos de gases con diversos detectores, celdas electroquímicas, microscopio electroquímico.

Docencia

La docencia es una de las actividades sustantivas de la Universidad y la División de CBI cuenta con 10 licenciaturas en ingeniería: ambiental, civil, eléctrica, electrónica, física, computación, química, industrial, mecánica y metalúrgica, todas certificadas ante el Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI), muchas de las Unidades de Enseñanza Aprendizaje (UEA's) básicas y optativas que forman parte del plan de estudios de las diferentes licenciaturas en ingeniería cubren temas relacionados con NyN en los diferentes niveles de formación.

La división de CBI ofrece estudios de posgrado para formar recursos humanos de alto nivel, a nivel de maestrías se oferta: maestría en ciencias e ingeniería con dos líneas: ambiental o materiales; maestría en ingeniería estructural; maestría en ciencias e ingeniería de la computación; maestría en ciencias e ingeniería de optimización; maestría en ingeniería de procesos. A nivel doctorado se oferta los doctorados en: ciencias e ingeniería (ambientales y materiales); ingeniería estructural; Optimización, y, en ingeniería de procesos; seis de estos programas cuentan con reconocimiento en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

Cabe destacar que muchos de las actividades realizadas por los profesores-investigadores de la División de CBI son: impartir (UEA's), dirección de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, participación en comités de posgrado, participación en tutorías, participación como miembros de jurados de examen y participación en la dirección de servicio social.

De igual forma, un número importante de tesis de posgrado se realiza en colaboración con colegas de otras instituciones nacionales o internacionales, ejemplo: Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Instituto Politécnico Nacional (IPN), UAM-Iztapalapa (UAM-I), Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), Universidad Autónoma de Campeche (UACAM), Instituto Tecnológico de Madero (ITM), Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, (ICP) Madrid, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte (UFRN), Brasil.

Participación en redes

Los miembros de la División de CBI se han integrado junto con la comunidad científica nacional a los programas de redes temáticas promovidas por CONACyT (Red Temática de Nanociencia), y PROMEP (Red Temática: Catálisis Ambiental, Nacional de Investigaciones en Química Analítica y Electroquímica).

Perspectivas

Los métodos de síntesis, caracterización y evaluación de nanopartículas, películas estructuradas y recubrimientos *in situ* y *ex situ*, han avanzado enormemente en los últimos años. Además, existen estudios relevantes que muestran el fuerte y positivo impacto de los resultados de investigación y desarrollo tecnológico en NyN en varios sectores estratégicos, como son: la salud, agricultura, electrónica, energía, y medio ambiente, entre otros. Esto ha sido posible al sintetizarse materiales y procesos más eficientes energéticamente y con un mejor control del tamaño y forma de las partículas, películas y recubrimientos. A pesar de estos extraordinarios avances hay un número importante de retos por resolver, por lo cual se prevé que en los próximos años los resultados de las nuevas tecnologías de NyN, beneficien muchos sectores estratégicos para el desarrollo y tengan un mayor crecimiento de aplicación para coadyuvar un crecimiento sostenible en los siguientes sectores: protección ambiental, energético, medicina y farmacia, aeroespacial, transporte, construcción, textil, cerámicos y envases. Hablar de NyN tiene una componente importante de creatividad e innovación, por lo que se espera que los profesores-investigadores de la división de CBI continuarán trabajando en los siguientes retos:

Crear y mejorar la metodología de síntesis de nanomateriales con tecnología de síntesis verde, reproducibles y de bajo costo. Estudio de la estructura electrónica de nanopartículas, cúmulos, clúster, su interacción con diferentes soportes, así como cálculos de la energética de reacciones químicas.

Desarrollo de nuevos materiales con tecnología de NyN para la creación de nuevos sensores, materiales médicos, materiales encapsulados, remediación de suelos, síntesis de productos químicos con tecnología verde y menores costos energéticos, nuevas nanoestructuras catalíticas para el aprovechamiento del CO₂, biomasa, producción y almacenamiento de hidrógeno, tratamiento de agua residual, purificación de agua, nanoelectrónica, textiles inteligentes y celdas de combustible.

Por último, es importante mencionar que, si bien existen avances importantes en los trabajos de NyN en la (CBI-UAM-A), es necesario seguir fortaleciendo la vinculación con los diferentes sectores productivos, locales, regionales, nacionales y centros de investigación para transferir tecnología en NyN, así como, impulsar proyectos de innovación en sectores estratégicos

como el de la salud, energía, nuevos materiales, protección ambiental, etc. Igualmente importante es ampliar el número de UEA's relacionadas con NyN en los planes y programas de estudio de las diferentes ingenierías.

Sitios web de la Universidad Autónoma Metropolitana

- <www.azc.uam.mx>.
- <www.cbi.azc.uam.mx>.

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM*

Rodolfo Zanella**

RESUMEN: En esta contribución se describen las actividades de investigación y desarrollo tecnológico que se realizan en áreas relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN) en el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se presenta una breve reseña histórica desde 1995, año en que se inició el desarrollo de las NyN en el Centro. Se describen las líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con las NyN en el CCADET, así como el número de académicos involucrados en dichas líneas de trabajo. Se reportan las colaboraciones y proyectos que se llevan a cabo en el área, la infraestructura y los laboratorios disponibles para realizar actividades de investigación, desarrollo e innovación en el área de las NyN, los instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados, así como las actividades de docencia y formación de recursos humanos que se realizan en colaboración con varios programas de posgrado de la UNAM pertenecientes al PNPC-CONACyT y con varias facultades de la Universidad. Finalmente, se describen los principales logros que han alcanzado los académicos del CCADET en el área de NyN además de las áreas de oportunidad y perspectivas de crecimiento que estos vislumbran en el corto y mediano plazo.

PALABRAS CLAVE: CCADET, líneas de investigación, proyectos de investigación, nanocatálisis, nanomateriales, nanotubos de carbono.

ABSTRACT: In this contribution the research and technological development activities in nanoscience and nanotechnology (N&N) performed at the Center for Applied Sciences and Technological Development (Spanish acronym: CCADET) of the National Autonomous University of Mexico are described. A brief historical review since 1995, when the development of N&N began at the Center, is presented. The lines of research, development and innovation on N&N at CCADET and the number of academic staff members working on these lines are described. Collaborations and projects undertaken in the area, as well as the infrastructure and laboratories available for research, development and innovation activities, are reported. Patents requested and granted, together with teaching and human resource training activities implemented in collaboration with several graduate programs recognized by PNPC-CONACyT and schools of the University, are also reviewed. Finally, the main achievements of the researchers of CCADET in N&N and the areas of opportunity and growth prospects in this field expected to arise at the Center in the short and medium term are described.

Recibido: 1 de marzo de 2016. Aceptado: 29 de abril de 2016.

* Se agradece afectuosamente a los doctores José M. Saniger Blesa, Mayo Villagrán Muniz, Elena Golovataya, América Vázquez Olmo, Ma. del Rocío Redón de la Fuente, Elsi V. Mejía Uriarte y Roberto Y. Sato Berru por la valiosa información proporcionada para la elaboración de este documento. Se agradece también al Sr. Francisco Cabiedes y a la Lic. Nora Reyes por las imágenes proporcionadas para ilustrar este trabajo.

** Director del CCADET. Circuito Exterior S/N, Ciudad Universitaria, A. P. 70-186, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México D. F. México. Correspondencia: (rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx), Tel. +52 (55) 5622 8601.

FIGURA 1. Entrada al edificio principal y del edificio de Laboratorios Universitarios del CCADET.

KEYWORDS: CCADET, lines of research, research projects, nanocatalysis, nanomaterials, carbon nanotubes

El Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) forma parte del Subsistema de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), teniendo como antecedente histórico al Centro de Instrumentos (CI). En 2002, el CI cambió su denominación a Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, teniendo como misión realizar investigación, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, difusión y divulgación en los campos de instrumentación, micro y nanotecnologías, tecnologías de la información y educación en ciencia y tecnología, con un enfoque multidisciplinario, integrando las actividades de investigación y desarrollo tecnológico.

El CCADET cuenta actualmente con 111 académicos, de los cuales 20 realizan investigación o desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN). De ellos 12 son investigadores y el resto son técnicos académicos. Los académicos que realizan investigación NyN pertenecen principalmente a los grupos de materiales y nanotecnología, fotofísica y películas delgadas, así como a los Laboratorios Universitarios de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y de Caracterización Espectroscópica (LUCE), todos ellos pertenecientes al departamento de Tecnociencias, aunque hay integrantes de otros grupos de trabajo, principalmente del Departamento de Óptica y Microondas que también realizan investigación en dichas áreas.

Hacia 1995 se iniciaron los trabajos en el área de NyN en el entonces Laboratorio de Materiales y Sensores. Las líneas de investigación que se cultivaron inicialmente fueron la modificación por fluoración directa de zeolitas sintéticas, la síntesis de plantillas nanoestructuradas de alúmina porosa junto con el crecimiento de nanotubos de carbono y nanolambres metálicos en dichas plantillas; posteriormente a finales de la década de 1990 se comenzó una nueva línea de estudio sobre la obtención y estudio de óxidos de

metales de transición nanoestructurados y semiconductores magnéticos con aplicaciones en espintrónica. Más adelante durante los primeros años de la primera década del siglo XXI, se incorporaron al Laboratorio de Materiales y Sensores varios posdoctorantes, que fueron contratados posteriormente como investigadores, y se iniciaron nuevas líneas de trabajo: el estudio de nanomateriales de carbono, la síntesis y aplicación de nanocatalizadores heterogéneos, la síntesis y caracterización de dendrímeros y la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas en sustratos nanoestructurados (SERS). Casi al mismo tiempo otros laboratorios comenzaron el estudio del autoensamble de nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes conductoras y aislantes y el desarrollo de técnicas litográficas para soporte de nanoestructuras. En el año 2007, el Laboratorio de Materiales y Sensores se transformó en el Grupo de Materiales y Nanotecnología; hacia el año 2009 el grupo de Fotofísica y Películas Delgadas comenzó el estudio de la síntesis de nanoestructuras por ablación láser en líquido (plasma confinado) y también de sustratos nanoestructurados por irradiación de pulsos láser de alta potencia; y entre el año 2012 y 2013 se crearon los Laboratorios Universitarios de Caracterización Espectroscópica (LUCE) y de Nanotecnología Ambiental (LUNA), ambos con líneas de investigación y de desarrollo con un fuerte enfoque hacia el estudio de materiales nanoestructurados.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

Las líneas de investigación en NyN que se cultivan en el CCADET son diversas y se pueden agrupar en tres grandes rubros:

1. Síntesis:
 - Síntesis de óxidos metálicos nanométricos puros, dopados y mixtos;
 - Depósito de nanopartículas metálicas y bimetálicas sobre óxidos reducibles y no reducibles por métodos en fase líquida;
 - Funcionalización covalente y no covalente de nanotubos de carbono, fullerenos, nanodiamantes y grafeno.
 - Autoensamble de nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes conductoras y aislantes;
 - Obtención de óxidos de metales de transición, de materiales multifuncionales y de óxidos semiconductores por métodos coloidales y por mecanosíntesis;
 - Obtención y estudio de semiconductores magnéticos diluidos nanoestructurados;
 - Producción y funcionalización de nanopartículas metálicas por ablación láser en líquido (plasma confinado) y también sustratos nanoestructurados, por tratamiento térmico, o por irradiación de pulsos láser de alta potencia;

- Síntesis de nanopartículas cerivalentes del grupo del platino;
 - Síntesis de dendrímeros base triazina;
 - Obtención de polímeros multifuncionales tipo 'Miktoarm' para estudios de liberación de fármacos.
 - Litografía para soporte de nanoestructuras;
2. Caracterización:
- Estudio de materiales nanoestructurados por espectroscopía vibracional;
 - Estudio por espectroscopía molecular de interacciones molécula/sustrato nanoestructurado;
 - Espectroscopía óptica en condiciones extremas de presión y temperatura (-192 hasta 1,200°C; presión: 1 hasta 10 GPa);
 - Estudio de la interacción nanopartículas cerivalentes-molécula tipo dendrímica;
 - Estudio vibracional de moléculas adsorbidas en Nano Arquitecturas Metálicas (NAMEs);
 - Desarrollo de plataformas analíticas potenciadas por nanotecnología;
 - Excitaciones colectivas (plasmón, magnón, fonón) de materiales estructurados (en el rango nano y subnano);
 - Caracterización de nanoestructuras por técnicas acústicas y por microscopía electrónica;
 - Estudio de las propiedades ópticas lineales y no lineales de nanoestructuras.
3. Aplicaciones:
- Catálisis enfocada a reacciones de abatimiento de la contaminación atmosférica (oxidación de CO, reducción de NO, oxidación total de compuestos orgánicos volátiles);
 - Catálisis enfocada a la producción y purificación de hidrógeno (reacción de desplazamiento del gas de agua o *water gas shift* y ruptura fotocatalítica de la molécula de agua o *water splitting*) y oxidación preferencial de CO (PROX);
 - Degradación fotocatalítica de compuestos orgánicos (contaminantes emergentes y convencionales) en aguas y suelos;
 - Fotosíntesis artificial;
 - Desarrollo de sustratos nanoestructurados para la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas (SERS);
 - Desarrollo de sustratos nanoestructurados para la detección de marcadores biológicos.
 - Preparación de películas delgadas de nanopartículas para su uso en sensores químicos y biosensores.
 - Estudio espectroscópico *in-situ* de la interacción adsorbato/adsorbente en dispositivos de sensado molecular.

FIGURA 2. Equipo para evaluación catalítica de nanomateriales y su caracterización por técnicas espectroscópicas.



- Aplicaciones ópticas de los materiales sintetizados (sistemas sensores, prototipos de óptica integrada y dispositivos foto-voltaicos)

Algunos de los títulos de los proyectos con financiamiento externo que se desarrollan actualmente relacionados con el área de NyN son los siguientes:

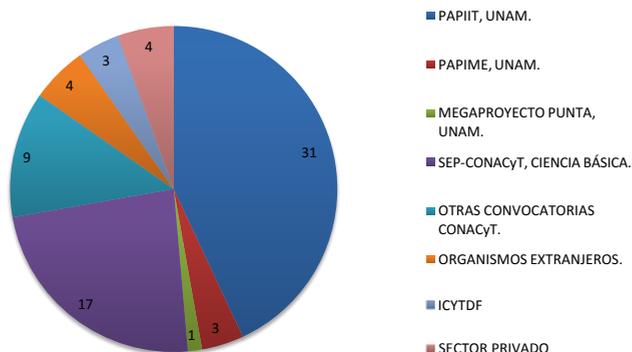
- Funcionalización química de nanocarbonos con compuestos amidados;
- Síntesis de nanopartículas y nanoestructuras mediante técnicas láser y su caracterización por métodos no convencionales;
- Estudio de la influencia del ambiente químico sobre la respuesta plasmónica de nanopartículas de Au;
- -Ensamblajes de nanopartículas de magnetita y oro;
- Estudio de interacciones molécula-sustrato en soportes nanoestructurados amplificadores de la respuesta espectroscópica;
- Desarrollo de plataformas analíticas potenciadas por nanotecnología para la detección selectiva y con sensibilidad amplificada de especies moleculares en matrices complejas;
- Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro depositadas sobre diferentes óxidos metálicos para aplicaciones catalíticas;
- Degradación de Compuestos Orgánicos Volátiles utilizando catalizadores bimetálicos soportados en óxidos de cerio y de titanio;
- Modificación superficial de semiconductores con nanopartículas metálicas como fotocatalizadores para producción de hidrógeno y degradación de contaminantes orgánicos;
- Efecto de la alta presión sobre las nanoestructuras y nanopartículas luminiscentes;
- Obtención de óxidos multifuncionales nanoestructurados a partir de un método coloidal y por activación mecanoquímica;
- Síntesis de nanopartículas y nanoestructuras mediante técnicas láser y su caracterización por métodos no convencionales;
- Nanopartículas por ablación láser para aplicaciones biomédicas;

- Estudio de materiales compuestos magnetoeléctricos en multicapas con propiedades multiferroicas;
- Detección por espectroscopia Raman amplificada por superficie (SERS) de moléculas de interés biomédico;
- Autoensamble de nanocluster metálicos;
- Obtención de polímeros multifuncionales con diferentes cromóforos;
- Estudio del desempeño de moléculas dendríméricas para su empleo como acarreadores liberadores de fármacos. Síntesis, caracterización; estudios fisicoquímicos y evaluaciones biológicas.

Colaboraciones y proyectos

Los académicos que realizan investigación y desarrollo tecnológico en el área de NyN tiene establecidas colaboraciones, con diferente grado de formalidad, con entidades y dependencias de la UNAM como las facultades de Química, de Ciencias y la de Estudios Superiores de Iztacala, así como con los Institutos de Física, Ciencias Nucleares, de Geología, de Ingeniería, de Investigaciones en Materiales, de Biotecnología y de Energías Renovables y con el Centro de Nanociencias y Nanotecnología; también con centros de investigación e IES nacionales como el Centro de Investigaciones en Óptica (unidad Aguascalientes), el Instituto Potosino de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, el CINVESTAV, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Morelos y la Universidad del Carmen de Campeche. Los vínculos internacionales son igualmente diversos: con el Instituto de Catálisis de la Academia de Ciencias de Bulgaria, el Instituto de las Tecnologías Físicas de Madrid, el Departamento de Química Inorgánica, Universidad Complutense de Madrid, la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid, el Laboratorio de Altas Presiones de la Facultad de Ciencia, Universidad de Cantabria, todos ellos en España; con el Laboratorio de Reactividad de Superficies de la Universidad Paris VI y el CNRS, con el Laboratorio de Química de Coordinación (Toulouse), con el CEA-LETI, MINATEC en Grenoble, y con el Laboratorio Aimé Cotton, Orsay todos de Francia, con la Academia de Ciencias de Ucrania, con la Universidad de Oxford, con la Universidad de New South Wales, la Universidad de Tasmania y la Universidad Deakin en Australia, con el Instituto Italiano de Tecnología (IIT) de Genova, y con la Universidad de Turín en Italia; así como con la Universidad Nacional de Trujillo y la Pontificia Universidad Católica, ambas de Perú; así como con el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) de la Universidad Nacional del Litoral, el Centro de Investigaciones Ópticas y la Comisión Nacional de Energía Atómica, todos ellos en Argentina, con las Universidades de Montreal y McGill en Canadá, y con la Universidad Cristiana de Texas.

FIGURA 3. Origen del financiamiento de los proyectos relacionados con NyN en el CCADET.



PAPIIT – Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica
 PAPIIME Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza.

Desde finales de la década de 1990 se han desarrollado más de 70 proyectos de investigación o de desarrollo relacionados con NyN. Estos proyectos han sido financiados principalmente por organismos nacionales, tal y como se muestra en la figura 3. Entre los proyectos financiados por la UNAM destaca el “Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental (PUNTA), liderado por el CCADET, en el que participaron más de una decena de entidades universitarias.

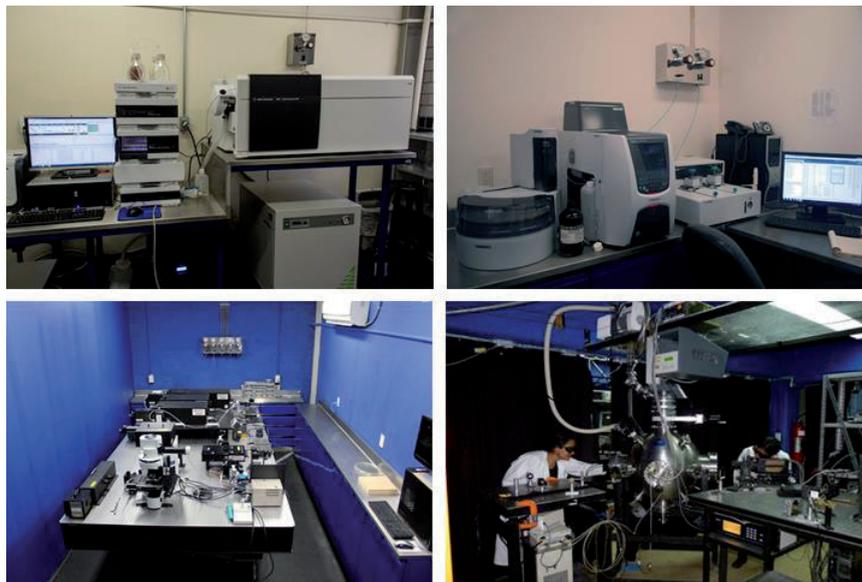
A lo dicho cabe agregar que varios académicos del CCADET han participado activamente en la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT.

Infraestructura

El Centro cuenta con varios laboratorios especializados para preparación de nanomateriales por métodos químicos y métodos físicos totalmente equipados, dotados con campanas de flujo laminar y de extracción, sondas de ultrasonido, rotavapores, hornos, estufas para secado a presión atmosférica y en vacío, centrifugas, medidores de pH, microbalanzas, reactores de doble pared, sistema de recirculación de agua para calentamiento de reactores, material de vidrio diverso, sistemas para tratamiento térmico de materiales con flujo de gas, sondas de ultrasonido de alta potencia para procesos de son química, entre otras facilidades, además de sistema de *spin coating* para depósito de fotorresinas, un laboratorio completo de microfabricación dentro de un cuarto limpio, un equipo para realizar ataques químicos y un generador de patrones desarrollado en el CCADET con resolución de 1µm, con la opción de litografía de dos fotones que puede escribir líneas de 100 nm.

Adicionalmente cuenta con equipos de caracterización como espectroscopías infrarroja, Raman, UV-VIS-NIR, fluorescencia, celdas de temperatura

FIGURA 4. Algunos equipamientos de los Laboratorios Universitarios LUNA y LUCE y del grupo de fotofísica y películas delgadas.



y atmósfera controlada para llevar a cabo experimentos *in situ* en equipo espectroscópicos, microscopio de fuerza atómica acoplado a un espectrómetro Raman, equipo de determinación de área superficial BET, y un sistema de microscopía de barrido por sonda. Además debe precisarse que dentro de la UNAM se tiene acceso a diferentes servicios centralizados de microscopía electrónica de transmisión, análisis químico, difracción de rayos X, espectroscopía de resonancia paramagnética electrónica, así como a la red de laboratorios universitarios de la UNAM. Cabe aclarar que la mayoría de los servicios que prestan estos laboratorios están disponibles para académicos de la UNAM, de Instituciones de Educación Superior y para el sector productivo nacional, público y privado, para apoyar sus proyectos de I+D y para la prestación de servicios tecnológicos de alta especialización.

Se cuenta también con equipos de análisis entre los que destacan un cromatógrafo de líquidos con detector de arreglo de diodos, acoplado a un detector de masas con triple cuadrupolo y con fuentes de ionización por *electrospray* (ESI) o ionización química a presión atmosférica (APCI), cromatógrafos de gases con detectores de ionización de flama, de termoconductividad y de masas, un analizador de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno total en muestras líquidas y sólidas, un extractor con fluidos supercríticos (o extractor acelerado con disolventes, ASE), sistemas de microrreacción en fase gas provistos de reactores de cuarzo acoplados a unidades de cromatografía de gases y espectrometría de masas, sistemas de fotorreacción para degradación de compuestos orgánicos (fármacos, plaguicidas, pesticidas,

plastificantes) e inorgánicos presentes en aguas, un sistema de evaluación fotocatalítica de nanocatalizadores para producción de hidrógeno mediante la ruptura de la molécula de agua y un sistema catalítico para fotosíntesis artificial.

Asimismo, se cuenta con otros equipos como láseres con pulsos de ns, para producir nanopartículas y nanoestructuras, técnicas ópticas de caracterización como fotografía rápida (2.2 cuadros por microsegundo); espectroscopías ópticas de emisión y absorción, con resolución temporal de ns, speckle dinámico, interferometría, sombras y deflectometría, técnicas acústicas, principalmente para el análisis de ondas acústicas generadas por los materiales mediante el efecto fotoacústico, cámaras de vacío equipadas con control de flujo de gases y horno, para depósito por ablación láser y pulverización catódica con fuente de RF, una celda electroquímica para fabricación de silicio poroso luminiscente y estructuras fotónicas de silicio poroso, osiloscopios, monocromadores, tubos fotomultiplicadores, mesas ópticas, entre otros.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En el rubro de propiedad intelectual, al CCADET le han sido otorgadas dos patentes en México en el área de NyN, la primera está relacionada con un proceso de obtención de zeolita ZSM5 a partir de cáscara de arroz, cuyos inventores son N. A. Sánchez Flores, G. Pacheco Malagón, J. Fripiat, J. M. Saniger Blesa, con número de título 298632. La segunda está relacionada con el proceso de preparación de una nanoaleación soportada y su empleo como catalizador, cuyos inventores son R. Zanella, J. M. Saniger y J. G. Pérez, el número de título de esta patente es el 329726. Los desarrollos protegidos en dichas patentes tienen un uso potencial en la adsorción y/o eliminación de contaminantes ambientales como el monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno, contaminantes orgánicos y metales.

Asimismo, existen dos solicitudes más presentadas ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI), en las que participan académicos del CCADET, la primera relacionada con un método para la transformación genética de células de plantas en suspensión mediante ADN plasmídico acoplado a nanotubos de carbono funcionalizados con aminas, con el fin de lograr la introducción de material genético expresado a partir de la introducción de un plásmido de expresión, para el silenciamiento de genes, localizar nuevas proteínas y llevar a cabo su sobreexpresión; mientras que la segunda está relacionada con un procedimiento para la extracción y análisis de materiales y equipo para ello, en esta innovación se propone una nueva técnica de caracterización de nanomateriales para la determinación de la composición química de muestras por medio del uso de microscopias de sonda (STM o AFM) en diferentes medios: vacío, líquidos y gases.

Docencia y formación de recursos humanos

Una gran mayoría de los académicos, tanto investigadores como técnicos académicos que se desempeñan en el área de NyN, están claramente comprometidos con labores de docencia y formación de recursos humanos, ya sea impartiendo clases frente a grupo, dirigiendo tesis de grado y posgrado, participando en comités tutorales y jurados, atendiendo prácticas profesionales y servicios sociales, brindando asesorías, participando en la creación y actualización de planes de estudio y en la elaboración y aplicación de exámenes de admisión, entre otras actividades.

La mayor parte de los cursos a nivel licenciatura se imparten en las facultades de Ciencias y Química, que si bien no cuentan con la carrera de nanotecnología, sí imparten materias y carreras relacionadas con el área principalmente física, química e ingeniería química.

En lo que se refiere a estudios de posgrado, el CCADET es entidad participante de los programas de posgrado en ingeniería, ciencia e ingeniería de materiales y ciencias físicas, además de que diversos académicos del Centro participan en el posgrado en Ciencias Químicas. La formación de recursos humanos en el área de NyN y áreas afines se ve reflejado en la conclusión de aproximadamente 65 tesis de licenciatura, 45 tesis de maestría y 15 tesis de doctorado.

Principales logros en el área de NyN

Los principales logros del CCADET en el área de NyN se pueden resumir de la siguiente forma:

1. La formación de varios grupo de trabajo consolidados, relacionados con el estudio de la síntesis, la caracterización y las aplicaciones de materiales catalíticos nanoestructurados, así como la creación de dos laboratorios universitarios relacionados con el estudio de las propiedades y aplicaciones de dichos materiales,¹ en los que se promueve el trabajo multi e interdisciplinario y en los que cada investigador contribuye con los conocimientos de su especialidad.

2. La integración de un equipo multidisciplinario en la UNAM para el desarrollo de nanocatalizadores ambientales (el previamente mencionado proyecto PUNTA). En éste se estudió la síntesis razonada de nuevos catalizadores heterogéneos por métodos químicos en fase líquida y el estudio a profundidad de los mecanismos de depósito e interacción entre los precursores metálicos y los soportes, la formación de las nanopartículas y los parámetros que influyen en su forma, tamaño e interacción con el soporte. Se desarrollaron catalizadores eficientes, estables y durables en varias reacciones de

1 El Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental (LUNA) y el Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE)

abatimiento de la contaminación atmosférica, producción y purificación de hidrógeno, degradación de contaminantes orgánicos presentes en las aguas de los efluentes industriales, así como en reacciones de química fina, todas ellas de interés estratégico para el país, utilizando métodos de síntesis sencillos, eficientes y escalables industrialmente. Los resultados específicos en el área de síntesis de catalizadores heterogéneos basados en nanopartículas de oro y de paladio soportadas en óxidos, con aplicaciones a nivel ambiental, industrial y energético han tenido impacto en la comunidad científica nacional e internacional.

3. En la línea de materiales nanoestructurados de carbono, se han logrado desarrollar estrategias ecológicamente amigables para la fabricación de una gama amplia de nanomateriales de carbono híbridos. Se ha logrado también la obtención de métodos novedosos para la modificación de nanomateriales de carbono que facilitan su manipulación y aplicación, así como modular sus propiedades químicas, electrónicas, mecánicas, térmicas, entre otras. Otro logro ha sido la obtención de películas entrecruzadas de fulereno C_{60} que son usadas como plataformas para el depósito de nanopartículas metálicas. Estos materiales híbridos tienen aplicaciones en nanocatálisis, en el desarrollo de dispositivos fotoelectrónicos, en la inmovilización de moléculas de actividad biológica para desarrollo de biosensores. Se ha logrado modular las propiedades físicoquímicas de nanotubos de carbono, aumentando su dispersibilidad, y biocompatibilidad, obteniendo soportes para inmovilización de los compuestos biológicos y farmacéuticos sobre la superficie de los nanotubos de carbono.

4. En lo referente a la síntesis de materiales, se han desarrollado plantillas nanoestructuradas basadas en alúmina anódica porosa, metodologías no convencionales para la preparación de nanopartículas metálicas, soportes nanoestructurados (nanopartículas metálicas) con formas y tamaños controlados para aplicaciones en SERS, así como el desarrollo de un método de síntesis novedoso, de bajo costo para la obtención de óxidos metálicos multifuncionales nanoestructurados, en el que se reduce considerablemente el uso de disolventes, la síntesis de nanoestructuras luminiscentes y la implementación de técnicas para la obtención de nanoestructuras como la ablación láser en líquido, tratamiento térmico de películas delgadas con láser y el crecimiento de películas delgadas por *sputtering*, evaporación y *espray* pirolisis ultrasónico utilizando como variante el PLD (*plasma laser deposition*).

5. Se ha logrado la implementación de técnicas basadas en fotoacústica pulsada para el estudio de nanoestructuras y sus procesos de formación y el desarrollo de materiales con características ópticas adecuadas para aplicaciones en biomedicina

6. Adicionalmente se han impulsado diversas actividades de extensión universitaria, incluyendo las actividades realizadas en el marco de nano-UNAM, un consorcio académico integrado por el CCADET, el Centro de

Nanociencia y Nanotecnología y el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, dedicado a impulsar el diálogo interdisciplinario de alta calidad sobre los avances, promesas e implicaciones de la NyN con el objeto de enriquecer la toma de decisiones nacionales. Desde 2008 realiza el Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencias y Nanotecnología y publica *MundoNano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, una publicación de divulgación científica de alto nivel con proyección en la región de Iberoamérica (<http://www.mundonano.unam.mx>)

Perspectivas sobre el estudio de la NyN

Los académicos del CCADET que trabajan en el área de NyN consideran que las principales perspectivas de la NyN pueden resumirse del siguiente modo:

- Es necesario mejorar las metodologías de depósito de nanopartículas sobre diferentes sustratos, con el fin de obtener una dispersión homogénea de las nanopartículas, lo que puede entenderse como controlar y fijar el tamaño y forma de las nanopartículas o nanoestructuras, de manera que todos o la mayoría de los sitios activos sean equivalentes estructural y funcionalmente. De esta manera se reforzaría la reproducibilidad y confiabilidad de los nanosistemas, lo cual supondría un gran paso para hacer efectivas un gran número de aplicaciones en las áreas de salud, medio ambiente y energía.
- La comprensión a profundidad de los mecanismos que rigen las interacciones sustrato/nanopartícula/molécula en un sistema nanoestructurado en condiciones *in situ* y operando, para optimizar su desempeño en aplicaciones específicas. Se requiere reforzar los estudios básicos en esta dirección, poniendo especial atención en conjuntar estudios experimentales con modelado computacional.
- Es fundamental tomar en cuenta la corriente de pensamiento cada vez más importante que señala, especialmente en catálisis y SERS, que los sitios de mayor actividad no son las nanopartículas sino estructuras de tamaño subnanométrico (clústers) e incluso átomos individuales. Por tanto, es necesario dirigir esfuerzos para continuar avanzando en la reducción de los tamaños de las partículas lo que deberá acompañarse necesariamente de su estabilización en soportes *ad hoc*. Ello requerirá probablemente generar nuevos enfoques de los procesos de preparación de las partículas, así como propuestas de estrategias adicionales para su estabilización en los soportes correspondientes y considerar el empleo de soportes híbridos.
- La obtención de nuevos nanomateriales de carbono con propiedades combinadas (híbridos) y la relación entre la estructura y sus propiedades físicoquímicas, así como el desarrollo de nuevos métodos

de caracterización y manipulación en el laboratorio de dichos nanomateriales. Algunos de estos materiales híbridos con propiedades electrónicas y estructurales podrían permitir aplicaciones versátiles como la catálisis, aplicaciones en óptica y electrónica, para sensores biomédicos se trata de los sistemas poliaminas macrocíclicas (por ejemplo porfirinas) con nanomateriales de carbono. Las porfirinas sirven como antenas captadoras de luz en el centro de la reacción fotosintética, por lo que la modificación de nanomateriales de carbono con sistemas antena que absorban en el rango de frecuencias del espectro solar podría mejorar la absorción de luz y así optimizar los materiales para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos no convencionales.

- La reducción a tamaños nanométricos de materiales semiconductores, semiconductores magnéticos diluidos y multiferróicos, presenta nuevos retos en cuanto a la obtención de fases únicas, así como de nuevos comportamientos, propiedades y aplicaciones. Así, la investigación ya sea desde la perspectiva de la ciencia básica, o desde el punto de vista del desarrollo de nuevos dispositivos con aplicaciones en spintrónica, hipertermia magnética, o bien en nuevos campos como la fototrónica, piezotrónica y piezofototrónica resultan sumamente interesantes.
- El diseño de nuevos nanomateriales fotocatalíticos híbridos, capaces de promover la fotosíntesis artificial, es decir, las reacciones simultáneas de ruptura de la molécula de agua (para generar hidrógeno y oxígeno) y la reducción de CO_2 con el hidrógeno producido por la primer reacción, para generar alcoholes o hidrocarburos ligeros, que luego pueden ser utilizados como combustibles.
- Es fundamental también estudiar los efectos adversos, sobre todo los toxicológicos, que pudieran derivarse del uso de dichos materiales al introducirlos al medio ambiente, sobretodo en el agua, el suelo y el aire, así como los efectos de su posible acumulación en los tejidos y órganos de los seres vivos.
- Otro tema importante que debe ser abordado de manera seria e informada son los aspectos éticos, sociales y legales que implica el uso de los nanomateriales en las actividades cotidianas de las personas, de tal forma que el uso de dicha tecnología sea aceptada y asimilada por la población en general.

Sitios de interés relacionados con CCADET

- Página institucional: <<http://www.ccadet.unam.mx>>.
- Google maps: <<http://goo.gl/Hru5pG>>.
- Facebook: <<http://www.facebook.com/CCADET.mx>>.
- Twitter: <<http://twitter.com/ccadetunam>>.

- Laboratorio Universitario de Nanotecnología Ambiental:
<<http://www.luna.ccadet.unam.mx>>.
- Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica:
<<http://www.luce.ccadet.unam.mx>>.

Centro de Nanociencias y Nanotecnología-UNAM

Irene Barberena Rojas,* Oscar Edel Contreras López** y Leonardo Morales de la Garza***

RESUMEN: En este artículo se describe el origen del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM y se especifica las actividades que lleva a cabo en el área de las nanociencias y la nanotecnología (NyN) y la importancia que tiene en el entorno local y nacional la investigación e innovación tecnológica en este campo del conocimiento así como la importancia de preparar recursos humanos en las NyN.

PALABRAS CLAVE: Nanociencias, nanotecnología, licenciatura, posgrado.

ABSTRACT: This article describes the origin of the Center for Nanoscience and Nanotechnology, UNAM and describes the activities carried out in the area of nanoscience and nanotechnology (N&N) and the importance of performing research and technological innovation in this area at local and national level, it specifies as well the importance of developing human resources in N&N.

KEYWORDS: Nanoscience, nanotechnology, degree, postgraduate studies.

El origen del Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN) se remonta a la creación del Laboratorio de Ensenada del Instituto de Física (LEIF), cuyo proyecto fue presentado al rector, Dr. Guillermo Soberón Acevedo, el 9 de noviembre de 1979. Las actividades académicas iniciaron en la ciudad de Ensenada el 20 de agosto de 1981, cuando se adquirió el primer microscopio Auger de barrido, un equipo único en el país en ese tiempo, el cual fue instalado en el edificio que tenía el Instituto de Astronomía en Ensenada, mientras se construía el edificio del LEIF, inaugurado el 17 de noviembre de 1983 por el rector Octavio Rivero Serrano.

El 2 de diciembre de 1997, después de más de una década de trabajo en el LEIF y su dinámico crecimiento en infraestructura y personal tanto académico como administrativo, se creó el Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC), por acuerdo del Consejo Universitario, con el objetivo de realizar investigación científica de excelencia, en el marco teórico y experimental, y orientado al campo de las ciencias de la materia condensada. Más de una década después, surgió el cambio de denominación del

Recibido: 7 de mayo de 2016. Aceptado: 29 de mayo de 2016.

* Técnico Académico, responsable institucional de la gestión de la calidad y certificación. Correspondencia: (irenebr@cyn.unam.mx).

** Director, Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Correspondencia: (direccion@cyn.unam.mx).

*** Investigador Titular, jefe del Departamento de Nanoestructuras, autor responsable del artículo. Correspondencia: (leonardo@cyn.unam.mx).

FIGURA 1. Vista general de los edificios del Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

CCMC al actual Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN), a partir del 28 de marzo de 2008, con el objetivo general de realizar investigación científica y desarrollar tecnología en temas de frontera, en el campo de los nanomateriales.

Desde los orígenes de su creación, la comunidad académica del CNyN ha enfocado su esfuerzo en el estudio de la materia a nivel atómico, evolucionando hacia la modificación de la misma logrando crecer una gran diversidad de nanoestructuras con diferentes morfologías. Algunos resultados de esta evolución han impactado en el diseño teórico de dispositivos electrónicos con potenciales aplicaciones en computación cuántica o espintrónica, catalizadores nanoestructurados de aleaciones metálicas para el tratamiento de hidrocarburos, varillas semiconductoras para la fabricación de sensores de gases, soportes catalizadores a base de nanotubos de carbono, hasta las nanopartículas metálicas como es el caso de las nanopartículas de plata para la prevención y tratamiento de infecciones.

En 2015 el CNyN reporta una excepcional experiencia académica con un aumento de resultados científicos, formación de recursos humanos, gestión de recursos, divulgación, organización de eventos y vinculación con el sector empresarial regional.

La nanotecnología es un campo multidisciplinario y emergente en el cual se conjuntan la física, la biología, la química, la ingeniería y las ciencias sociales. Su objetivo es entender, caracterizar, manipular y explotar las características físicas de la materia a la nanoescala, para generar innovaciones tecnológicas teniendo en consideración su impacto social y ambiental. Se trata de una tecnología clave que constituye una de las áreas que aportará mayor desarrollo al siglo XXI al originar aplicaciones basadas en los fenómenos que suceden a escalas atómicas (1 nanómetro es 1 millonésimo de milímetro).

Se habla de que la nanotecnología será el detonante de una nueva revolución industrial pues las posibilidades de creación y aplicación de nuevos materiales y dispositivos a partir de átomos y moléculas parecen ilimitadas.

Por ejemplo, en la actualidad existen aplicaciones en industrias tradicionales como son los catalizadores, recubrimientos, pinturas, industria del hule, entre otras, y se comienzan aplicaciones novedosas como son la fabricación de materiales inteligentes como los biosensores, la manufactura de microprocesadores, el diseño de materiales con características específicas y en nuevos materiales para la industria aeroespacial.

Las nuevas tecnologías serán aplicables en la construcción de computadoras cada vez más rápidas y pequeñas, mientras que desarrollos de nanolitografía, películas delgadas autoensambladas y electrónica molecular podrán utilizarse en el desarrollo de dispositivos electrónicos. Esta disciplina también tendrá un gran rango de aplicaciones energéticas y ambientales, como son el desarrollo de catalizadores para motores de autos y nanotubos para almacenamiento de hidrógeno. También se podrán construir materiales más ligeros, fuertes, durables o transparentes, como serían las superficies autolimpiables. Podrán desarrollarse implantes y prótesis que sean similares a tejidos naturales y herramientas biomédicas para manipular las moléculas de ADN. Otras aplicaciones serán el desarrollo de nuevos tratamientos médicos y medicamentos, la administración gradual y localizada de fármacos, en la industria alimenticia e inclusive en la industria cosmética.

Investigación, desarrollo e innovación en el CNyN

Las actividades en el CNyN se llevan a cabo en diferentes departamentos, como son los de Bionanotecnología, Física, Fisicoquímica de Nanomateriales, Materiales Avanzados, Nanocatálisis, y Nanoestructuras, y los laboratorios especializados de apoyo a la investigación.

La investigación realizada es multidisciplinaria dada la interacción entre las ciencias físicas, químicas y biológicas, a través de diversas líneas de investigación de los departamentos del Centro.

En nanomateriales se llevan a cabo las siguientes líneas de investigación:

Síntesis de nanomateriales: nanotubos de carbono, sulfuros y óxidos metálicos con propiedades electrocatalíticas; la determinación de la nanoestructura cristalina y electrónica de superficies sólidas y materiales nanoestructurados empleando técnicas experimentales como la difracción de electrones de baja energía (LEED), la microscopía de barrido por efecto túnel (STM) y métodos teóricos como la teoría de la funcional de densidad (DFT) con cálculos de primeros principios de la estructura electrónica de materiales, con enfoque a la teoría (DFT) para calcular las propiedades electrónicas y estructurales de los materiales.

En el área de Física, se estudian las propiedades de transporte de carga y espín en arreglos de puntos cuánticos, nanotubos de carbono y grafeno. En particular, el control cuántico de estos sistemas a través del estudio de los

efectos de interacciones (espín-órbita, hiperfina) en los tiempos de decoherencia, así como propiedades de entrelazamiento para aplicaciones en computación cuántica. Asimismo se estudian las propiedades ópticas (espectros de emisión y absorción) de estos sistemas para explorar sus posibilidades como emisores y detectores de radiación de altas frecuencias, así como la interacción entre plasmones de superficie en nanopartículas metálicas y radiación electromagnética.

Se trabaja en el transporte de carga y espín en nanoestructuras para el control y manipulación de cargas y espines en arreglos de puntos cuánticos en diferentes geometrías.

Son de gran interés los efectos de interacciones en sistemas de doble y triple punto cuántico, transporte de carga y espín en nanorresonadores, entrelazamiento y disipación, efecto Hall de espín, magnetoconductancia en nanoconstricciones, oscilaciones de Bloch en nanotubos de carbono, espintrónica en puntos cuánticos de grafeno.

Las propiedades ópticas de nanoestructuras mediante la interacción entre campos electromagnéticos y sistemas inhomogéneos en escalas nanométricas: superficies, nanopartículas y nanosondas.

La interacción electrón-electrón y efectos de acoplamiento espín-órbita en superficies y nanopartículas, respuesta óptica no lineal en nanopartículas, generación de segundo armónico en arreglos de puntos cuánticos, y la plasmónica.

Las propiedades de nitruros y carburos de metales de transición, propiedades estructurales y electrónicas de materiales superconductores.

El estudio experimental y teórico de las propiedades físicas y químicas de películas delgadas, nanopartículas, cúmulos, superficies e interfaces, y sus aplicaciones.

Se trabaja en las propiedades mecánicas, químicas y físicas de películas delgadas, con el fin de encontrar nuevos materiales y formas de aplicar algunos ya existentes, para mejorar el rendimiento de máquinas y herramientas mediante el empleo de recubrimientos protectores. Estos conocimientos tienen alta incidencia en los costos de producción de bienes e insumos, ya que contribuyen a su mejoramiento.

Se pretende llegar a abarcar aspectos prácticos e ingenieriles. Por ejemplo, recubrir objetos de superficies de geometría caprichosa, para los cuales, al momento, no hay una solución técnica única. También es importante encontrar los materiales que presenten una buena adherencia en aceros y cerámicas, o bien, idear capas amortiguadoras que permitan obtener la adecuada adherencia por la liberación, o absorción, de los esfuerzos interfaciales intrínsecos y los generados por las diferencias de coeficientes de expansión. Estos materiales pueden ser producidos utilizando la técnica de ablación láser reactiva o de erosión iónica reactiva y pudiendo ser analizados en *in-situ*, mediante las técnicas de XPS, AES y REELS.

La producción de nanopartículas magnéticas mediante la técnica de

ablación láser para estudiar la correlación entre su tamaño y comportamiento magnético.

Se hace investigación en las propiedades estructurales y electrónicas de materiales superconductores, semiconductores de ancho de banda grande y catalizadores, usando paquetes de programación (CRYSTAL98, WIEN2K) basados en diferentes métodos de teoría de muchos cuerpos (FLAPW, DFT, LSDA, GGA). Los temas de interés son las propiedades de nitruros y carburos de metales de transición, propiedades estructurales y electrónicas de elementos superconductores y catalizadores.

Se estudian las propiedades ópticas de películas delgadas mediante espectroscopías electrónicas con la finalidad de obtener conocimiento general del comportamiento de las funciones dieléctricas de nitruros de metales de transición. Estos materiales tienen una variedad de aplicaciones tecnológicas, como dureza extrema; altos puntos de fusión; interesantes propiedades ópticas y magnéticas, así como una importante actividad catalítica. En cuanto a las propiedades eléctricas, algunos son superconductores, otros pueden ser semiconductores o dieléctricos, mientras que la mayoría conserva vestigios del comportamiento metálico. Esta gama de propiedades se genera por la riqueza de composiciones, configuraciones electrónicas y estructuras que exhiben estos materiales. La función dieléctrica se obtiene a partir de espectros de pérdidas de energía electrónica teniendo en cuenta efectos de superficie y geometría del instrumento.

Se producen partículas de oro y plata en forma de cúmulos y nanopartículas para posteriormente analizarlas, física y químicamente, conocer su tamaño, distribución y propiedades catalíticas para ser utilizadas en medicinas, en procesos de purificación del agua, convertidores catalíticos a bajas temperaturas, entre otras.

Se desarrollan nuevos materiales luminiscentes mediante métodos químicos, además se diseñan y se construyen nuevos sistemas para la fabricación de los materiales. La aplicación principal de los materiales luminiscentes es en pantallas de televisión y lámparas de estado sólido de luz blanca para iluminación artificial. Otra importante línea es la de películas delgadas que incluye recubrimientos transparentes con alta conductividad eléctrica (electrodos transparentes) y películas delgadas luminiscentes (fotoluminiscentes, catodoluminiscentes y electroluminiscentes). Se diseñan y se construyen los sistemas de depósito y hasta la fecha se han fabricado 4 sistemas completos que incluyen métodos físicos (erosión iónica y ablación láser) y métodos químicos (MOCVD y ECR).

Se fabrican nanoalambres con longitud específica y puntos de ramificación en fragmentos de ADN lineales como promotores que forman ensamblajes periódicos mediante el uso de la técnica de litografía molecular como técnica de amplificación.

Se estudian materiales con propiedades piezoeléctricas, ferroeléctricas y multiferroicas, elaborados tanto en forma cerámica como de películas

delgadas y nanoestructuras, con posibles aplicaciones tecnológicas en sensores, transductores, memorias computacionales y generadores de energía, principalmente.

Se sintetizan y desarrollan análisis ópticos de materiales en forma de películas delgadas depositadas por métodos auxiliados por plasma. El control de crecimiento de capas delgadas por medio de espectroscopia óptica *in-situ*.

Se lleva a cabo investigación teórico-experimental sobre los efectos ópticos superficiales a la nanoescala así como en el área de la fotónica.

Se sintetizan y caracterizan nanomateriales a base de metales de transición, que desempeñen la función de electrocatalizadores para la producción de hidrógeno a partir de agua.

Se estudian los precursores, mecanismos de crecimiento, estructura y morfología de películas, para la síntesis de materiales a base de calcogenuros de metales de transición para su uso en la construcción de semiconductores tipo n y p.

Se construyen y estudian transistores de películas delgadas (TFTs) de calcogenuros de metales de transición.

Se estudia la preparación de recubrimientos híbridos de SiO₂-PMMA-nanopartículas de calcogenuros de metales de transición.

Se desarrollan sistemas basados en dendrímeros, nanogeles y nanopartículas poliméricas para transporte y liberación de fármacos.

En el área de Bionanotecnología se desarrolla investigación en la combinación de las propiedades de los sistemas biológicos y de los materiales a escala nanométrica para convertir y transportar la energía, sintetizar compuestos orgánicos específicos, sintetizar macromoléculas, almacenar información, reconocer, detectar, señalar, mover, autoensamblar y reproducir sistemas biológicos. Generar conocimiento en nanocatálisis, nanomedicina, biomateriales nanoestructurados y fábricas celulares.

Los proyectos específicos están relacionados con: el estudio de las propiedades biocatalíticas de las enzimas inmovilizadas en materiales nanoestructurados; el uso de cápsidas virales y cajas proteicas como vectores para el envío de enzimas, genes, nanopartículas y fármacos; nanoestructuras de secreción tipo tres bacterianas y su potencial uso para la entrega de proteínas de interés terapéutico a células eucariotas; nanotoxicidad, estudio de la toxicidad de nanomateriales sobre organismos y ecosistemas; simulaciones moleculares de proteínas y moléculas orgánicas; diseño molecular de celdas de combustible enzimáticas; biotecnología petrolera, y el diseño de procesos novedosos en biocatálisis y biotecnología, entre otros.

El área de Nanocatálisis se enfoca en el desarrollo de nuevo catalizadores heterogéneos para química fina y para la protección del medio ambiente, basados en oro y paladio soportados en materiales nanoestructurados y partiendo de materiales biorrenovables; en la investigación de la cinética y de los mecanismos de catálisis heterogénea con aplicación de técnica experimentales avanzadas como *in-situ* y Operando; en el desarrollo de catalizadores

para la reacción de desplazamiento de vapor de agua a baja temperatura; en el diseño de nuevos catalizadores bimetalicos basados en oro y paladio, soportados en óxidos mixtos nanoestructurados y su aplicación en las reacciones de interés (esterificación oxidativa de alcohol bencílico, animación del mirtenolo, descomposición de ácido fórmico etc.).

En Catálisis Ambiental, el estudio de materiales basados en hidroxipatita/wollastonita con propiedades biomédicas; el estudio de nanomateriales relacionados con calcogenuros de metales de transición y metales de transición; nanopartículas de metales soportados en matrices nanoestructuradas para el desarrollo de materiales nanocatalíticos.

Se colabora en un proyecto de investigación vinculado con la industria, dedicado al desarrollo de catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra bajo azufre con el enfoque a desarrollar la metodología de incorporación de nanozeolitas a la alúmina industrial por el método de peptización, utilizando varios agentes peptizantes.

Hidrodesulfuración de diésel y gasolinas.

Producción de hidrógeno y síntesis de FT.

El estudio de sulfuros y fosfuros de metales de transición.

Síntesis y caracterización de nanomateriales a base de metales de transición que desempeñen la función de electrocatalizadores para la producción de hidrógeno a partir de agua.

La investigación de la cinética y de los mecanismos cinéticos de catálisis heterogénea con aplicación de técnicas experimentales avanzadas como *in-situ* y Operando. El desarrollo de catalizadores para la reacción de desplazamiento de vapor de agua a baja temperatura.

El diseño de nuevos catalizadores bimetalicos basados en oro y paladio soportados en óxidos mixtos nanoestructurados y su aplicación en las reacciones de interés (esterificación oxidativa de alcohol bencílico, animación del mirtenolo, descomposición de ácido fórmico, etc.).

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En este rubro, en el CNyN se ha obtenido la patente “Método de obtención de un material compuesto de aluminosilicato que contiene alúmina y nanozeolita” MX/a/2014/001908 con fecha 18 de febrero de 2014 y el responsable de la misma es el Dr. Sergio Fuentes Moyado, Investigador Titular “C” y también titular de la patente en seguimiento, PCT/MX2013/000140: “Catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra-bajo azufre”.

Formación de recursos humanos

La formación de recursos humanos se desarrolla a través de una licenciatura en nanotecnología y tres programas de posgrado:

FIGURA 2. Estudiantes de licenciatura y posgrado del CNYN.



Licenciatura en nanotecnología

Inició en el verano de 2011, y ya cuenta con 5 generaciones, 71 alumnos en procesos de formación y 5 alumnos graduados de la primera generación.

La oferta académica del CNYN promueve la formación de profesionales con preparación sólida en este campo emergente que les permita participar en su desarrollo de diferentes formas: contribuyendo a la evolución e implementación de nuevas tecnologías, sirviendo de enlace entre la academia y los demás sectores, como la industria, el gobierno y la sociedad en general, y participando en la elaboración de políticas públicas, por mencionar algunas, como lo describen los alcances de la función docente en los diferentes niveles académicos.

Los principales beneficios de la formación académica en nanotecnología, son adquirir los conocimientos y habilidades en las áreas de ciencias, ingeniería o tecnología para trabajar en empresas del sector privado, de alta o mediana tecnología, o en el sector público; por ejemplo, en los sectores energéticos, de comunicaciones, de salud, gestión ambiental, etc.; para aplicar técnicas de preparación, síntesis, caracterización, diseño y aplicación de materiales, con énfasis en la nanoescala, entrenamiento para analizar y resolver problemas, con conocimientos científicos; especialización en biotecnología, tecnología ambiental y nanoestructuras; habilidades de análisis y diseño, independencia de pensamiento y creatividad, rigurosidad deductiva, y participación en grupos interdisciplinarios que desarrollan labores de difusión científica.

La información completa para conocer la propuesta y alcances de la licenciatura en nanotecnología, cuya coordinación está a cargo de la Dra. Laura Viana Castrillón, está disponible en: <<http://www.nanolic.unam.mx/sitio/>>.

Los posgrados para la formación de recursos humanos de alto nivel

Posgrado en Ciencias Físicas (UNAM)

Responde a la necesidad de fortalecer y ampliar la planta de investigadores y técnicos en el país con conocimientos sólidos en física contemporánea, y habilidades para el manejo y aplicación de técnicas y metodologías científicas en áreas específicas de interés en el ejercicio profesional, como investigación y docente, y realizar investigación original en áreas de interés actual para identificar, plantear y resolver problemas de investigación en la frontera del conocimiento.

La información sobre el posgrado en Ciencias Físicas, cuyo representante académico en el CNYN es el Dr. Ernesto Cota Araiza, se encuentra disponible en: <<http://www.posgrado.fisica.unam.mx/beta/drupal/>>.

Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales (UNAM)

Enfocado en la adquisición de conocimientos generales y con experiencia en investigación, que les confieran versatilidad y preparación suficientes para incorporarse a labores de investigación y desarrollo en los sectores educativos, productivos y de servicios, así como para realizar labores de docencia especializada y contribuciones originales en ciencia e ingeniería de materiales, formar grupos de investigación y de recursos humanos. Generar experiencia suficiente en el manejo de metodologías propias de la investigación de materiales y estar capacitado para resolver problemas del área de conocimiento, que pudieran presentarse en los sectores descritos. Desarrollar profesionalmente trabajos de investigación científica original y de frontera y organizar proyectos tanto en centros universitarios como de investigación públicos o privados, e identificar y plantear problemas de investigación significativos en el campo de conocimiento y aportar soluciones, por mencionar algunos.

Para mayor información puede consultar: <<http://www.iim.unam.mx/posgrado/>>.

Posgrado en Nanociencias (CNYN – CICESE)

Originalmente posgrado de Física de Materiales. Es el más antiguo dentro de los programas del CNYN. Se fundó a través de un convenio de colaboración

entre la UNAM y el Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE) en 1986, durante el periodo del rector Jorge Carpizo. Al igual que los otros dos de la UNAM, pertenece al Padrón Nacional de Posgrado Consolidado del CONACyT.

Orientado a la investigación teórica y experimental de la estructura y propiedades fisicoquímicas de la materia como son los estudios de procesos, síntesis, caracterización, simulación, diseño, de materiales avanzados de importancia tecnológica, como son los semiconductores, superconductores, ferroeléctricos y los catalizadores ambientales, por mencionar algunos.

Como parte de la formación académica, en todos los niveles académicos de formación de recursos humanos, el CNyN promueve la movilidad de estudiantes al interior de la república y el exterior para hacer estancias, participar en simposios y cursos, e impartir seminarios tanto en el país como en el extranjero.

La información acerca del posgrado, cuyo representante en el CNyN es el Dr. Leonel Cota Araiza, está disponible en: <<http://www.cnyun.unam.mx/posgrado/fm1/index.php>>.

Infraestructura

El CNyN cuenta con infraestructura de vanguardia para llevar a cabo sus funciones de investigación, docencia y difusión de las nanociencias.

En los Laboratorios de Bionanotecnología se cuenta con el siguiente equipo:



FIGURA 3. Laboratorio de Bionanotecnología.

- Ultracentrífuga preparativa con 4 rotores.
- Espectrógrafo.
- Espectrofotómetro de fluorescencia.
- Detector evaporativo de dispersión de luz, incluye software y accesorios.
- Centrífuga de mesa refrigerada.
- Termociclador Piko real de 96 pozos.
- Incubadora de CO₂ y ultra congelador vertical.
- Liofilizadora Freezone Plus de 2.5 litros. cascada a 115v. Modelo 767002.
- Incubadora SHKR MAXQ 6000 refrigerada con agitador.
- Fuente de iluminación, mesa óptica y juego de 4 patas antivibratorias.
- Microscopio estereoscópico.
- Fotodocumentador Smartview Pro 1100 con conexión para PC.

FIGURA 4. Laboratorio de Depósito de Películas Delgadas.



- Gabinete de seguridad biológica clase II tipo A2.
- Lector de placas Multiskan go UV/Vis.
- Balanza analítica.
- Sistema de cromatografía de proteínas AKTA PRIME PLUS.
- Thermostat Plus básico intercambiable y accesorios diversos.
- Espectrofotómetro Nanodrop ND 2000C.
- pH metro marca JENWAY.

Instrumentación para la preparación de materiales

- Cámaras de crecimiento por erosión iónica (3).
- CVD filamento caliente.
- Sistema spray pirolisis.
- Atomic Layer Deposition custom-made.
- Sistema CVD proyección de plasma.
- Sistemas de erosión iónica para el depósito de películas, con cámara de alto vacío y cañones de 2" (2).
- Sistema de depósito por láser pulsado (PLD) para la elaboración de películas. El láser es de Nd-YAg de alta energía (3 Joule) Continuum Presicion II, y se cuenta con 3 cámaras de alto vacío, una de ellas acoplada a un sistema de erosión iónica.
- Purificador de agua de alta pureza.
- Refrigerador y congelador para conservación de muestras biológicas e inorgánicas.

FIGURA 5. Laboratorio de XPS para el análisis químico de materiales.



- Hornos de alta temperatura, molino de bolas, microbalanza, morteros, prensa y troqueles para la elaboración de cerámicas y blancos.
- Centrífugas (2).
- Reactor de flujo continuo para la fabricación de nanoestructuras (1).
- Micromezclador de fluidos (1).

Instrumentación para la caracterización de materiales

- Sistema XPS PHI 548 y sistema Riber LDM-32.
- XPS SPECS, de alta resolución (1).
- Espectrómetro Infrarrojo Bruker, Modelo Tensor 27, (1).
- Sistema de medición efecto Hall y transporte Nliq a temperatura ambiente Ecopia HMS-5000 (1).
- Sistema AFM-nanoindentador consistente en los equipos Multimode Mode AFM.
- NanoScope III y TriboScope.
- Sistema FTIR Matheson.
- Sistema para microscopía de campo-oscuro consistente en mesa óptica, lámpara Vis-IR.
- Microscopio Nikon.
- Espectrofotómetro y equipo periférico.

Equipo de espectroscopía de plasmas para la caracterización *in-situ* de los procesos de depósito de películas

Caracterización óptica

- Espectro-elipsómetro para trabajar *in-situ* y otro para *ex-situ*.
- Reflectómetro.
- Espectrofotómetro UV-Vis.

Caracterización eléctrica, dieléctrica y ferroeléctrica

- Sistema RT66A de Radiant Technologies (medida de ciclo de histéresis, corrientes de fuga, fatiga y envejecimiento).
- Puente LCR para medidas dieléctricas y piezoeléctricas así como adquisición de diagramas de Cole-Cole; y sistema elaborado “en casa” para la obtención de curvas de permitividad *vs.* temperatura y frecuencia que usa un puente LCR 4284A de Hewlett Packard.
- Sistema automatizado analizador de impedancias Solartron acoplado a un criostato. Análisis dieléctrico desde 1mHz hasta 30 Mhz y desde 80 K hasta 500 K.
- Electrómetro 6517^a para medidas de DC, piroelectricidad, corrientes de fuga, resistividad o conductividad empleando 4 puntas.
- Estación de micromanipuladores CPX-VF de LakeShore, dos brazos con criostato y bobina semiconductor (4 K hasta 400 K, 0 a 2.5 Teslas, LHe y LN) para la caracterización de películas delgadas.
- Sistema de refrigeración criogénico de ciclo cerrado de He acoplado con un sistema automatizado de control de campo magnético Lake Shore Cryotronics para la caracterización magnetoeléctrica.
- Espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier Thermo Nicolet 3400.
- Espectrómetro de UV-Vis de fibra óptica con accesorios para las mediciones a temperaturas elevadas.

Reactor catalítico para las mediciones avanzadas en la reacción de reducción de NO_x

- Bombas para líquidos de flujo continuo (3).
- Espectrómetro de masas (1).
- Reactor catalítico para las mediciones avanzadas (1).
- Espectrómetro de UV-Vis de fibra óptica con accesorios para las mediciones a temperaturas elevadas y en fase líquida con temperatura y agitación controlados (1).
- Analizador de gases (NO y NO₂) (1).
- Equipo ultrasónico de alta poder (1).

- Reactor continuo fase gas de flujo dinámico. Para reacciones de HDS, HDO e HYD selectiva.
- Reactor continuo para la Fischer-Tropsch, reformación de metano, propano y alcoholes, reacción de desplazamiento de vapor de agua.
- Sistema de FTIR con línea de alto vacío para la adsorción de moléculas prueba como CO, NO, amoníaco y piridina, así como celda de reacción para análisis *in-situ*.
- Cámara LEED-AES-STM de ultra alto vacío
- STM para operar en ambientes electroquímicos o EC-STM (Electrochemical STM), equipado con un bipotenciostato y miniceldas electroquímicas.

La Unidad de NanoCaracterización cuenta con varios equipos científicos especializados para la caracterización de materiales

- Microscopio electrónico de transmisión JEOL JEM-2010 (TEM) con filamento de LaB₆ y adquisición de imágenes digitales.
- Microscopio electrónico de transmisión de barrido JEOL JEM-2100F (STEM) con cañón de electrones tipo emisión de campo-Schottky, modo barrido, adquisición digital de imágenes, análisis químico por medio de espectroscopía de dispersión de energía (EDS), mapas y espectroscopía de pérdida de energía de electrones (EELS).
- Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5300 (SEM) con detector para hacer análisis químico por medio de dispersión de energía (EDS), adquisición digital de imágenes.

FIGURA 6. Microscopio electrónico de transmisión JEOL JEM-2100F (STEM).



FIGURA 7. Laboratorio de Rayos-X.



- Sistema integral de microscopía electrónica (SEM) y haz de iones enfocados (FIB) JEOL JIB-4500 (SEM+FIB), con sistemas de depósito de capas metálicas, nanomanipulador, espectroscopía de catodoluminiscencia y de dispersión de energía (EDS).
- Microscopio de fuerza atómica Park System modelo XE-BIO (AFM), con capacidad de análisis de la topografía de muestras biológicas.
- Microscopio de fuerza atómica Park System modelo XE-70 (AFM), con capacidad de análisis de la topografía para una gran gama de superficies en el campo ciencia de materiales. Adicionalmente, este microscopio cuenta con el accesorio para realizar microscopía de piezo-fuerza (PFM).
- Difractómetro de rayos X Philips X'pert MPD (XRD), para mediciones de difracción en polvos y haz rasante de películas delgadas, cuenta con un accesorio para hacer mediciones a temperatura variable, 90-600°K.
- Difractómetro de rayos X Panalytical X'pert Pro MRD (XRD), con cuna tipo euleriana para mediciones de difracción en películas delgadas.

Colaboraciones

El CNyN mantiene una amplia colaboración con instituciones locales, nacionales e internacionales así como otros centros e institutos de la UNAM.

Instituciones locales

- Universidad Autónoma de Baja California en sus tres principales campus: Mexicali, Tijuana y Ensenada.
- Instituto Tecnológico de Tijuana.
- Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).
- CETYS, Tijuana.

Instituciones nacionales

- La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Universidad de Sonora.
- Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Instituto Mexicano del Petróleo, Cd. de México.
- Universidad Michoacana.
- Universidad Autónoma Metropolitana.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua.
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Unidad Querétaro.
- Centro de Investigación y Química Aplicada. (CIQA).
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Chihuahua.
- CICATA -IPN.
- Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- Instituto Tecnológico de los Mochis, Sonora.
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Instituciones internacionales

- Universidad de Ohio, Ohio, EUA.
- Universidad de la Habana, La Habana, Cuba.
- Universidad de Cambridge, Inglaterra.
- Universidad Goethe de Frankfurt, Alemania.
- Universidad de Texas, Dallas, EUA.
- San Diego State University, San Diego, California, EUA.
- Borekov Instituto de Catálisis, Rusia.
- Laboratory of Industrial Catalysis, Finlandia.
- Universidad de Bella Horizonte, Brasil.
- Limerick University, Material Science Institute, Irlanda
- CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, India.
- ICP-CSIC, Madrid, España.
- Universidad de Bilbao, España.
- Universidad de Málaga, España.
- Universida de Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil.

- Universida de Estadual de Maringá (UEM), Brasil.
- Universidad de Barcelona, España.
- Universidad Santiago de Compostela, España.
- Universidad de California-San Diego (UCSD), EUA.
- Technion-Israel Institute of Technology, Israel.
- Universidad Complutense de Madrid, España.
- Universidad Politécnica de Cartagena, España.
- ICMM-CSIC, Madrid, España.
- Université de Lorraine, Nancy, France.
- Universidad de Siena, Italia.
- Universidad de Concepción, Chile.
- Universidad de California, Los Ángeles, EUA.
- University of Twente, Holanda.

Centros e institutos de la UNAM

- CFATA.
- Instituto de Física.
- Instituto de Ciencias Nucleares.
- Instituto de Biotecnología (IBT).
- Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Instituto de Investigación en Materiales.

Laboratorio Nacional de Micro y Nanofabricación (nanoFAB)

El Laboratorio Nacional de Nanofabricación (nanoFAB) se aprobó como Laboratorio Nacional del CONACYT dentro de las instalaciones del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, en Ensenada Baja California. Se creó en respuesta a la necesidad de contar con un Laboratorio para la investigación y desarrollo en el área de micro y nanofabricación de dispositivos con diversas aplicaciones en la ciencia, electrónica, medicina, biología, óptica, industria automotriz, industria del petróleo, entre otros, y de posicionar a México como el país líder a nivel latinoamericano en dichos procesos. Es un espacio de ambiente controlado equipado con tecnología de última generación para el desarrollo y fabricación de micro y nanodispositivos en la escala micro y nanométrica, provisto de un cuarto limpio clase 1000 en un área total de 274 m² y un área efectiva de 112.5 m². Cuenta con mobiliario y equipos de procesos de litografía para los procesos descritos.

Los objetivos del NanoFAB son:

- Incrementar la participación de investigadores mexicanos en proyectos de investigación, nacionales e internacionales, relacionados con sus procesos, integrar grupos consolidados de científicos en materiales, ingeniería, física y química y biotecnología con expertos en las áreas de nanofabricación.

- Capacitar a estudiantes en los procesos de micro y nanofabricación de dispositivos de próxima generación en ambientes controlados similares a los utilizados en la industria de semiconductores.
- Fortalecer la vinculación de la academia con la industria nacional e internacional en proyectos de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación.
- Desarrollar un ecosistema de incubación de empresas (*start-up*) que permita desarrollar prototipos a partir de investigación básica fundamental desarrollada en nanoFAB.

Perspectivas del CNyN

La misión del Centro de orientar la proyección multidisciplinaria se va proyectando con éxito hacia su visión en la investigación científica básica de alto nivel, y potencialmente tecnológica, para la generación del conocimiento de excelencia. El CNyN ha participado a nivel nacional e internacional en la creación de redes temáticas emergentes de investigación, en donde convergen los sectores académico, empresarial, gubernamental y social, cuyo beneficio se traduce en la comunicación, discusión, intercambio y difusión de conocimiento para la resolución de problemas específicos o necesidades irrenunciables, aunado al acceso de infraestructura y equipamiento de frontera, que facilita la gestión de recursos de diversa índole. Este sistema se ha ido fortaleciendo y mejorado los existentes.

En los últimos años el CNyN ha tenido grandes avances con la consolidación de la infraestructura científica con que cuenta para el apoyo a la investigación, y con la creación de la Unidad de Nanocaracterización (UNaC), en donde se concentra gran parte de esta infraestructura científica. La UNaC ya forma parte de los Laboratorios Universitarios de la UNAM y está en proceso su certificación para dar apoyo y servicios más eficientes a la comunidad académica interna y externa al CNyN, a los sectores empresarial de alta tecnología y gubernamental de la zona noroeste del país, y potencialmente a nivel federal. Se están implementando los mecanismos para que la UNaC sea autosustentable, y genere los recursos necesarios para su funcionamiento. Se han tomado acciones mediante la suscripción de convenios de colaboración con instituciones académicas, científicas y empresas en temas de tecnología de frontera, que reflejan el requerimiento de los servicios y asesorías especializados del CNyN.

Aunado al reforzamiento de la infraestructura y la creación de la UNaC, se ha creado el Laboratorio Nacional de Micro y Nanofabricación (nanoFab), en el cual participan la Universidad de Sonora, algunas instituciones académicas y científicas de Baja California, el Gobierno del Estado y empresas locales interesadas en el desarrollo de dispositivos de nanotecnología. Este proyecto nacional será el primero en su tipo en el país, en el cual se espera desarrollar dispositivos a escalas micro y nanométrica de alta tecnología. El

proyecto nanoFab se encuentra en su segunda etapa. Cuenta con el espacio físico para su implementación con condiciones de cuarto limpio grado 1000, e instrumentación para llevar a cabo nanolitografía en obleas de silicio. El Laboratorio nanoFab forma parte de los programas del CONACyT sobre Laboratorios Nacionales.

El CNyN tiene un gran compromiso con la formación de recursos humanos en las áreas de NyN, es por esto que hace seis años se inició el único programa de Licenciatura en Nanotecnología en la UNAM y cuyas características, comparadas con otros programas en el país, son las mejores al contar con más infraestructura a nivel de educación e investigación y con personal especializado en las NyN al alcance de los estudiantes. Estrategia institucional que les permitirá apuntalar las oportunidades multidisciplinarias de inserción en el mercado laboral. Este programa ya está consolidado y la demanda ha ido en aumento.

El CNyN ha iniciado con éxito una plataforma de difusión del conocimiento y divulgación de la cultura mediante la suma de talentos de la comunidad académica y estudiantil. Suceso que ha captado la atención local y federal de la sociedad acerca de las capacidades y potencialidades del CNyN en cada una de las funciones sustantivas institucionales que realiza, a través de eventos académicos como la casa abierta, jóvenes a la investigación, estancias de verano de la ciencia; deportivos entre diferentes instituciones educativas, y culturales como el festival del conocimiento y el acceso a las artes a través de la danza, el canto, el teatro y el cine, por mencionar algunos. Eventos que han abierto las puertas del Centro a nuevas posibilidades de desarrollo, consolidación y mejora.

Facultad de Ciencias-UNAM*

Reyna Caballero, Carlos Quintanar y Elisa T. Hernández**

RESUMEN: La nanociencia en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México es un tema de investigación compartido tanto por grupos de investigación formados por físicos como por biólogos. Los físicos aplicando métodos de primeros principios de la fisicoquímica computacional estudian fragmentos específicos del genoma del ser humano donde los virus han dejado su huella. Por otra parte, los biólogos aplican métodos de la nanociencia para entender mejor los nanosistemas biológicos que están investigando. Esta situación no debiera sorprender a nadie, si se tiene en cuenta que biólogos, matemáticos y físicos comparten en la Facultad de Ciencias una larga historia. En este trabajo también se describe a grandes rasgos esa larga historia.

PALABRAS CLAVE: Historia de la Facultad de Ciencias-UNAM, virus, evolución.

ABSTRACT: Nanoscience in the Facultad de Ciencias of the Universidad Nacional Autónoma de Mexico is a research subject of physicists and biologists as well. Physicist research groups are studying specific parts of the human genome where viruses melded with our genome and became part of our genome legacy. On the other hand, biologist research groups are applying nanoscience methods to understand better their biological nanosystems. All this should be not surprising because biologist, mathematicians and physicist share a long history together at the Facultad de Ciencias. The high lights of this history are also presented in this work.

KEYWORDS: History of the Facultad de Ciencias-UNAM, virus, evolution.

Semblanza de la Facultad de Ciencias

En la actualidad, la Facultad de Ciencias es parte del grupo de veinte facultades, cuatro escuelas, seis centros y un instituto que conforman la oferta educativa a nivel licenciatura de la Universidad Nacional Autónoma de México [1]. Pero hablar de su historia nos obliga a llevar la mirada a más de un siglo en el tiempo.

A finales del siglo XIX había cuatro escuelas profesionales independientes: Medicina, Jurisprudencia, Ingeniería, Bellas Artes, y además existía la Escuela Nacional Preparatoria. La idea medular era conformar una universidad, para lograrlo se agruparon en un proyecto común estas cuatro

Recibido: 1 de abril de 2016. Aceptado: 26 de abril de 2016.

* Se agradece a los doctores Berta Molina, Jorge Ramón Soto, Alipio Calles, Lourdes Segura, Vivianne Marquina, Manuel Quintana y al maestro José Luis Pérez por la valiosa información proporcionada.

** Correspondencia: Reyna Caballero: (rcaballero@ciencias.unam.mx); Carlos Quintanar: (carlos_quintanar@ciencias.unam.mx); Elisa T. Hernández: (elisat.ha@ciencias.unam.mx). Autor de contacto: Carlos Quintanar, 5622 5321.

escuelas profesionales y la Nacional Preparatoria. De modo que en los inicios del siglo XX, el maestro Justo Sierra lograba por fin la conformación de nuestra universidad. Aun así, en ese momento también era necesario un recinto en el que se culminaran estudios más avanzados, por lo cual se gestó la Escuela Nacional de Altos Estudios, inaugurada cuatro días antes que la Universidad Nacional de México [2].

Esta Escuela Nacional de Altos Estudios estaba construida por tres secciones y, debido a que uno de los aspectos centrales de tal institución era la investigación científica, en una de éstas se debía enseñar e investigar ciencia: biología, física, matemáticas y química. Cabe señalar que el primer curso que se dio en esta Escuela Nacional fue de matemáticas, específicamente sobre funciones analíticas y lo impartió el maestro Sotero Prieto —parteguas en la historia de las matemáticas en México [3].

En 1925 la Escuela Nacional de Altos Estudios se dividió en tres: Escuela Normal Superior, Escuela de Graduados y Facultad de Filosofía y Letras. Esta última conservó la sección de ciencias, la cual, cabe hacer hincapié, no tuvo el mismo desarrollo que las humanidades. Ya para la década de los años treinta, en la sección de ciencias, algunos biólogos obtuvieron su título profesional, Helia Bravo fue la primera en recibirse. En esta misma sección también existía la posibilidad de obtener los grados de maestro y doctor en ciencias físicas y matemáticas [2].

Para el año 1935, se suprimió la sección de ciencias en la Facultad de Filosofía y Letras y, por ende, desaparecieron los grados de maestría y doctorado derivados de dicha sección. En ese mismo año el Consejo Universitario aprobó la estructura general de la Universidad, la cual comprendía el establecimiento de cuatro nuevas corporaciones universitarias: Facultad de Filosofía y Bellas Artes, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Facultad de Ciencias Médicas y Biológicas, y, finalmente, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas [2, 4].

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas comprendía tres entidades: la Escuela Nacional de Ingenieros, la Escuela Nacional de Ciencias Químicas y el Departamento de Ciencias Físicas y Matemáticas, el único de reciente creación y pensado para que en él se realizaran estudios que permitieran otorgar grados de maestro y doctor en ciencias físicas y matemáticas, con especialidad en matemáticas, física o química. Desde ese órgano se promovió la creación de la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas, aprobada en 1936 y ubicada en el Palacio de Minería [4].

A finales de 1938, por iniciativa de los directores de la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Facultad de Filosofía, del Instituto de Biología y del Instituto de Ciencias Fisicomatemáticas, Ricardo Monges López, Antonio Caso, Isaac Ochoterena y Alfredo Baños, respectivamente, se creó la actual Facultad de Ciencias [4].

En 1952 se inauguró Ciudad Universitaria, y para 1954 la Facultad de Ciencias se instala en los edificios que ahora ocupa la División de Educación

IMAGEN 1. Edificio *Tlahuizcalpan* de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Fuente: página electrónica de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Continua y el auditorio Alfonso Caso. Posteriormente, en 1977, la Facultad de Ciencias se muda a sus instalaciones actuales, en el Circuito Exterior de Ciudad Universitaria. En términos de construcción los espacios de la Facultad de Ciencias han crecido, pero también ha aumentado la oferta educativa; por ejemplo, en los años noventa hubo un desarrollo notable al incorporarse a la matrícula la carrera de ciencias de la computación y construirse el edificio Amoxcalli (lugar de los códigos) que alberga la biblioteca. En los albores del siglo XXI, específicamente en 2003, se inauguró el edificio Tlahuizcalpan (donde nace la luz) de docencia en ciencias experimentales; y pasados menos de diez años se construyó el edificio Yelizcalli (casa de la naturaleza). Hoy en día hay un nuevo edificio, abierto desde 2014, que todavía carece de nombre.

En el presente, la Facultad de Ciencias cuenta con alrededor de 8,000 estudiantes, 475 académicos y profesores conforman el personal de tiempo completo y 1,800 profesores de asignatura. Esta facultad es un espacio natural para la generación, distribución y aplicación del conocimiento científico, y prueba de ello es que aquí se imparten las licenciaturas de: actuaría, creada en 1947; biología, abierta desde 1939; ciencias de la computación, ofertada en 1994; ciencias de la Tierra, aparecida en 2010; física, iniciada en 1939; física médica, abierta en 2013; manejo sustentable de zonas costeras, inaugurada en 2006, y matemáticas desde 1939.

IMAGEN 2. Escultura de Prometeo frente a la biblioteca Amoxcalli.



Fuente: página electrónica de la Facultad de Ciencias, UNAM.

La Facultad de Ciencias y la nanociencia

De los 475 académicos de tiempo completo de la Facultad, 16 realizan investigación en áreas relacionadas con las nanociencias; 14 de ellos son profesores de carrera y 2 son técnicos académicos, y casi todos pertenecen al Departamento de Física.

El trabajo de cada grupo es variado. Por un lado, los grupos experimentales desarrollan películas nanoestructuradas y nanomateriales para encapsular material radioactivo para uso médico, además de realizar caracterización espectroscópica. Por otra parte, los grupos teóricos realizan estudios en el campo de la fisicoquímica computacional. Finalmente, en el área de biología, se desarrollan varias líneas de investigación enfocadas al estudio y caracterización de estructuras celulares de dimensiones nanométricas relacionadas con la biología celular de la expresión genética y sus productos en eucariontes y procariontes. Durante el desarrollo de estas líneas de investigación se produjo el descubrimiento de una nueva estructura celular nanométrica de naturaleza ribonucleoprotéica y se demostró que el parásito intestinal *Giardia intestinalis*, considerado durante mucho tiempo como el único eucarionte sin nucléolo, tiene el nucléolo más pequeño de la naturaleza, aproximadamente 200 nanómetros de diámetro.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación

Los caminos de investigación que se siguen son diversos y se pueden agrupar en: aplicación de la teoría del funcional de la densidad al estudio de fulerenos dopados; cúmulos metálicos para catálisis ambiental; encapsulado de material

para uso médico y estudios de interacción de moléculas biológicas con metales, y, nanobiología celular.

En el rubro de estudios de fisicoquímica computacional usando DFT (*density functional theory*, por sus siglas en inglés) se encuentran las siguientes líneas:

- Interacción de moléculas de ARN con complejos metálicos de Au, Ag, Au-Ag.
La interacción entre los seres humanos y los virus a través de la historia de la humanidad [5] ha sido un proceso simbiótico y los virus han tenido un papel importante en la evolución de la vida [5, 6], entre otras cosas han promovido la sobrevivencia de los seres humanos [5, 6, 7]; en esta convivencia ellos han dejado su huella en fragmentos del genoma humano (ARN). Este proyecto se estudia con métodos de primeros principios la interacción de complejos metálicos con fragmentos de esas huellas dejadas en el genoma humano.
- No adiabaticidad en nanorredes hexagonales 2D tipo grafeno y sus unidades moleculares.
El objetivo en este proyecto es estudiar el mecanismo que da origen a las distorsiones fuera del plano que sufren moléculas tipo benceno compuestas por átomos de Si, Ge y Sn.
- Estudio de la estabilidad de cúmulos bimetálicos y/o *core-shell* de oro y plata, basado en cálculos DFT y caracterización de su estructura electrónica y vibracional.
- Cúmulos de metales de transición.
- Propiedades catalíticas de cúmulos, efectos no adiabáticos, reactividad, propiedades electrónicas, propiedades vibracionales, propiedades magnéticas.
- Estudios teóricos aplicando la teoría del funcional de la densidad o DFT de óxidos metálicos puros e impurificados para producir soportes donadores de electrones, que anclen y transfieran carga a cúmulos de oro y cúmulos bimetálicos de oro para su aplicación en catálisis ambiental.
- Estudios experimentales de películas delgadas nanoestructuradas.
- En estos estudios se busca que estas películas tengan una dirección preferencial y tengan actividad óptica.
- Nanomateriales para encapsular material radioactivo para uso médico.

Los siguientes proyectos cuentan con financiamiento de Proyectos PAPIIT:

- Interacción de moléculas de ARN con complejos metálicos de Au, Ag, Au-Ag.
- Estudio de la estabilidad de cúmulos bimetálicos y/o *core-shell* de oro y plata basado en cálculos DFT y caracterización de su estructura electrónica y vibracional.

- Estudio teórico y experimental de transferencia de carga entre nanosuperficies de metales nobles Au-M (M=Pt, Ag, Pd).
- Nanocúmulos bimetálicos interactuando con nanopartículas de TiO_2 y Ce_2O_4 .
- Estudio de los gránulos de *Lacandonia* en diferentes especies.
- Correlación estructura-función transcripcional del nucleolo del parásito *Trypanosoma cruzi*.
- Nanobiología del nucleolo y de la nucleogénesis.
- Estudio de la nucleogénesis en *Giardia lamblia*.
- Nucleogénesis en *Trypanosoma* y en *Entamoeba*.
- Nanobiología del nucleolo.
- Elaboración de un texto para el curso optativo de la asignatura de nanobiología celular de la carrera de biología.

Los siguientes proyectos cuentan con financiamiento de Proyectos CONACYT:

- Estudio de la estructura nuclear durante la profase de la mitosis con el microscopio de fuerza atómica.
- Estudio de la estructura del nucléolo con el microscopio de fuerza atómica.

Colaboraciones y proyectos

Los grupos que desarrollan investigaciones en nanociencia han establecido colaboraciones nacionales e internacionales. Los vínculos nacionales con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), con el Instituto Politécnico Nacional (IPN), con la Universidad Autónoma de Nuevo León, con el Laboratorio Nacional de Nanotecnología del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), ubicado en Chihuahua. Las colaboraciones interinstitucionales han sido con el Instituto de Investigación de Materiales, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y la Facultad de Ingeniería. Dentro de las colaboraciones internacionales podemos mencionar las que hemos tenido con la Universidad de Florida y con la Common Wealth University of Virginia.

Infraestructura

Se cuenta con varios laboratorios de caracterización de materiales por métodos físicos dotados con campanas de flujo laminar, hornos, estufas, hornos de atmósfera controlada, molinos mecánicos (de bolas). También con equipos de caracterización como espectroscopía Mossbauer, un microscopio electrónico de transmisión y un microscopio de fuerza atómica, además de cuatro ultramicrotomos y aparatos que se requieren para el procesamiento de muestras como microscopios ópticos, estufas, centrifugas, máquinas para producir cuchillas.

Como parte de la infraestructura también posee sistemas de cómputo de alto rendimiento dos *clusters* Beowulf (Linux) Nano y Asis, de 40 y 60 cores, respectivamente; un servidor (finter.fciencias.unam.mx) dedicado a la enseñanza de la física, un sistema de respaldo de información de 36 TeraBytes, el cual, al estar en un arreglo de espejo, tiene una capacidad efectiva de 12 TeraBytes, un centro de cómputo de temperatura controlada, importante para evitar fallas en los equipos.

Docencia y formación de recursos humanos

Todos los profesores de carrera y técnicos académicos involucrados en proyectos de nanociencia y nanotecnología están comprometidos con labores de docencia y formación de recursos humanos. Todos ellos imparten cursos a nivel licenciatura en esta facultad y varios también están a cargo de cursos en posgrados de la UNAM. Estos académicos han dirigido tesis a nivel licenciatura y algunos de ellos de doctorado. Específicamente en el área de las nanociencias se han dirigido 7 tesis de doctorado, 4 tesis maestría, 4 de especialidad y 11 de licenciatura.

Principales logros

Se han formado varios grupos dedicados al desarrollo de temas de nanociencia y se han involucrado otros que incluyen ahora temas de nanociencia en sus proyectos, por ejemplo, grupos del área de biología.

Se ha iniciado a congregarse un grupo interdisciplinario y multidisciplinario llamado PUNTA (Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental).

Cada vez, hemos interesado a más estudiantes en la nanociencia como posible área de estudio.

Perspectivas

A pesar de tener grupos de trabajo fuertes, bien conformados, multidisciplinarios y con vínculos favorecedores, y con líneas de investigación de frontera, pensamos en la necesidad de:

- Profundizar en la comprensión de los mecanismos que rigen la interacción entre nanopartículas, entre sustrato nanosuperficie, y nanopartícula.
- Ampliar tanto la interacción interinstitucional como la retroalimentación e interacción entre grupos de investigadores teóricos y experimentales.

Referencias

- [1] Universidad Nacional Autónoma de México. Facultades, escuelas y centros. En: <<http://oferta.unam.mx/escuelas-facultades.html>>.
- [2] Lozano, Juan Manuel. Génesis de la Facultad de Ciencias. En: <<http://www.fciencias.unam.mx/nosotros/historia/Index>>.
- [3] Nota de los editores. (1982). Historia de la Facultad de Ciencias I. Entrevista a Juan Manuel Lozano. *Ciencias*, núm. 2: 36-41.
- [4] Plascencia Gaspar, Leticia, María de la Paz Ramos Lara y Juan Manuel Lozano Mejía. (2011). La formación profesional del físico en la UNAM. *Perfiles educativos*, vol. 33, núm. 131: 155.
- [5] Villareal, Luis P. (2011). Viral ancestors of antiviral systems. *Viruses*, vol. 3, núm. 10: 1933-1958.
- [6] Villareal, Luis P. (2009). The source of self: genetic parasites and the origin of adaptive immunity. *Ann N Y Acad Sci.*, núm. 1178: 194-232.
- [7] Villareal, Luis P. (2009). Persistence pays: how viruses promote host group survival. *Curr Opin Microbiol.*, vol. 12, núm. 4 467-472.

Instituto de Física-UNAM*

Mercedes Rodríguez Villafuerte**

RESUMEN: El Instituto de Física (IF) de la UNAM tiene una amplia comunidad de investigación en física, siendo una institución con un sólido prestigio a nivel nacional e internacional. Por más de siete décadas, ha sido impulsor de diversos centros de investigación en física en México y jugado un papel significativo en la formación de recursos humanos altamente especializados. Actualmente, más del 25% de su planta académica realiza investigación básica y aplicada en nanociencias y nanotecnología (NyN), organizada en alrededor de 17 grupos de investigación con contribuciones tanto teóricas como experimentales, haciendo del IF una institución líder en este ramo. Los académicos experimentales desarrollan actividades de síntesis, caracterización y aplicaciones de nanomateriales en más de 20 laboratorios con técnicas experimentales muy diversas, con equipamiento sofisticado y de vanguardia. Por otro lado, las líneas de investigación teóricas han producido resultados extremadamente novedosos. En este documento se describen a detalle las líneas de investigación, las técnicas tanto teóricas y experimentales cultivadas por nuestros académicos, la infraestructura en equipamiento y laboratorios, la amplia gama de colaboraciones tanto nacionales como internacionales, así como fuentes de financiamiento para los proyectos de investigación. También se mencionan los logros del Instituto de Física en el área de NyN que incluyen: la publicación de artículos científicos en revistas de alto impacto internacional, los cuales reciben permanentemente un gran número de citas; la formación de recursos humanos, difusión y divulgación de la ciencia, la invitación frecuente para participar en comités científicos de congresos de gran prestigio internacional, además de recibir distinciones y premios.

PALABRAS CLAVE: Instituto de Física, investigación básica y aplicada, nanomateriales, laboratorios, colaboraciones.

ABSTRACT: The Institute of Physics (IF) at UNAM has a large community of research in physics, being an institution with a solid national and international prestige. For more than seven decades, it has been driving various physics research centers in Mexico and played a significant role in the training of highly specialized human resources. Currently, more than 25% of its academic staff conducts basic and applied research in nanoscience and nanotechnology (N&N), organized in about 17 research groups with both theoretical and experimental contributions, making the IF a leading institution in this field. Experimental researchers carry out synthesis, characterization and applications of nanomaterials in more than 20 laboratories with a wide range of experimental techniques and sophisticated and cutting edge equipment. Moreover, theoretical research lines have produced extremely novel results. This document describes in detail the research, the theoretical and experimental techniques cultivated by our researchers, our infrastructure (equipment and laboratories), the wide range of national and international collaborations, as well as sources of funding for research projects. Our achievements in the

Recibido: 31 de marzo de 2016. Aceptado: 25 de abril de 2016.

* Se agradece a los académicos del IF que proporcionaron la información para la elaboración de este documento. A la maestra Victoria Silva por su ayuda en la organización de la información.

** Secretaria Académica del IFUNAM, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México, México. Correspondencia: (sac-if@fisica.unam.mx) Tel.: +52 (55) 5622-5034.

N&N area include: the publication of scientific articles in high impact international journals, which permanently receive a large number of citations; the training of human resources, dissemination and popularization of science, the frequent invitation to participate in scientific committees of congresses of international prestige, as well as being recipients of honors and awards.

KEYWORDS: Institute of Physics, basic and applied research, nanomaterials, laboratories, collaborations.

Introducción

Creado en 1939, el Instituto de Física (IF) ha madurado para convertirse en una comunidad de investigación en física importante en el país, con un sólido prestigio internacional y con un indiscutible papel en la formación de recursos. Tiene como misión realizar investigación en física y áreas afines, formar recursos humanos a través de la docencia y la preparación de investigadores y especialistas de alto nivel, difundir nacional e internacionalmente los conocimientos que genera, e impulsar la vinculación de la ciencia con otras actividades culturales, intelectuales y productivas del país.

El IF (figura 1) ha desempeñado un papel prominente en el desarrollo científico universitario y nacional. En la UNAM dio origen a los Institutos de Investigaciones en Materiales (1967), de Nanociencias y Nanotecnología (originalmente Centro de Ciencias de la Materia Condensada, 1997) y de Ciencias Físicas (1998), así como al Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (2002). También ha contribuido a la formación de instituciones externas a la UNAM, como el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato, el Centro de Investigación de Física de la Universidad de Sonora y el

FIGURA 1. Instituto de Física, UNAM.



Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

En la actualidad, nuestra planta académica se integra de un total de 177 miembros, de los cuales 127 corresponden a investigadores y 50 a técnicos académicos. Una fracción importante de los académicos (34 investigadores y 16 técnicos académicos) realiza investigación básica y aplicada en NyN. Aunque el IF tiene una larga tradición de investigación en NyN, desde inicios de la década de 1980, no fue sino hasta el 2004 cuando los diferentes grupos de investigación se organizaron para formar la Red de Grupos de Investigación en Nanociencia (REGINA) de nuestro insti-

tuto. El principal objetivo de REGINA fue promover la colaboración entre grupos de investigación del IF en el tema de nanociencia, con el fin de generar proyectos interdisciplinarios y optimizar el uso de equipo experimental y sistemas de cómputo. Desde entonces, se ha mantenido la organización de eventos académicos de manera coordinada tomando en cuenta los intereses de los grupos de investigación. Adicionalmente, REGINA fue también un antecedente fundamental para la creación de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

A lo largo de los años, el Instituto de Física se ha posicionado como una institución líder en las áreas de NyN. Sus contribuciones desde el punto de vista teórico han sido tan novedosas como aquellas obtenidas utilizando técnicas experimentales. A la fecha se pueden identificar los siguientes grupos de investigación (entre paréntesis se indican los investigadores involucrados). En algunos de ellos existe una afortunada sinergia entre investigadores teóricos y experimentales:

- Caracterización y propiedades ópticas de nanoestructuras (Cecilia Noguez, Alejandro Reyes, Carlos Villagómez, Giuseppe Pirruccio).
- Crecimiento y caracterización de nanopartículas por implantación de iones (Alicia Oliver, Jorge Rickards, Juan C. Cheang, Luis Rodríguez, Alejandro Crespo, José L. Ruvalcaba, Alejandro Reyes, Erick Flores, Edgar Casanova).
- Física computacional de nanomateriales (Ignacio Garzón, Luis A. Pérez, Lauro Paz).
- Microfluídica y biosistemas a nanoescala (Rafael Barrio).
- Microscopía electrónica de nanoestructuras (Patricia Santiago, Jesús Arenas, José Reyes, Dwight R. Acosta).
- Modelos de nanoalambres y transistores de materiales bidimensionales (Gerardo G. Naumis).
- Nanocatálisis computacional *ab initio* (Lauro Paz).
- Nanoestructuras fotónicas y fotoeléctricas (Arturo Rodríguez, Jesús Arenas, Margarita Rivera).
- Nanofotónica de geles (Jorge García).
- Nanosistemas para transporte y liberación de fármacos y radionúclidos (Luis A. Medina).
- Orden atómico local en nanocristales (Xim Bokhimi).
- Películas delgadas nanoestructuradas (Dwight R. Acosta, Arturo Rodríguez).
- Propiedades ópticas de nanocompositos (Rubén Barrera, Cecilia Noguez).

- Propiedades ópticas de nanoestructuras de impurezas en cristales inorgánicos (Héctor Murrieta, José M. Hernández, Enrique Camarillo).
- Propiedades ópticas de nanomateriales (Raúl Herrera).
- Síntesis y caracterización de grafeno (Laura Serkovic, Dwight R. Acosta).
- Sistemas nanoestructurados con aplicación en catálisis (Gabriela Díaz).

Laboratorios del IF que realizan investigación en NyN

A lo largo de más de 70 años de sostenido y arduo trabajo, el Instituto de Física ha desarrollado una importante infraestructura de laboratorios en los cuales se cultivan una gran diversidad de técnicas experimentales. A continuación se presenta una lista de los laboratorios que realizan investigación en NyN.

- Acelerador Pelletron.
- Espectroscopia Óptica de Átomos y Moléculas Individuales en Superficies.
- Física Médica e Imagen Molecular, Unidad de Investigación Biomédica en Cáncer INCan/IF.
- Fotónica de Geles.
- Laboratorio Central de Microscopía.
- Laboratorio Experimental de Grafeno.
- Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC).
- Magnetómetro SQUID.
- Materiales Avanzados.
- Materiales Nanoestructurados.
- Nanociencia Computacional.
- Nanoestructuras Fotónicas y Fotoeléctricas.
- Nanoestructuras Ordenadas.
- Nanofotónica Avanzada.
- Nanomateriales Magnéticos.
- Óptica de Superficies.
- Óptica Lineal.
- Películas Delgadas y Recubrimientos.
- Propiedades Catalíticas de Nanomateriales.
- Refinamiento de Estructuras Cristalinas (LAREC).
- Síntesis de Nanoestructuras.
- Síntesis Virtual.

Algunos de estos laboratorios se han ido mejorando y fortaleciendo con tecnología de punta. Otros son de muy reciente creación, teniendo como

responsables a investigadores jóvenes que ingresaron a través del Programa de Renovación de la Planta Académica de la UNAM, o bien, a través de Cátedras CONACyT.

Líneas de investigación

Las líneas de investigación cultivadas en el IF en NyN son muy diversas y se pueden agrupar en dos grandes rubros: modelos teóricos y desarrollos experimentales. Para el desarrollo del trabajo experimental se cuenta con técnicas y equipamiento especializado para la síntesis de nanomateriales y su caracterización.

Modelos teóricos

Dentro de los desarrollos teóricos que realizan nuestros investigadores se pueden mencionar los siguientes:

- Acoplamiento fuerte entre luz y materia.
- Dinámica molecular clásica.
- Estudio de la forma, tamaño, medio ambiente, composición, e interacción de nanopartículas, nanotubos y superficies, con el fin de entender y predecir sus propiedades electrónicas, ópticas, entre otras propiedades físicas y químicas, combinando teorías de primeros principios, semiempíricas y de la electrodinámica, así como desarrollando e implementando nuevos métodos computacionales para este fin.
- Estudio de la modificación de la emisión de moléculas acopladas a nanoestructuras fotónicas resonantes.
- Estudio de la transferencia de calor en nanoestructuras.
- Estudio de las propiedades ópticas de nanoestructuras a través de simulaciones a elementos finitos, *discrete dipole approximation* y representación espectral.
- Fenómenos de emisión de luz por las transiciones electrónicas en capas atómicas inducidos por los procesos en colisiones ion-átomo así como ion-sólido.
- Fenómenos físicos en la creación de defectos y daños en matrices dieléctricas y semiconductoras debido a los procesos de colisiones ion-sólido en materiales bajo la irradiación con iones.
- Métodos de búsqueda de estados de transición (Nudge Elastic Band, NEB).
- Métodos de optimización: Basin-Hopping Monte Carlo y Algoritmos Genéticos.
- Microfluídica y biosistemas a nanoescala.
- Modelado de cúmulos atómicos de superconductores de H_2S .

- Modelado de cúmulos de clatrato de metano.
- Modelado de la distribución atómica de soportes catalíticos: alúmina, titania y grafeno.
- Modelados de cúmulos atómicos soportados en titania, alúmina y grafeno.
- Modelo para la generación de segundo armónico en películas sol-gel de SiO_2 con cromóforos.
- Modelos de nanoalambres y transistores de materiales bidimensionales como grafeno, disulfuro de molibdeno, nitruro de boro y fosforeno.
- Nanoestructuras metálicas quirales.
- Refinamiento de estructuras cristalinas por el método de Rietveld de sistemas nanoestructurados, principalmente catalizadores soportados.
- Técnicas de inteligencia artificial en problemas de la física y la química. Por ejemplo, para reducir los tiempos empleados en los cálculos moleculares, o para validar el significado físico de algunos de los parámetros que se emplean en el refinamiento de las estructuras cristalinas.
- Teoría del funcional de la densidad dependiente del tiempo (DFT).

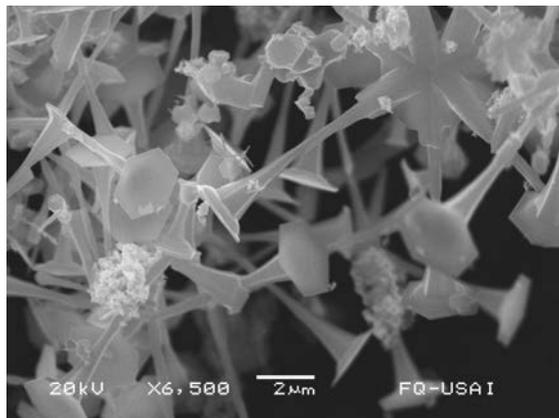
Síntesis de nanomateriales

Un número importante de laboratorios del IF realizan síntesis de nanomateriales a través de las siguientes técnicas: rociado químico neumático y ultrasónico, erosión catódica (magnetron sputtering DC y RF), sol-gel y en sus modalidades *dip coating* y *spin coating*, electro-depósito, baño químico, pulverización catódica, reducción química, métodos utilizando tensoactivos, implantación de iones y, en los próximos meses, también contaremos con litografía electrónica y depósito químico en fase vapor (CVD).

En este rubro se desarrollan las siguientes líneas de investigación:

- Arreglos ordenados de nanoestructuras metálicas con propiedades plasmónicas mediante la técnica de litografía por nanoesferas (NSL), basada en el uso de monocapas autoensambladas de partículas esféricas de sílice usadas como máscaras litográficas.
- Au, Pt, Rh, Re soportados en rutilo.
- Confinamiento 2D: películas delgadas metálicas normales y percoladas. Contactos conductores transparentes basados en óxido de zinc. Películas delgadas de materiales orgánicos y pigmentos con alta deslocalización electrónica.
- Confinamiento 3D: puntos cuánticos de silicio embebidos dieléctricos (Si_3N_4 , SiO_2). Nanocúmulos de oro ($\text{Ø} \approx 5\text{nm}$) uniformemente distribuidos sobre sustratos transparentes.

FIGURA 2. Microestructuras de ZnO crecidas sobre grafito para aplicaciones en sistemas semiconductores. (Cortesía de Patricia Santiago).



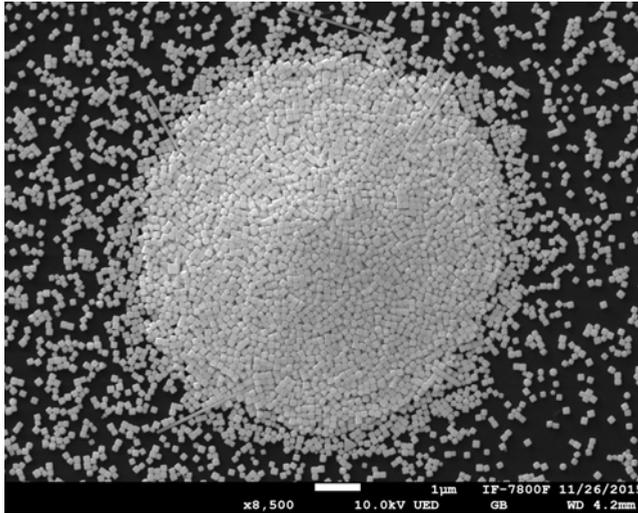
- Construcción de microcanales nanoestructurados.
- Deformación de partículas coloidales mediante la irradiación iónica, principalmente para desarrollar modificar las características de las máscaras para litografía.
- Esferas de Bi metálico con aplicaciones en la liberación de fármacos.
- Grafeno por depósito químico en fase vapor (CVD).
- Materiales conductores transparentes (óxidos metálicos, grafeno, polímeros) en configuración de películas delgadas (figura 2).
- Nanoestructuras de alúmina.
- Nanomateriales con morfología definida a base de CeO_2 .
- Nanopartículas metálicas por métodos físicos (pulverización catódica) y químicos (reducción química).
- Óxido de grafeno.
- Óxidos de metales nobles, hierro y tierras raras.
- Óxidos nanoestructurados como soportes catalíticos.
- Películas de polímeros y de óxidos metálicos mesoestructurados empleando tensoactivos.
- Películas orgánicas conductoras.
- Perovskitas híbridas nanoestructuradas.
- Síntesis controlada de estructuras micro y nanométricas por medio de la implantación de diversos tipos de iones (metales, semiconductores) en matrices dieléctricas.
- Síntesis de materiales mediante la difusión asistida bajo irradiación con iones de alta energía.
- Sistemas unidimensionales basados en Pentóxido de Vanadio con aplicaciones a baterías recargables.
- Titania nanoestructurada.

Caracterización de nanomateriales

Las líneas de investigación desarrolladas en el IF para la caracterización de nanomateriales son las siguientes:

- Acoplamiento de dos y cuatro ondas.
- Birrefringencia.
- Caracterización eléctrica y magnética de estructuras 1D, 2D y 3D mediante:
 - Mediciones de Efecto Hall.
 - Mediciones de voltaje-corriente mediante métodos de 2 y 4 puntas.
- Caracterización espectroscópica de la reactividad de nanopartículas metálicas soportadas.
- Caracterización microestructural de estructuras 1D, 2D y 3D mediante:
 - Difracción de rayos X.
- Microscopía electrónica de transmisión en sus diversas modalidades de operación (TEM campo claro, HRTEM, difracción electrónica, HAADF, EELS, entre otras).
- Caracterización morfológica de estructuras 1D, 2D y 3D mediante:
 - Microscopía electrónica de barrido (SEM).
 - Microscopía de fuerza atómica (AFM).
- Caracterización óptica de estructuras 1D, 2D y 3D mediante:
 - Espectroscopía ultravioleta y visible.
 - Espectroscopía de fluorescencia con excitación láser.
- Caracterización química de estructuras 1D, 2D y 3D mediante:
 - Espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS).
 - Espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS).
- Caracterización química de materiales orgánicos naturales y sintéticos en bienes culturales.
- Corrientes termo-estimuladas (ITC).
- Elipsometría para determinar índice de refracción complejo y espesor de películas delgadas; medición de la extinción, reflexión, emisión luminiscente de muestras nanoestructuradas.
- Espectroscopía óptica de átomos y moléculas individuales en superficies por medio del microscopio de efecto túnel y fuerza atómica no contacto (STM/AFM-NC).
- Estructura cristalina de materiales a la nanoescala, nanopartículas bimetalicas, catalizadores heterogéneos, películas delgadas (figura 3).
- Espectroscopías por:
 - Absorción óptica.
 - De electrones por pérdida de energía.
 - Raman.
 - UV-Vis-IR.

FIGURA 3. Nanopartículas cúbicas de Ag, sintetizadas por métodos químicos y observada en el SEM 7800 FEG. (Cortesía de Gabriela Díaz).



- Fotoconductividad.
- Fotoluminiscencia y fluorescencia.
- Generación de segundo armónico.
- Medición de vidas medias de estados excitados.
- Parámetro de orden.
- Propiedades electrocromáticas y termocromáticas.
- Propiedades fotoquímicas de películas delgadas (TiO_2 , ZnO , WO_3 , entre otras).
- Propiedades magnéticas de nanomateriales.
- Propiedades ópticas (lineales y no lineales), plasmónicas (absorción óptica, Raman-SERS), electrónicas y estructurales de nanopartículas metálicas y semiconductoras en matrices dieléctricas.
- Termoluminiscencia (TL).
- Z-scan.

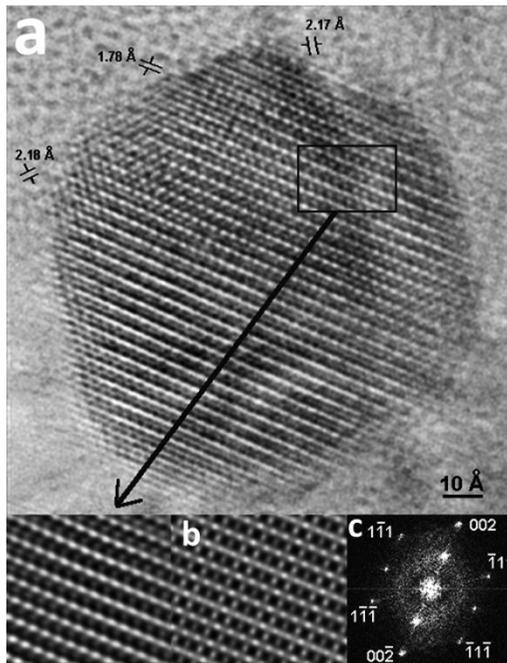
Aplicaciones

Las líneas de investigación tanto teóricas como experimentales mencionadas previamente tienen como objetivo su aplicación en las siguientes áreas:

- Electrónica y nuevos materiales usando sistemas atómicos bidimensionales.
- Apoyar y proponer medidas para la prevención, preservación, intervención y mantenimiento del patrimonio cultural mediante el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados.

- Catálisis heterogénea, celdas de combustible, sistemas de control de emisiones (figura 4).
- Catalizadores para mejoramiento del ambiente.
- Celdas solares orgánicas.
- Convertidores ópticos.
- Desarrollo de estructuras y/o dispositivos basados en arreglos ordenados de estructuras metálicas a escala nanométrica mediante la técnica de litografía por nanoesferas (NSL). Explorar las posibles aplicaciones de estos arreglos ordenados como dispositivos plasmónicos o como sustratos para la espectroscopía Raman-SERS a la escala nanométrica.
- Desarrollo de dispositivos plasmónicos a partir de nanopartículas metálicas embebidas en matrices dieléctricas como sílice y zafiro.
- Desarrollo de guías de onda activas con respuesta a la longitud de onda y estado de polarización de la luz.
- Detección de mínima concentración de moléculas mediante SERS.
- Dispositivos de almacenamiento de información (CDs, DVDs, etc.).
- Dispositivos fotovoltaicos y sensores (químicos, físicos y biológicos).
- Fabricación de láminas de iluminación artificial basadas en silicio nanoestructurado.
- Fabricación de sensores ópticos (basados en estructuras plasmónicas).
- Flujos en capilares biológicos, estudio de propiedades mecánicas de membranas, liposomas y bacterias.
- Funcionalización de nanopartículas de oro (AuNP) para reconocimiento específico de receptores de células tumorales.
- Iluminación de estado sólido, fotodetectores basados en grafeno.
- Implementación de capas *down-conversion* para la mejora en eficiencia de celdas solares (orgánicas y silicio nanoestructurado).
- Lentes dinámicas.
- Limitadores ópticos.
- Liposomas como vectores de transporte de nanopartículas de magnetita para estudios de hipertermia en modelos tumorales.
- Materiales para teranóstica.
- Nanocatalizadores para control de contaminación ambiental (NO, CO₂, CO, CH₄), producción de hidrógeno (a partir de alcoholes) y purificación de hidrógeno (reacción PROX).
- Nano-óptica y nano-electrónica.
- Nanopartículas mono y bimetálicas con aplicación en química fina.
- Producir materiales cromogénicos para ahorro y producción de energía (ventanas inteligentes electrocrómicas y termocrómicas).
- Remediación ambiental (fotodegradación de contaminantes orgánicos).

FIGURA 4. a) Imagen obtenida por HRTEM de una nanopartícula bimetalica de NiPt; b) simulación de imagen con software simulaTEM, y, c) transformada de Fourier. Aplicación en catálisis heterógena. (Cortesía de Jesús Arenas).



- Semiconductores, baterías recargables y liberación de fármacos (funcionalización de proteínas).
- Transistores orgánicos.

Financiamiento de la investigación en NyN

Existen diferentes fuentes para el financiamiento de la investigación en NyN a las cuales recurren nuestros académicos, las más importantes de los últimos cinco años se listan a continuación:

- Financiamiento de la UNAM
- Instituto de Física.
- Coordinación de la Investigación Científica.
- Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM.
- Convenio de Colaboración Académica, Científica y Cultural entre la UNAM y la Università degli Studi di Padova, Italia.
- Financiamiento – Nacional

- Centro de Investigación en Polímeros.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), convocatorias de:
 - Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica.
 - Apoyos Complementarios para el Establecimiento y Consolidación de Laboratorios Nacionales.
 - Apoyos Complementarios para la Adquisición de Equipo Científico.
 - Cátedras CONACyT para Jóvenes Investigadores.
 - Ciencia y Tecnología para la Capital del Conocimiento.
 - Colaboración Científica Internacional en Investigación en la Ciencia de Materiales.
 - Desarrollo Tecnológico e Innovación.
 - Fondo Sectorial CONACyT SENER Sustentabilidad Energética.
 - Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social SS-IMSS-ISSSTE-CONACyT.
 - Integración de Redes Temáticas CONACyT de Investigación.
 - Investigación Ciencia Básica.
 - Investigación en Fronteras de la Ciencia.
 - Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica.
 - Programa de Estímulos a la Investigación.
 - Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales.
 - Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal.
 - Fondo de Fomento al uso de Tecnologías de Punta en la Investigación Científica y Tecnológica del D. F.
 - Secretaría de Relaciones Exteriores.
 - Financiamiento – Internacional
 - Air Force Office of Scientific Research (AFOSR), EUA.
 - Conjunta ANR – CONACyT.
 - Conjunta CONACyT – CNPq México Brasil en Nanotecnología.
 - Conjunta México – Comisión Europea de Proyectos de Nanociencias como Nanomateriales.
 - Cooperación Bilateral Científica y Tecnológica (Argentina, Alemania, Italia).
 - University of California Institute for Mexico and the United States (UCMEXUS) – CONACyT.

Adicionalmente, también se cuenta con recursos extraordinarios provenientes de la prestación de servicios, por ejemplo del LCM, LAREC y LANCIC.

Colaboraciones

Las colaboraciones de nuestros académicos son muy dinámicas y se realizan con investigadores de universidades y centros de investigación nacionales e internacionales.

Nacionales - Dependencias de la UNAM

- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico.
- Centro de Nanociencias y Nanotecnología.
- Facultad de Ciencias.
- Facultad de Química.
- Instituto de Ciencias Nucleares.
- Instituto de Geofísica.
- Instituto de Investigaciones en Materiales.
- Instituto de Química.

Nacionales – Externas a la UNAM

- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional.
- Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional
- Centro de Investigaciones en Óptica, CONACyT.
- Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional.
- Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Instituto Nacional de Bellas Artes.
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Universidad Autónoma de Morelos.
- Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa y Azcapotzalco.
- Universidad de Sonora.

Internacionales

- Centre d'Élaboration de Matériaux et d'Études Structurales, Francia.
- Centro Atómico Bariloche, Argentina.

- Chalmers University of Technology, Suecia.
- Commissariat d'Énergie Atomique, Francia.
- Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas (Red Clara).
- Dutch Institute for Fundamental Energy Research DIFFER, Holanda.
- Facultad de Ciencias de la Universidad de los Andes, Venezuela.
- Facultad de Física, Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima, Perú.
- Harvard University, EUA.
- Institut Jean Lamour, Francia.
- Instituto de Tecnología en Química, Universidad Nacional de San Luis, Argentina.
- Kings College London, Reino Unido.
- Penn State University, EUA.
- Planta Piloto de Ingeniería Química, PLAPiQUI, Argentina.
- Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, EUA.
- Universidad de Arkansas, EUA.
- Universidad de Barcelona, España.
- Universidad de California, EUA.
- Universidad de la Habana, Cuba.
- Universidad de Padua, Italia.
- Universidad de Sevilla, España.
- Universidad de Texas, San Antonio, EUA.
- Universidad George Mason, EUA.
- Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, Perú.
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia.
- Universidad Pierre et Marie Curie - Paris VI, Francia.
- Universidad Técnica del Altiplano de Puno, Perú.
- University College London, Reino Unido.
- University of British Columbia, Canadá.
- University of North Carolina, EUA.

Infraestructura

Los laboratorios del IF cuentan con equipos muy diversos para realizar tanto la síntesis como la caracterización y sus aplicaciones de los nanomateriales listados en este documento. En esta sección se menciona la infraestructura que, por su costo y complejidad, se considera de mayor relevancia.

El Laboratorio Central de Microscopía (LCM) del IF es una unidad de servicios que apoya proyectos de investigación (internos y externos) en el estudio de nanomateriales, empleando diversas técnicas de microscopía de alta resolución. El LCM tiene actualmente en operación los microscopios listados en la tabla 1.

TABLA 1. Microscopios en operación en el Laboratorio Central de Microscopía del IF .

DESCRIPCIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	ACCESORIOS
Microscopio electrónico de transmisión JEOL TEM JEM-2010FEG	0.19 nm	Microsonda para realizar análisis por (espectroscopía de energía dispersiva) EDS y cámara para capturar patrones de difracción.
Microscopio de fuerza atómica JEOL JSPM4210	0.01 Å vertical 0.1 Å horizontal	Las muestras se pueden trabajar a presión atmosférica y hasta una presión de 10^{-6} torr.
Microscopio electrónico de barrido JEOL FE SEM 7800F	0.7 nm	Detectores de electrones secundarios y retrodispersados, además de una microsonda para realizar análisis por EDS.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, el LCM cuenta con una área exclusiva para preparación de muestras en donde, en años recientes, se realizó una inversión importante para la compra de equipo que incluye un micrótopo, un desecador de punto crítico, un limpiador de plasma e instrumental menor.

La infraestructura más relevante para la implantación de iones con la que cuenta nuestro instituto es el acelerador Tandem Pelletron modelo 9SDH-2 de la National Electrostatics Corporation, el cual inició operaciones en 1995. Se trata de un acelerador electrostático de 3 MV capaz de acelerar una gran variedad de iones (con energías entre 2 y 30 MeV dependiendo del tipo de ion y de su carga) para la formación de nanopartículas en atmósferas limpias.

El Laboratorio de Refinamiento de Estructuras Cristalinas (LAREC) se especializa en el análisis de la distribución atómica de los materiales. LAREC cuenta con un difractómetro de rayos X modelo D8-Discovery de la marca Bruke, con blancos de molibdeno y cobre. Además, tiene configuraciones de medición en reflexión y transmisión con haz monocromático de molibdeno. En ambas configuraciones la muestra puede estar a temperaturas entre la ambiente y los 1000 °C.

El Laboratorio de Propiedades Catalíticas de Nanomateriales cuenta con espectrofotómetros FTIR (infrarrojo medio), Nicolet Nexus 470 y Nicolet-Thermo i50 con detector MTC-A; celda DRIFT para el seguimiento de reacciones heterogéneas gas-sólido, atmósfera controlada y posibilidad de calentamiento; un espectrómetro de masas (tipo cuadrupolo) Hiden-HPR 20; un analizador Autosorb 1MP Quantachrome para determinación de área específica, volumen y distribución de tamaño de poro.

El Instituto de Física instaló, desde hace varios años, una unidad para el desarrollo de proyectos relacionados con la física médica en las instalaciones del Instituto Nacional de Cancerología (INCan). En dicha unidad se desarrollan nanoesferas lipídicas para terapia de cáncer, con equipamiento

sofisticado que incluye un sistema trimodal de imagen microPET/SPECT/CT (Albira, Oncovisión).

El Laboratorio de Materiales Avanzados tiene un microscopio confocal con micro Raman, que cuenta con tres láseres con longitudes de onda de 520, 630 y 720 nm, además de un nano Zetasizer NZ 3600 marca Malvern, con resolución en tamaño de partícula de 0.6 nm.

En los últimos 5 años el Laboratorio de Espectroscopía Óptica de Átomos y Moléculas Individuales en Superficies ha venido diseñando y desarrollando un microscopio de efecto túnel y de fuerza atómica de no contacto que opere en condiciones de ultra alto vacío y a baja temperatura, y que además esté acoplado a un sistema de espectroscopía Raman. El sistema permitirá, en un futuro cercano, el control a nivel de un sólo átomo o molécula, con lo que será posible investigar y experimentar con átomos y moléculas individuales adsorbidos en superficies atómicamente planas metálicas, semiconductoras y aislantes.

El Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) es un nuevo laboratorio interdisciplinario multisede inaugurado en 2015 en el cual se cuenta con un espacio específico dotado de más de quince espectrómetros especializados para la caracterización no destructiva *insitu* poner cursiva mediante técnicas espectroscópicas portátiles y novedosos métodos de imagen multiespectral.

Por último, en el 2015 se inició la instalación de Magnetómetro tipo SQUID (*Superconducting quantum interference device*) MPMS3 de la marca Quantum Design con sensibilidad $\leq 10^{-8}$ emu y un licuefactor de He, los cuales permitirán realizar investigación de frontera en materiales magnéticos.

Desde el punto de vista de infraestructura para desarrollar modelos computacionales, es importante mencionar que el IF cuenta con laboratorios de supercómputo que incluyen cuatro clústers y dos estaciones de trabajo con GPU's, cuyas características se presentan a continuación:

Mingus: 5 nodos, 1 maestro y 4 esclavos, 176 núcleos en total, 360 GB de RAM, 20 TB de almacenamiento y GPU Tesla M2090.

Ellington: 32 cores en total, 64 GB de RAM, 0.5 TB de almacenamiento y 2 GPU Tesla C2075.

Coltrane: 8 núcleos en total, 6 GB de RAM y 0.5 TB de almacenamiento.

Baktum: 5 nodos, 1 maestro y 4 esclavos, 128 núcleos en total, 2 TB de RAM y 2 TB de almacenamiento.

Estos clústers usan en su mayoría las siguientes aplicaciones: Matlab, Mathematica, Maple, NwChem, BLACS, Scalapack, COMSOL y SIESTA. Adicionalmente, un número importante de nuestros investigadores que trabajan en NyN tiene acceso a los recursos de la supercomputadora HP Cluster Plataform 3000SL "Miztli" de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, UNAM, la cual cuenta con 5,312 núcleos de procesamiento, 23,000 GB de RAM y 225 TB de almacenamiento.

Instrumentos de protección intelectual

Al momento de elaborar este documento se tiene solicitada la patente “Proceso para la preparación de catalizadores de paladio y platino soportados en óxidos nano-estructurados para convertidores catalíticos”, con identificador MX/a/2010/012921, la cual se elaboró en colaboración con el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM. Se ha dado respuesta al primer requerimiento.

Docencia y formación de recursos humanos

Los académicos del IF que realizan investigación en NyN tienen una participación destacada en la licenciatura en física de la Facultad de Ciencias, así como en los posgrados en ciencias físicas y en el de ciencias e ingeniería de materiales de la UNAM. Esta labor se ha ampliado en los últimos años con la participación activa de nuestros académicos en otras facultades (por ejemplo de Ingeniería o Química) y otros posgrados (ingeniería, ciencias químicas, etc.). Estas actividades involucran clases frente a grupo, supervisión de servicios sociales, dirección de tesis de licenciatura y posgrado. También supervisan a investigadores posdoctorales.

La alta calidad de las tesis dirigidas ha producido una cantidad importante de premios otorgados a nuestros graduados que incluyen: la Medalla Alfonso Caso, UNAM; los Premios Weizmann a las mejores tesis doctorales en el área de Ciencias Exactas de la Academia Mexicana de Ciencias, así como el Premio IIM-UNAM a la Mejor Tesis Doctoral en el Área de Ciencia e Ingeniería de Materiales.

Principales logros

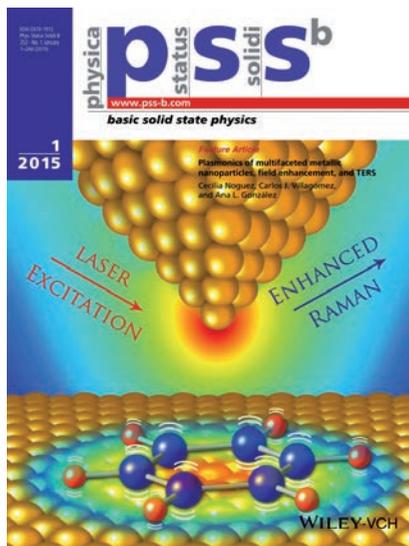
Los logros obtenidos por nuestros académicos en el área de NyN son muy amplios, pues no sólo involucran la publicación de artículos científicos en revistas de alto prestigio internacional (figura 5), sino también aportaciones significativas en el área de formación de recursos humanos, difusión y divulgación de la ciencia.

A continuación se mencionan algunas de las publicaciones más relevantes en NyN de los últimos cinco años. Destacan publicaciones en prestigiosas revistas como *Nano Letters*, *ACS Nano*, *Nanoscale*, *Journal of Physical Chemistry Letters* y *Fuel*, con factores de impacto de 13.6, 12.1, 7.4, 7.29, 3.9, respectivamente.

“Plasmonic nanobilliards: Controlling nanoparticle movement”, publicado en *Nano Letters* (11-8, 3398, 2011), discute la posibilidad de manipular a voluntad la agregación o segregación de nanopartículas utilizando fuerzas inducidas por un haz de electrones.

En “Electromagnetic field enhancement for wedge-shaped metal nanos-

FIGURA 5. Portada en la revista *Physica Status Solidi B* tomada del artículo “Plasmonics of multifaceted metallic nanoparticles, field enhancement and TERS” (252-1, 56-71, 2015).



estructuras” se demuestra, utilizando una teoría cuasiestática, la importancia de las resonancias de plasmones superficiales localizadas cerca de la superficie de una cuña de plata o de oro (*J. Phys. Chem. Letters*, 2-16, 1978, 2011).

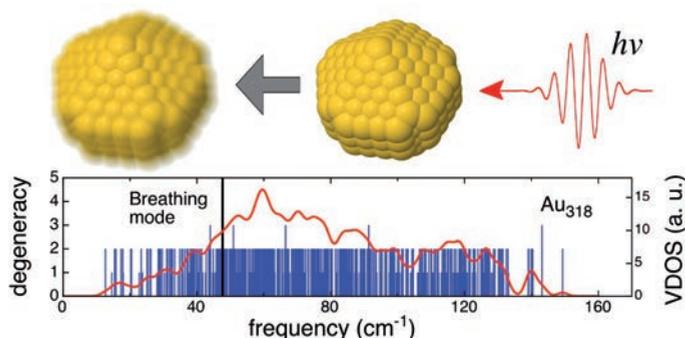
El artículo “Methane oxidation over Pd catalysts supported on binary $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-La}_2\text{O}_3$ oxides prepared by sol-gel method” reporta el efecto del contenido de lantana en las propiedades del paladio soportado en óxidos mixtos alumina-lantana para la oxidación de metano (*Fuel*, 93, 136-41, 2012).

En “Propagation of electromagnetic waves in stochastic helical media” se propone una descripción estocástica de medios quirales electromagnéticos (*Phys. Rev. E* 86(3-1), 031702, 2012).

En otra colaboración teórico-experimental internacional (“Vibrational properties of metal nanoparticles: Atomistic simulation and comparison with time-resolved investigation”, *J. Phys. Chem.* 116, 25147, 2012) se presentan varios resultados teóricos novedosos de las propiedades vibracionales de nanopartículas metálicas de hasta 4 nm obtenidos con métodos de simulación atomísticos que se comparan de forma excelente tanto con datos experimentales como con resultados de un modelo de medio continuo.

El trabajo publicado en la prestigiosa revista *ACS Nano*, “Optical activity of achiral ligand SCH3 adsorbed on achiral Ag-55 clusters: Relationship between adsorption site and circular dichroism”, (7-1, 513, 2013) reporta el espectro del dicroísmo circular electrónico de una molécula de SCH_4 en diferentes sitios de una nanopartícula formada con 55 átomos de plata con simetría icosaédrica utilizando la teoría del funcional de la densidad dependiente del tiempo.

FIGURA 6. Cálculos teóricos y experimentos recientes confirman la existencia y activación del modo de vibración radial (respiración) en nanopartículas de oro de tamaño 2-4 nm. (Cortesía de Ignacio Garzón).



Otro artículo en una revista de muy alto impacto fue el trabajo en *Nanoscale*, “Metallic influence on the atomic structure and optical activity of ligand-protected nanoparticles: A comparison between Ag and Au” (6-6, 3325-34, 2014). Recientemente también se publicó un reporte invitado en *Physica Status Solidi B* al cual se le concedió la portada de la revista (“Plasmonics of multifaceted metallic nanoparticles, field enhancement and TERS”, 252-1, 56-71, 2015).

El grupo de Propiedades Ópticas de Nanomateriales publicó recientemente en *Nano Letters* (16-3, 1568-73, 2016) y *Nanoscale* (7, 20734-42, 2015). En la primera de ellas se reporta la síntesis y caracterización estructural de nanoalambres helicoidales de oro-cobre con diámetros menores de 10 nm, mientras que en la segunda se reporta la producción eficiente y caracterización de nanoestrellas pentagonales de oro-cobre, con aplicaciones potenciales en biomedicina y catálisis.

Con respecto a investigaciones sobre grafeno deformado, se han propuesto ecuaciones correctas que describen sus propiedades electrónicas y se han calculado sus propiedades ópticas. Por otro lado, se ha utilizado simetría subyacente para explicar las propiedades del grafeno dopado y se ha demostrado la existencia de una pseudobrecha así como de modos fractales. Estos estudios han logrado varios reconocimientos a nivel internacional, como la reciente invitación a escribir un artículo de revisión sobre grafeno deformado en la prestigiosa revista *Reports in Progress Physics* con factor de impacto de 15.6.

A lo largo de los años se ha hecho un avance sistemático en el entendimiento y explicación del origen de la quiralidad en cúmulos metálicos con y sin protección de ligandos orgánicos. Asimismo, se han realizado descubrimientos y predicciones de nuevas propiedades vibracionales en nanopartículas metálicas (figura 6).

También se han hecho aportaciones científicas en el área de propiedades ópticas lineales y no lineales de nanopartículas metálicas y semiconductoras

de diferentes formas y tamaños, y en diferentes medios, así como en el tema emergente de plasmónica y su uso en óptica cuántica.

Como prueba de la alta calidad del trabajo realizado en el IF en las áreas de NyN, es importante mencionar que la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM ha publicado por dos años consecutivos (2013 y 2014) en *Gaceta UNAM* la lista de los investigadores más citados de la UNAM. De acuerdo con estadísticas realizadas por Elsevier, México, investigadores del IF aparecen entre los 10 autores más citados durante los años 2012 y 2013, y entre ellos destacan quienes trabajan en NyN: Rubén Barrera, Cecilia Noguez, Dwight R. Acosta, Ignacio Garzón y Patricia Santiago.

Nuestros académicos son ampliamente reconocidos a nivel mundial y participan frecuentemente como conferencistas invitados, árbitros de revistas indizadas de circulación internacional, son evaluadores de proyectos de investigación tanto nacionales como internacionales y miembros de comités (consultivo internacional, científico o de organización) de congresos de gran prestigio como: el “International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters”, el “International Conference on Nanostructured Materials”, el “International Materials Research Congress”, así como el “International Microscopy Congress”.

Perspectivas sobre el estudio de la NyN

Aunque a la fecha se han alcanzado varios logros importantes en la investigación en NyN realizada en el IFUNAM, en los próximos años se promoverá la ejecución de proyectos de mayor alcance tanto en temas de frontera de la nanociencia, como en investigación aplicada que contribuya a generar información útil para desarrollos en nanotecnología. Para ello se fomentará un mayor grado de colaboración entre los grupos de investigación teóricos y experimentales tanto del IF como con grupos de otras instituciones nacionales y del extranjero.

Sitios de interés relacionados con el IF

- Página del Instituto de Física: <www.fisica.unam.mx>.
- Acelerador Pelletron: <<http://www.fisica.unam.mx/laboratorios/peletron/>>.
- Laboratorio Central de Microscopía: <<http://www.fisica.unam.mx/laboratorios/lcm/>>.
- Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y la Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC): <<http://www.fisica.unam.mx/laboratorios/lancic/>>.

Instituto de Investigaciones en Materiales-UNAM*

Rocío G. de la Torre Sánchez**

RESUMEN: El Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM tiene como objetivo realizar investigación científica y tecnológica sobre estructura, propiedades, procesos de transformación y desempeño de los materiales. Mediante la nanotecnología se busca obtener beneficios de las propiedades que ocurren cuando al menos una de las dimensiones del material es menor a los 100 nm, o bien cuando durante el proceso para su obtención se controlen las unidades elementales a escala molecular o atómica, formándose partículas con dimensiones menores a 10 nm. En el IIM se han desarrollado seis principales líneas de investigación relacionadas con las nanociencias y la nanotecnología: nanocompositos, materiales nanoporosos, modelado y simulación, materiales con estructura nanométrica, nanoestructuras basadas en carbono, materiales moleculares. El estudio e impacto de las aplicaciones nanotecnológicas son muy variados, van desde el desarrollo de implantes médicos, acarreo de fármacos, recubrimientos antibacteriales, hasta aplicaciones industriales en la fabricación y desarrollo de catalizadores, celdas de combustible, captura de gases contaminantes, sensores de gases, dispositivos ópticos, celdas solares, mejoramiento de polímeros, etc. Derivado de estos estudios, el IIM cuenta con una gran variedad de colaboraciones con entidades educativas, centros de investigación, organismos públicos y privados, nacionales e internacionales. De igual forma, la innovación de sus investigaciones se ha reflejado en la presentación y obtención de patentes, así como en el desarrollo de proyectos con gran impacto en la sociedad. Estos logros son resultado de la alta calidad y especialización de sus investigadores y técnicos; así como de la infraestructura disponible en el Instituto.

PALABRAS CLAVE: IIM, ciencia, nanotecnología, innovación.

ABSTRACT: The Materials Research Institute of the UNAM aims to make scientific and technological research on structure, properties, processing and performance of materials. Nanotechnology seeks to benefit from the properties that occur when at least one of the dimensions of the material is less than 100 nm, or when during the process for obtaining the elementary units are controlled at the molecular or atomic scale, forming particles with smaller than 10 nm. The IIM's researchers work on different topics related to nanoscience and nanotechnology: nanocomposites, nanoporous materials, modeling and simulation, nanostructured materials, carbon-based nanostructures, and molecular materials. The study and impact of nanotechnology applications are varied, ranging from the development of medical, transport of drugs, antibacterial coatings implants, to industrial applications in manufacturing and development of catalysts,

Recibido: 31 de marzo de 2016. Aceptado: 21 de abril de 2016.

* Se agradece profundamente el apoyo brindado por los investigadores del Instituto de Investigaciones en Materiales, los doctores Sandra Elizabeth Rodil Posada, Octavio Manero Brito, Antonio Sánchez Solís, Marcela Beltrán Sánchez, Patricia Guadarrama Acosta, y Ricardo Vera Graziano, para la realización de este documento.

** Secretaria de Vinculación del IIM. Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México. Teléfono: +(52) 56 22 45 81. Correspondencia: (covinc@iim.unam.mx).

fuel cells, capture of polluting gases, gas sensors, optical devices, solar cells, improving polymers, etc. Derived from these studies, the IIM has a variety of partnerships with educational institutions, research centers, public bodies and private, national and international. Likewise, innovation of his research has been reflected in the filing and obtaining patents, as well as the development of projects with great impact on society. These achievements are the result of high quality and expertise of its researchers and technicians, as well as the infrastructure available at the Institute.

KEYWORDS: IIM, science, nanotechnology, innovation.

Historia del IIM

Los materiales siempre han estado presentes en la historia del hombre, los producimos, utilizamos y modificamos para sobrevivir y aumentar nuestro bienestar. Dada su importancia, en la UNAM se promovió la necesidad de estudiarlos de manera independiente a otras disciplinas, creando así el Centro de Materiales el 1 de febrero 1967, instalado en el piso 11 de la antigua Torre de Ciencias. En 1969 se ampliaron sus líneas de investigación con los estudios sobre polímeros y materiales cerámicos, convirtiéndose entonces en el Centro de Investigaciones en Materiales, y en 1970 se traslada a sus actuales instalaciones en el circuito exterior.

Debido al impacto y avance de las investigaciones realizadas en el Centro, el 21 de noviembre de 1979 se convirtió en el actual Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), el cual forma parte del Subsistema de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM tiene como objetivo realizar investigación científica y tecnológica sobre estructura, propiedades, procesos de transformación y desempeño de los materiales, además de colaborar con la industria y con otras instituciones académicas nacionales e internacionales mediante un gran número de proyectos.

La formación de recursos humanos ha sido siempre una de sus prioridades. Es relevante el número de investigadores que iniciaron su carrera como estudiantes asociados al Instituto y que ahora forman parte de plantillas académicas de distintas dependencias dentro y fuera de la UNAM.

El personal académico adscrito al Instituto está conformado por un total de 62 investigadores y 25 técnicos académicos; además de doctores realizando estancias posdoctorales. Los investigadores y técnicos conforman una red multidisciplinaria de conocimientos permitiéndoles colaborar en los diferentes laboratorios y grupos de investigación.

Dentro de las diversas líneas de investigación, el IIM cuenta con una amplia gama de proyectos relacionados con las nanociencias y la nanotecnología (NyN).

¿Por qué estudiar nanomateriales?

La razón por la cual es importante estudiar materiales y estructuras a escalas nanométricas es debido al descubrimiento de que las restricciones en su tamaño casi siempre producen propiedades fisicoquímicas cualitativamente diferentes a sus contrapartes en bulto.

La nanotecnología busca obtener beneficios de estas propiedades novedosas de la materia, las cuales ocurren cuando al menos una de las dimensiones del material es menor a los 100 nm, o bien cuando durante el proceso para su obtención se controlen las unidades elementales a escala molecular o atómica, formándose partículas con dimensiones menores a 10 nm, en las que pueden presentarse fenómenos cuánticos sumamente interesantes. Sin embargo, desde el punto de vista tecnológico, también es de gran importancia el ensamblado de dichas nanoestructuras para formar sistemas nanocompositos o estructuras a mayor escala.

Los fenómenos que ocurren a escalas nanométricas tienen sus propios principios físicos y descripciones teóricas que estamos en proceso de descubrir. Así, un paso importante en el desarrollo de la nanotecnología, que implica la conversión del conocimiento en soluciones tecnológicas útiles, es exactamente la adquisición de este conocimiento científico fundamental.

Los ejemplos actuales del uso de la nanotecnología han demostrado que la generación de materiales a partir del ensamblaje de nanoestructuras ofrece la posibilidad de “ajustar” las propiedades físicas, químicas, magnéticas, electrónicas y/o mecánicas de los materiales de acuerdo con aplicaciones específicas. Para que este proceso sea efectivo es necesario desarrollar conocimientos sobre la relación entre estructura-propiedades-proceso, así como de los modelos fundamentales que predigan adecuadamente la física y la química de las nanoestructuras y como su ensamblaje puede dar lugar a materiales con propiedades nuevas y mejoradas.

Los avances logrados en los métodos de síntesis, caracterización y modelado teórico de nanomateriales ofrecen una oportunidad única para el diseño de materiales nanoscópicos y del estudio de los fenómenos que ocurren a nivel nanométrico.

Con los métodos actuales de síntesis de nanopartículas se puede controlar el tamaño y la composición a escala nanométrica. Si además logramos un mejor entendimiento de las conexiones entre estructura y actividad, podremos ajustar dichas actividades para cumplir las necesidades particulares de cada proceso.

En nuestro intento por convencer sobre la importancia del estudio de los nanomateriales, haremos una breve descripción sobre los estudios en materia de NyN desarrollados en el IIM, clasificados de la siguiente forma:

- 1) Nanocompositos
- 2) Materiales nanoporosos
- 3) Modelado y simulación

- 4) Materiales con estructura nanométrica
- 5) Nanoestructuras basadas en carbono
- 6) Materiales moleculares

Nanocompositos

Son una combinación de dos o más fases, donde al menos una de ellas está en la escala nanométrica y las otras tienen propiedades significativamente diferentes entre sí. Las propiedades del nanocomposito dependen no sólo de las propiedades de sus componentes individuales, sino también de su morfología, distribución, tamaño y características interfaciales.

Aplicaciones de los nanocompositos

Catálisis heterogénea, reforzamiento mecánico de componentes ligeros (polímeros/nanotubos de carbono), óptica no-lineal, electrodos en celdas de combustible, sensores, etc. Los nanocompositos se pueden producir en diferentes dimensiones: unidimensionales (nanotubos embebidos en una matriz), bidimensionales (películas delgadas y membranas), o tridimensionales (polímeros o aleaciones metálicas reforzados).

Catálisis heterogénea

Películas de Oro (Au)/soporte: Los estudios realizados sobre la actividad catalítica de nanocúmulos de oro depositados sobre óxidos metálicos y semiconductores han demostrado que el funcionamiento catalítico del oro depende del tamaño y dispersión de las nanopartículas de oro, de los soportes, y de los métodos de preparación. Una de las metas más importantes de los estudios de nanociencia relacionados a la catálisis heterogénea es el entendimiento a nivel atómico de las relaciones entre actividad catalítica, sitios activos y estructura electrónica en las reacciones catalizadoras. El desarrollo y la producción masiva de catalizadores heterogéneos constituyen uno de los retos más importantes para la aplicación eficiente de la nanotecnología en la reducción de la contaminación del aire a nivel mundial.

NP-Me/óxido: Las propiedades físicoquímicas de los nanocompositos basados en nanopartículas metálicas (NP) embebidas en matrices óxidas pueden controlarse dependiendo del tamaño y forma de las NP's, así como de las interacciones entre éstas y la matriz. Al controlar la dispersión de las NP's en los óxidos se puede tener acceso a una gran variedad de aplicaciones tecnológicas, que van desde la catálisis heterogénea, sensores de gases hasta materiales con propiedades de óptica no-lineal.

Recubrimientos resistentes al desgaste

Recubrimientos ultraduros: Los recubrimientos duros han sido utilizados exitosamente para la protección de materiales y en particular para alargar la vida de herramientas de corte desde los años 70. Se pueden aplicar mediante: a) multicapas compuestas por dos capas alternantes de materiales diferentes (metales, nitruros, carburos, óxidos) cuyos espesores son de escala nanométrica y se repiten periódicamente formando una super-red; b) nanocompositos formados por al menos dos fases, y, c) películas con un tamaño de grano nanométrico. Los dos primeros son ejemplos de nanocompositos donde de manera ordenada o desordenada se alternan dos fases diferentes, mientras que el tercero es un material homogéneo con nanoestructura. En este caso se escogen componentes cuyas propiedades físicas sean suficientemente diferentes con la finalidad de que las propiedades resultantes del nanocomposito puedan ser modificadas seleccionando apropiadamente las fases y la fracción volumétrica de los componentes.

Recubrimientos con propiedades antibacteriales

La reducción de la adhesión bacteriana en los implantes médicos puede realizarse mediante la modificación de sus propiedades superficiales: composición, carga superficial, hidrofobicidad y morfología superficial. La modificación superficial puede realizarse por diferentes métodos y en este proyecto se plantea estudiar el efecto de recubrimientos basados en un nanocomposito compuesto de nanopartículas de plata embebidas en una matriz de material biocompatible. Dependiendo de la aplicación biomédica, se puede cambiar el material biocompatible que funciona como matriz; por ejemplo, en implantes ortopédicos debe usarse una matriz que sea biocompatible y resistente al desgaste. Mientras que para recubrimientos de materiales poliméricos, la adhesión es la propiedad más relevante.

Dispositivos de óptica no-lineal

Polímeros/nanocristales orgánicos. Existen muchos compuestos orgánicos cristalinos tal como los colorantes xantenos, los cuales no pueden formar películas delgadas con buena calidad óptica, por lo que una manera de obtener películas de los cristales es mezclándolos con polímeros amorfos. En este proyecto se busca obtener materiales nanocompositos de polímeros amorfos y nanocristales, esperando que las películas contengan compuestos orgánicos conjugados en una alta concentración con un tamaño de cristal menor a 100 nm, con el objetivo final de obtener una mezcla molecular (sin cristalización, mezcla homogénea) de polímeros amorfos y compuestos orgánicos funcionales.

Reforzamiento polimérico, optoelectrónica

Polímeros/arcillas: La mezcla de nanopartículas con polímeros fundidos por métodos de transformación, como son el proceso de extrusión e inyección, mejora notablemente las propiedades físicas de estos polímeros. Una de las mejores materias primas para conseguir tener láminas de tamaño nanométrico son las arcillas. En este proyecto se utilizan nanopartículas de arcilla en sistemas de polímeros termoplásticos y termofijos por medio de procesos de mezclado en estado fundido, principalmente el denominado extrusión reactiva. Las propiedades que presentan estos compuestos son superiores a las de la matriz polimérica en cuanto a su procesabilidad, resistencia al fuego, permeabilidad a gases y resistencia a temperaturas elevadas.

Biomédicas

Materiales dentales: Los aspectos más deseados de las restauraciones odontológicas son su calidad y estética. Los principales problemas de los composites poliméricos implantados en dientes son el encogimiento de la fase orgánica durante su polimerización y la pérdida gradual de sus propiedades una vez que son implantados en el diente. Estas limitaciones conducen a microfisuras interfaciales que eventualmente desembocan en caries e impiden la reconstrucción tisular. Las nanopartículas hasta cierta concentración pueden ayudar a reducir el encogimiento y mejorar las propiedades del implante.

Síntesis y caracterización de polímeros para usos biomédicos. El objetivo general de esta línea de investigación es contribuir al estudio y desarrollo de materiales poliméricos competitivos destinados a interactuar con un medio biológico para mejorar o reemplazar las funciones de tejidos humanos duros y blandos. Se preparan y estudian membranas porosas de polímeros funcionales a base de nanofibras entre 50 y 500 nm de diversos polímeros para que actúen como andamios celulares útiles en ingeniería de tejidos y en liberación controlada de fármacos. Para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, los polímeros se modifican con diversos agentes funcionales (colágena, fibroína y celulosa, nanopartículas de hidroxapatita, biovidrio, fibronectina y distintos fármacos).

Materiales nanoporosos

Una de las aplicaciones más importantes de las membranas nanoporosas es su uso como filtros para moléculas biológicas, las cuales pueden ser seleccionadas, no sólo por el tamaño del poro, sino también a través de la activación del poro para que elija a la molécula de acuerdo con una propiedad física especial. Las membranas nanoporosas tienen aplicaciones como soporte para la síntesis de otros materiales nanoestructurados, como capas internas dieléctricas en capacitadores de alta capacitancia, sensores y actuadores.

Para los materiales nanoporosos en bulto, la propiedad que los hace extremadamente útiles es el aumento en el área superficial, la cual mejora sus propiedades catalíticas, de absorción y de adsorción. En general, pueden separar o almacenar gases, tales como H₂, CH₄ o CO₂, y permiten la extracción o atrapamiento selectivo de solventes. Por lo que su uso como sistemas para almacenar H para celdas de combustible es una de las grandes oportunidades de estudio. Otro material nanoporoso de interés es el silicio nanoporoso por sus aplicaciones en fotónica, como emisor de luz, y en biomédicas como un material biodegradable para implantes médicos.

Catálisis

Cianometalatos y enrejados metal-orgánicos (EMO) nanoporosos. Los materiales moleculares nanoporosos se caracterizan por tener en la superficie de sus poros, átomos de metales de transición con una alta reactividad dado que tienen su esfera de coordinación incompleta. Es posible diseñar estructuras moleculares con cúmulos metálicos en sus poros, los cuales resultan aptos para procesos catalíticos de baja temperatura como los que demandan muchos procesos medioambientales para descomponer o secuestrar contaminantes altamente nocivos a los seres vivos.

Fotónica y sensores

Silicio nanoporoso. El confinamiento cuántico juega un papel decisivo en el comportamiento electrónico de materiales nanoestructurados. En particular, el silicio poroso representa un ejemplo con grandes perspectivas tecnológicas, ya que es totalmente compatible con la microelectrónica actual y además posee una alta eficiencia en la foto y electro luminiscencia. Con el fin de corroborar experimentalmente los resultados de modelos teóricos se propone producir muestras de silicio poroso y multicapas cuasiperiódicas del mismo material, es decir, alternando capas de alta y baja porosidad.

Modelado y simulación de nanomateriales

La capacidad experimental tanto en la síntesis de nanomateriales cada vez más pequeños de manera repetitiva y controlada, manipulando prácticamente átomo por átomo, como en técnicas experimentales de muy alta resolución, se ha incrementado. Todo ello ha logrado que las simulaciones y los experimentos vayan finalmente de la mano. Los materiales llamados nanométricos, nanomateriales o bien cúmulos atómicos, se caracterizan por tener baja dimensionalidad, baja coordinación y por lo tanto efectos importantes en todas las propiedades provocadas tanto por el confinamiento cuántico como por efectos de superficie. Estos efectos conllevan a que exhiban muchas propiedades físicas sustancialmente diferentes a sus contrapartes

macroscópicas. Además en su evolución hacia el bulto, conforme crecen, las propiedades de los nanocúmulos ocurren de manera “no escalable”. Estos cambios sólo pueden ser estudiados de manera fundamental por las simulaciones y modelado teórico, ya que en los sistemas experimentales es común tener distribuciones de tamaño y las propiedades medidas resultan ser un promedio de las contribuciones individuales.

Propiedades electrónicas y magnéticas de cúmulos metálicos y bimetálicos. Los estudios se realizan tanto en fase gaseosa, en cúmulos libres como en cúmulos saturados por recubrimientos químicos tanto de forma parcial añadiendo una o más moléculas a la superficie como total (saturando el total de la superficie del cúmulo). Finalmente, los cúmulos se depositan en superficies para comparar el cambio en sus geometrías y por ende en sus propiedades físicas y químicas. Estos estudios se combinan con resultados experimentales de espectroscopía de fotoemisión de aniones (PES) y se realizan en los mismos sistemas logrando un estudio completo de las propiedades geométricas y electrónicas tanto teóricas como experimentalmente en un mismo sistema. Se realizan también los siguientes estudios: estudio de la influencia del ambiente químico en sus superficies; búsqueda de mínimos de energía de nanopartículas y nanoestructuras mono y bimetálicas mediante técnicas de algoritmos genéticos; ensambles de nanopartículas de oro y compuestos orgánicos; estudio de interacciones molécula-sustrato en soportes; obtención de óxidos multifuncionales nanoestructurados; detección por espectroscopía PES y FIR-MPD de sus estructuras geométricas, autoensambles de nanoclusters metálicos; catálisis de NO_x y CO en sus superficies.

Materiales nanoestructurados (amorfo y poroso) para el almacenamiento de hidrógeno y otros gases. Ante la disminución en la producción de los combustibles fósiles, y los problemas ecológicos que su uso conlleva, el hidrógeno ha sido considerado el vector energético del futuro. El propósito de esta propuesta es evaluar al silicio poroso para la adsorción de hidrógeno, contemplando la posibilidad de utilizar el silicio poroso como tanque de combustible.

Materiales con estructura nanométrica. La mayoría de los materiales convencionales tienen tamaños de grano que van desde los 100 nm hasta cientos de milímetros (monocristales). En este caso el número de átomos contenidos dentro de los granos es considerablemente mayor al de los átomos que conforman las fronteras, por tanto, el comportamiento de estos materiales y sus propiedades está principalmente determinado por la composición y estructura de los granos, en los que las dislocaciones juegan un papel importante. Sin embargo, cuando un material policristalino es producido con tamaños de grano nanométricos, de unos 10 nm o menos, éstos exhiben propiedades físicoquímicas nuevas.

Fotónica

Síntesis de nanoestructuras cuasi unidimensionales. Para la síntesis de estos sistemas se emplea óxido de aluminio nanoporoso como molde. El óxido nanoporoso se obtiene por anodización de aluminio donde los poros en forma de canales paralelos entre sí pueden tener diámetros desde algunos nanómetros hasta decenas de nanómetros y longitudes de micras. Mediante el uso de precursores y tratamientos químicos apropiados es posible llenar los poros con el material deseado; por lo que el nuevo material tomará la forma del poro y así se pueden obtener nuevos materiales con diferentes morfologías a nivel nanoscópico.

Silicio polimorfo (Pm-Si). El material más utilizado en la industria micro y macroelectrónica es el silicio en sus diversas formas. Estos materiales por lo regular se encuentran en formas de obleas de silicio monocristalino o policristalino. Aún resulta muy caro producir el silicio en forma de obleas para determinadas aplicaciones, por lo cual se han buscado nuevas modalidades para obtenerlo y poder bajar los costos de producción. Una de éstas es la obtención de silicio en forma de películas delgadas sobre sustratos baratos. Los dispositivos de películas delgadas fabricados a partir del silicio amorfo presentan problemas de degradación, limitando mucho su utilización. El silicio polimorfo, pm-Si, consiste de una matriz de silicio amorfo con nanopartículas de silicio embebidos en su interior, el cual presenta una amplia gama de características, tanto desde el punto de vista de su absorción, como de sus mecanismos de transporte. En el IIM se realiza la investigación para el estudio, fabricación y escalamiento de películas de silicio polimorfo nanoestructurados para ser utilizadas en celdas solares.

Sensores y materiales electroluminiscentes

Películas delgadas por rocío pirolítico. Los materiales nanoestructurados presentan un incremento de la reactividad química por unidad de masa, respecto de los mismos materiales que están constituidos por partículas de tamaño mayor. Mediante el proceso de rocío pirolítico se han preparado diversos materiales: aislantes eléctricos, semiconductores, contactos conductores transparentes, luminiscentes, estructuras electroluminiscentes, celdas solares, sensores químicos de gases, por mencionar algunos.

Electrolitos sólidos, catálisis, ánodos en celdas de combustible

Electrocerámicos nanoestructurados. Los materiales electrocerámicos nanoestructurados presentan ventajas en diversas propiedades físicas en comparación con las cerámicas tradicionales, permitiendo su aplicación en diferentes áreas como son: medicina, dispositivos eléctricos y electrónicos, así

como para sensores y nuevas fuentes de energía, para ser utilizados como electrolitos sólidos y materiales catalíticos.

Captura de gases contaminantes

Los óxidos de carbono (CO_2 y CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) son algunos de los principales gases producidos durante la combustión orgánica. Se ha observado que la cinética y capacidad de captura de los diferentes gases está limitado por el área superficial expuesta de los materiales utilizados. Por lo tanto, el diseño y obtención de materiales con una mayor área superficial puede generar un incremento de la eficiencia de estos materiales. En este proyecto se propone el estudio de nuevos materiales (cerámicos de elementos alcalinos y/o alcalinotérreos), a utilizarse en el control de la contaminación atmosférica, específicamente en la reducción o eliminación de emisiones al ambiente de CO_2 , CO y NO_x .

Nanomagnetismo

En este proyecto se estudian las características, propiedades y posibles aplicaciones magnéticas, las cuales pueden influir en las propiedades catalíticas de los materiales. En el IIM se estudian magnetos moleculares, nanopartículas de metales de transición, y espintrónica. En los siguientes campos también se pueden encontrar una gran variedad de aplicaciones: 1) transporte en alambres y puntos cuánticos; 2) micro y nanomagnetismo; 3) nanocatálisis; 4) estructuras autoensambladas; 5) materiales que combinen metales encapsulados en nanotubos; 6) superconductores; 7) aislantes o conductores magnéticos y no magnéticos; 8) *nanocluster* metálico basado en tierras raras con actividad catalítica; 9) polímeros lineales encapsulados y/o intercalados en estructuras periódicas o cavidades porosas.

Nanoestructuras basadas en carbono

Las nanoestructuras basadas en carbono son variadas: nanotubos, fulerenos, nanoconos, nanocuernos, nanofibras, etc. Estas estructuras pueden ser de una sola pared o de varias paredes, pueden tener curvaturas gaussianas cero, positivas o negativas. Esta diversidad y la dependencia de sus propiedades físicoquímicas de los parámetros estructurales hacen que las nanoestructuras de carbono sean un importante tema de investigación teórica y experimental.

Aplicaciones de las nanoestructuras basadas en carbono

Los nanotubos de carbono se han propuesto para utilizarse como puntas en los microscopios de fuerza atómica, transistores de efecto de campo, emisores

de electrones, alambres cuánticos y sensores químicos o para soportes de catalizadores debido a su gran área superficial, refuerzos para aleaciones de baja densidad debido a su alto módulo elástico y bajo peso, membranas para desalación de agua, etc. A su vez, los fulerenos han sido estudiados como nanocápsulas para almacenar fármacos o para almacenar átomos de materiales ferromagnéticos, lo que les confiere propiedades magnéticas muy interesantes.

Síntesis de nanotubos de carbono

Se investigan diferentes geometrías del cátodo-ánodo con el fin de realizar la producción masiva de nanotubos de carbono. A su vez, se plantea investigar el uso de metales catalizadores novedosos y el papel que juega cada uno en el crecimiento y la estructura final de las nanoestructuras. Por el método de CVD o descomposición térmica de vapores químicos, ya se han obtenido nanotubos de carbono de paredes múltiples a partir de vapores de hexano, etanol y disulfuro de carbono empleando hierro como catalizador.

Catálisis

Síntesis de soportes con nanotubos de carbono. En el área de síntesis catalítica de nuevos materiales, el crecimiento de nanoestructuras de carbono por métodos químicos (CVD) o químicos asistidos físicamente (PECVD) ofrece la posibilidad del uso de nanoestructuras de carbono como catalizadores. Estos sistemas de producción no son específicos para la producción de nanotubos de carbono, sino que pueden utilizarse para otros materiales, tales como nanoestructuras de óxidos metálicos que constituyen materiales con alto potencial para catálisis.

Materiales moleculares

Dentro del estudio de los nanomateriales se encuentra la arquitectura dendrímica, debido a su semejanza con estructuras altamente ramificadas como dendritas neuronales o ramas de los árboles. La arquitectura dendrímica es una de las topologías más encontradas en la naturaleza y se piensa que tal arquitectura es el resultado de un proceso evolutivo de millones de años para optimizar procesos de captación, almacenamiento y distribución de energía o nutrientes o información. Debido a la precisión de su arquitectura molecular, aunado a sus propiedades físicas poco comunes de alta solubilidad y baja viscosidad, entre otras, los dendrímeros se presentan como materiales artificiales atractivos en varias áreas como óptica, catálisis, biomímica, etc. A diferencia de los polímeros convencionales, los dendrímeros se preparan mediante estrategias de síntesis por pasos, ya sea de manera divergente (del núcleo hacia la periferia) o de manera convergente (unidades

predendriméricas que convergen en un núcleo), lo cual permite un control estructural (tamaño, composición y reactividad química) mucho mayor, en comparación con otros materiales nanoestructurados.

Aplicaciones de los materiales moleculares

La forma globular con cavidades de los dendrímeros ofrece aplicaciones potenciales en encapsulamiento y acarreamiento de fármacos que presentan problemas de solubilidad y/o toxicidad mientras alcanzan su sitio de acción. Otras aplicaciones biomédicas son: agentes de medio de contraste para resonancia, marcadores radiológicos o vectores para terapia génica.

En el área de catálisis, debido al gran número de grupos terminales en la periferia, la funcionalización con grupos catalíticamente activos puede ser una oportunidad para la construcción de “nanoreactores químicos” con aplicación tanto en catálisis homogénea como heterogénea. Los dendrímeros ofrecen propiedades prometedoras tales como: i) su fácil separación del medio de reacción mediante cambios adecuados de disolventes o empleando filtración con membranas; ii) su posible reutilización, y, iii) la introducción controlada de sitios catalíticos.

Encapsulado de fármacos

Nano-acarreadores dendriméricos. Se realizan estudios relacionados con la síntesis orgánica de nanomateriales para el acarreamiento y liberación de fármacos, principalmente anticancerígenos, antiparasitarios y recientemente antioxidantes para atender neurodegeneración asociada a la diabetes. Como vehículos se emplean arquitecturas macromoleculares poco convencionales como los dendrímeros, aplicando la metodología conocida en el campo de la nanomedicina como terapia macromolecular, para aumentar la solubilidad y biodisponibilidad de moléculas hidrofóbicas activas, observándose ventajas terapéuticas y farmacocinéticas, en comparación con las terapias convencionales.

Colaboraciones

El Instituto de Investigaciones en Materiales coordina el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, y contribuye al impulso de esta disciplina en otras entidades de la UNAM, como las facultades de Ciencias, Ingeniería y Química, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, el Instituto de Física, el Instituto de Energías Renovables, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada y el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico. Se colabora en México con otras instituciones mexicanas como el CINVESTAV, el CENAM, el ININ, la UAM, la UNANL, el CIATEC, el Centro de Investigaciones en Óptica; Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, SADOSA y

FARMAQUIMIA, entre otros. Y con diversas entidades internacionales entre las que se encuentran el Centro de Interacciones Bionano de la Universidad de Dublín; la Universidad de Saarbucken, en Alemania; la Universidad de Birmingham, Reino Unido; Commonwealth Richmond University USA; Naval Research Lab, EUA; Central Florida University, EUA; Johns Hoptkings University, EUA; Max Planck, en Berlin Alemania; Compañía AVANZARE, en España; la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Coimbra, en Portugal; el IFZP Instituto Fraunhofer para pruebas no destructivas, en Alemania; el POLITO Politécnico de Torino, Italia; Universidad de Picardie Jules Verne; la Universidad Técnica de Hamburgo; el Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, en Italia; la Universidad de Liverpool; Universidad de Paris-Diderot, Francia; Escuela Normal Superior de Cachan, Francia; Universidad de Ciencias Aplicadas de Jena, Alemania; Universidad de Maine, Le Mans, Francia; Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, España; Universidad del País Vasco, Bilbao, España.

Principales logros del IIM en NyN

1. Proyecto de desarrollo e innovación de válvulas cardiacas. Este proyecto comprendió entre sus objetivos, la sustitución de productos importados, en este caso, las válvulas cardiacas. En el Grupo de Reología del IIM, se diseñó y construyó la parte plástica de las válvulas; el desarrollo de nuevos materiales con propiedades mecánicas mejoradas y radio-opacidad, para poder monitorear el comportamiento de la válvula en el cuerpo humano. Para esto, se produjeron partículas de sulfato de bario de tamaño nanoscópico y éstas se mezclaron con polímeros biocompatibles, como poliuretanos y polioximetileno. Este proceso da como resultado materiales radio-opacos, los cuales pueden ser examinados por rayos-X y monitorear su estado de deterioro. Al mismo tiempo, es posible por medio de técnicas de birrefringencia en rayos-X monitorear el estado de los esfuerzos *in situ* de las válvulas.

2. Catéteres radio-opacos transparentes y agujas de resina poliéster. Con la compañía “Equipos Médicos Vizcarra” se llevó a cabo la producción de catéteres utilizando sulfato de bario de tamaño nanoscópico intercalado en una matriz plástica, por medio del proceso de extrusión-termo formado. Los productos son transparentes, pero opacos a los rayos-X. Se desarrolló una nueva tecnología de producción de agujas hipodérmicas plásticas a partir de resina poliéster y nanotecnología. A estos productos se les ha dado amplia difusión en periódicos, revistas y boletines. Este desarrollo es importante porque las agujas sustituyen a las de acero, pero no son reciclables, lo que evita su reúso y la propagación de enfermedades. Esta tecnología fue premiada por parte del Programa de Fomento al Patentamiento e Innovación de la UNAM.

3. Reciclado de polietilen tereftalato empleando nanocompuestos. Ésta es la primera tecnología que emplea nanotecnología para reciclar

materiales plásticos, en particular el PET. La Comisión de Preservación del Medio Ambiente, protección ecológica y cambio climático de la Asamblea del Distrito Federal ha considerado que este desarrollo es importante para la sustitución de la madera por reciclado de plásticos, en donde existe un doble impacto ambiental: se beneficia la basura plástica y se preserva la madera. El documento de la asamblea considera punto de acuerdo la solicitud a las Secretarías de Educación y Medio Ambiente de incrementar las acciones para desarrollar una cultura de cuidado al medio ambiente, para realizar campañas de reciclaje de PET en las escuelas de la Ciudad de México.

4. Desarrollo de laminados y varas con elevadas propiedades mecánicas y al impacto. Estos productos contienen una matriz plástica (obtenida a partir de insumos reciclados) y nano partículas de arcilla o mica y fibras. Sus propiedades de resistencia a la intemperie, mecánicas y de resistencia al impacto son extraordinarias, y pueden ser utilizados como elementos de construcción y como sustitutos de varas de madera empleados en los campos de cultivo de plantas como tomates, chile, frijol, etc.

5. Síntesis de nanopartículas de sulfato de bario de varias morfologías. Este proyecto con aplicaciones tecnológicas importantes fue iniciado como tema de tesis doctoral, cuyo contenido ha sido objeto de dos reconocimientos: el Premio del Programa de Fomento al Patentamiento de la UNAM y el premio Loreal. El material de la tesis ha sido reportado en varias publicaciones en revistas de prestigio, en las que se describe la síntesis de estos materiales y su uso en matrices poliméricas compatibles con los organismos vivos.

6. Desarrollo de tuberías corrugadas empleando polietileno reciclado reactivo y nanopartículas. En conjunto con la compañía ADS Mexicana (filial de Advanced Drainage Systems) se desarrollaron tuberías corrugadas con mejores propiedades fisicomecánicas, empleando un desarrollo patentado nuestro, que consiste en un cabezal-mezclador estático que produce una mejor dispersión de las partículas y el negro de humo en los tubos. Además, se incorporaron nanopartículas de arcilla al sistema.

7. Proceso de obtención de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama asistido por ultrasonido. Se han obtenido materiales plásticos antinflama con base a dos polímeros: polietileno y poli-propileno, sustituyendo los compuestos halogenados que son tóxicos. Este desarrollo se ha realizado en el Instituto de Investigaciones en Materiales y en el CIATEC, A.C., de León, Gto. Los materiales desarrollados presentan propiedades antinflama excepcionales, ya que han obtenido la norma de máxima calidad "V0", de acuerdo con las normas de inflamabilidad UL (Underwriters Laboratories), donde la clasificación V0, V1 y V2 determina el grado de autoextinción de un polímero, identificando con V0, la extinción del fuego en 10 segundos.

8. Producción de durmientes plásticos para vías de ferrocarril. La compañía Gysapol, S.A. de C.V., ha obtenido un contrato con el metro de la

Ciudad de México para la producción de durmientes plásticos de alta resistencia que sustituyan a los de madera o concreto que necesiten ser reemplazados. Este proyecto requiere de tecnologías nuevas que permitan cumplir las normas requeridas para dicha producción. Para ello, la compañía y el Instituto de Investigaciones en Materiales han acordado elaborar un convenio de licenciamiento de tecnología para la transferencia de la patente “Cabezal-mezclador estático con ultrasonido para el procesamiento y producción de nanocompuestos con arcillas”. El proyecto involucra la fabricación del cabezal y las pruebas necesarias para la producción de los durmientes.

9. Fabricación de cabezal-mezclador estático para procesamiento de materiales nanocompuestos termoplásticos con arcilla. Este proyecto fue financiado por la compañía “Aceromex, S.A. de C.V.” con el objetivo de producir el cabezal, el cual genera flujos extensionales y distribuye las nanopartículas con una adecuada dispersión en la matriz polimérica. El cabezal fue colocado en un extrusor que produce tubería de riego en la zona de los Mochis, Sin., utilizando plástico reciclado. Este proyecto utiliza y pone en práctica la patente “Cabezal-mezclador estático para el procesamiento y producción de nanocompuestos termoplásticos con arcillas”.

10. Materiales nanocompuestos con PET, PE de alta densidad reciclados y nanopartículas de arcilla aplicados a la producción de trajineras, varas y estacones para Xochimilco. Este proyecto, financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de la Ciudad de México, consiste en la producción de trajineras hechas a base de plásticos reciclados provenientes de la basura plástica. Para ello se realizó la transferencia de 4 patentes. Aproximadamente cada 5 años una trajinera queda inservible si no se le dan los cuidados adecuados; además, la producción de una trajinera de madera involucra la tala de varios árboles. Esta situación, aunada a la contaminación presente en los canales de Xochimilco por basura, motivó la elaboración de un proyecto entre la SCTI del Gobierno de la Ciudad de México y el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. El proyecto se encaminó a la solución de dos problemas relevantes: la sustitución de la madera por materiales reciclados y la utilización de la basura plástica como materia prima. Se emprendió la fabricación de una trajinera con plástico reciclado obtenido de la basura plástica, principalmente de polietileno y PET (poli-tereftalato de etileno).

11. Proyecto BisNano. El proyecto BisNano contó con la participación de 18 socios; 16 instituciones de investigación y/o educación superior, dos empresas mexicanas (FARMAQUIMIA y SADOSA) y una empresa europea (AVANZARE). El objetivo principal del proyecto BisNano se basó en la adquisición de conocimiento básico sobre nanoestructuras de Bismuto, buscando obtener nuevos materiales para el desarrollo de productos y dispositivos. Se evaluaron algunas posibles aplicaciones de materiales basados en bismuto, desde nanocerámicos foto luminiscentes, celdas solares electroquímicas, piezoeléctricos libres de plomo, polímeros reforzados con partículas basadas

en bismuto como retardantes de fuego o propiedades antiestáticas, sensores de presión y dispositivos termoelectrónicos. El desarrollo y producción de nanoestructuras basadas en Bi fue uno de los grandes logros del proyecto, el acervo de materiales producidos es bastante amplio e incluye nanopartículas, películas delgadas, nanocerámicos y materiales nanocompuestos. Para cada uno de estos sistemas se demostró la capacidad de controlar las relaciones entre síntesis y estructura.

12. Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental, PUNTA. Cuyo objetivo central es el desarrollo de catalizadores que puedan ser utilizados para controlar los niveles de gases contaminantes como el CO y el NO_x en el ambiente, un problema que últimamente ha atraído un gran interés de la comunidad científica con el avance de la investigación en nanomateriales. Se requiere que exista esta interacción entre los grupos que hacen la simulación y los grupos experimentales que trabajan tanto en la síntesis como en la caracterización de los catalizadores, e inclusive aquellos que realizan un trabajo de ingeniería y pueden hacer uso de los resultados de la simulación numérica. El objetivo general del proyecto es el estudio de las propiedades topológicas y electrónicas de cúmulos metálicos tanto soportados como no soportados y su interacción con moléculas de CO y NO_x como función del tamaño.

Infraestructura

El Instituto cuenta con una amplia infraestructura para la realización de una gran variedad de análisis y pruebas en diversos laboratorios apoyando los proyectos de NyN, como:

Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica. El IIM es sede del LUME, donde se realiza la caracterización estructural, elemental y morfológica de los materiales a escala micro y nanométrica. Se cuenta con las técnicas más avanzadas de microscopía electrónica y personal altamente capacitado. Los equipos del LUME son: microscopio electrónico de barrido de emisión de campo JEOL 7600, unidad de micromaquinado por haz de iones JEOL JEM-9320 y microscopio electrónico de transmisión con corrector de aberraciones para obtener resolución picométrica (JEOL ARM 200).

Laboratorio de Cromatografía y Dispersión de Luz Láser. Cuenta con equipos para análisis cromatográfico en fase gas y fase líquida, con detectores de ionización a la flama, espectrometría de masas, índice de refracción y dispersión de luz láser. El principal objetivo del laboratorio es caracterizar polímeros y macromoléculas en solución, para así obtener la distribución de tamaño de partícula, masa molecular absoluta y relativa, así como el grado de pureza de diferentes materiales y la cantidad de monómero residual en resinas dentales, para prótesis total o parcial.

Laboratorio de Espectroscopía de Infrarrojo e Intemperismo Acelerado. Espectroscopía de infrarrojo, para la identificación química de mate-

riales, determinación de pureza y en síntesis química para estudiar los productos de reacción. El intemperismo acelerado: para estudiar materiales que están expuestos a la acción del sol, lluvia y cambios de temperatura y predecir su comportamiento en cuanto a durabilidad. Se estudian pinturas, adhesivos, impermeabilizantes, recubrimientos, películas plásticas, telas y bajo ciertas condiciones corrosión en metales.

Laboratorio de Análisis Térmico. Ahí se estudian los cambios en la masa, dimensiones, flujo de calor o propiedades mecánicas de cualquier tipo de material, en función de la temperatura, en un entorno controlado. Con estos análisis se puede conocer la estabilidad térmica de los materiales, expansión, composición, temperatura de fusión, pureza, compatibilidad, polimorfismo, entre otras cosas.

Laboratorio de Rayos X. se realiza la identificación de fases (comparación con bases de datos), la determinación de distancia interplanar, el cálculo de ancho a la altura media (FWHM) para determinación de tamaño promedio del cristalito, el porcentaje de área cristalina vs amorfa para materiales con mezcla de estas fases mediciones para análisis de refinamiento. Se cuenta con una base de datos PDF-2 2004, la cual cuenta con software para identificación de estructuras. La infraestructura con la que se cuenta es: para películas delgadas con y sin sustrato se utiliza el equipo de difracción Siemens D500, con geometría q - $2q$, lámpara de Cu, monocromador secundario de grafito y con un detector de centelleo. Para películas delgadas con sustrato o piezas metálicas se utiliza el equipo de difracción Rigaku ULTIMA-IV con geometría q - q , lámpara de Cu y detector de centelleo.

Propiedad Intelectual

Al IIM le han sido otorgadas 5 patentes en el área de NyN:

1. Método para obtener películas y laminados nanocompuestos de termoplásticos y arcillas. [A. Sánchez Solís, O. Manero. Título de patente No. 287418].
2. Cabezal-mezclador estático para el procesamiento y producción de nanocompuestos termoplásticos con arcillas. [A. Sánchez Solís, O. Manero. Título de patente No 290445].
3. Nuevos procedimientos de fabricación de materiales compuestos de resina poliéster con nanopartículas en sustrato de agua. [A. Rivera, A. Sánchez Solís y O. Manero. Título de patente No. 335511].
4. Procedimiento para la preparación de películas a base de silicio amorfo dopado. [Monroy López Roberto, Muhl Sanders Stephen, Francis Pickin William. Título de patente No.166664].
5. Método para depositar sobre un sustrato películas de óxido de aluminio y estaño. [Roberto Monroy López, Armando Ortiz Rebollo. Título de patente No. 170277].

Y cuenta con 12 solicitudes de patente en México:

1. Materiales compuestos de matriz polimérica con reforzantes de diferentes morfologías y procedimientos de síntesis. [C. Romero, A Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2009/012860, solicitud internacional PCT/Mx2010/000140].
2. Cabezal-mezclador estático con ultrasonido para el procesamiento y producción de nanocompuestos con arcillas. [A. Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2012/001086].
3. Proceso de obtención de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama asistido por ultrasonido. [Guadalupe Sánchez Olivares, Antonio Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2012/011265].
4. Composición de nanocompuestos de pet-pen-arcilla-g-lisina. [Faus-to Calderas, Antonio Sánchez Solís, Octavio Manero, Guadalupe Sánchez Olivares, Oscar Jiménez. Mx/a/2012/012036].
5. Composición de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama a base de polietileno de alta densidad. [Guadalupe Sánchez Olivares, Antonio Sánchez Solís y O. Manero. Mx/a/2013/009291].
6. Proceso para la obtención de superimanes nanocompositos con dos fases magnéticas y geométricas complejas. [Ignacio Alejandro Figueroa Vargas, José Israel Betancourt Reyes MX/a/2012/006856].
7. Método para la obtención de metasilicato de litio poroso y su uso para la captura de dióxido de carbono. [Heriberto Pfeiffer Perea, Eugenia de la Salud Contreras García, Carlos Gómez Yáñez, José Ortiz Landeros. MX/a/2012/003936].
8. Nanocompuestos de ABS reciclado con alta resistencia mecánica y a la hidrólisis. [Alfredo Maciel Cerda, Oswaldo Neftalí Ramírez Hernández. MX/a/2012/011266].
9. Arcillas modificadas, promotores de adherencia para carpetas asfálticas, mezclas asfálticas para pavimentación y su uso. [Mikhail Tlenkopatchev, Paula Cristina Arroyo Martínez. MX/a/2013/011436].
10. Diseño y uso de un nanorrecubrimiento de óxido de titanio con estructura atómica amorfa en superficies de dispositivos biomédicos microestructurados con potencial efecto en la respuesta biológica de células mesenquimales humanas. [Víctor Irahuen García Pérez, Argelia Almaguer Flores, Sandra Elizabeth Rodil Posada. MX/a/2015/016124].
11. Grafeno y nanografito por Ultrasonido-HASE y su uso como reforzante en materiales compuestos de matriz polimérica. [Antonio Sánchez Solís, Ricardo Pérez Chávez, Rigel Leonardo Moreno Morales, Luis Medina Torres, Rocío Guadalupe de la Torre Sánchez, Octavio Manero Brito. MX/a/2016/002380].

12. Sistema electromecánico para recubrir fibras ópticas y dispositivos fotónicos cilíndricos con polímeros. [Amado Manuel Velázquez, Juan Arnoldo Hernández Cordero. MX/a/2016/003059].

Sitios de interés relacionados con el IIM

- Página institucional: <<http://www.iim.unam.mx/>>.
- Google maps: <<https://goo.gl/maps/ssxHon82sn92>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/iimunam>>.
- LinkedIn: <<https://www.linkedin.com/company/instituto-de-investigaciones-en>>.
- Proyecto BisNano: <<http://www.bisnano.eu/>>.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM*

Alma Vázquez Durán** y Fernando Alba Hurtado***

RESUMEN: En este artículo se presenta la participación de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) en las actividades de investigación relacionadas con las áreas de nanociencia y nanotecnología (NyN). En la Facultad, las principales líneas de investigación están enfocadas en el desarrollo, evaluación y aplicación de sistemas nanoparticulados en la industria farmacéutica, veterinaria y de los alimentos, y en la síntesis, caracterización y aplicación de nanomateriales cerámicos y metálicos. En el campo de la NyN, se desarrollan 18 proyectos y se han registrado 5 patentes en México. En materia de docencia, oferta las asignaturas de tópicos selectos de nanotecnología, seminario especial de nanotecnología, normalización y caracterización de nanoestructuras, síntesis de nanoestructuras, desarrollo de fármacos, teoría de sistemas dispersos y nanotecnología en sistemas biológicos. En temas relacionados con NyN, 139 estudiantes han concluido su tesis (92 de licenciatura, 24 de maestría y 13 de doctorado). La FES-C, con objeto de mantenerse a la vanguardia en ciencia y tecnología, participa activamente en la investigación y en la docencia en el área de NyN.

PALABRAS CLAVE: FES Cuautitlán, nanociencia, nanotecnología, educación.

ABSTRACT: This paper shows the participation of the Superior Studies Faculty at Cuautitlan (UNAM) in research activities regarding nanoscience and nanotechnology areas (N&N). In the Faculty, the main N&N research lines are focused on the development, evaluation and application of nanoparticle systems for the pharmaceutical, veterinary and food industry, as well as in the synthesis, characterization and application of ceramic and metallic nanomaterials. In the N&N field, 18 projects are being currently developed and 5 patents were also registered in Mexico. In terms of education (teaching and learning), the Faculty offers courses related to selected topics of nanotechnology, such as: special seminars on nanotechnology, standardization and characterization of nanostructures, synthesis of nanostructures, drug development, theory of disperse systems and nanotechnology in biological systems. With issues related to N&N, 139 students concluded their thesis (92 bachelor, 24 master and 13 doctorate). The Superior Studies Faculty remains at the forefront of science and technology, and still actively involved in research and education in the N&N area.

KEYWORDS: Superior Studies Faculty at Cuautitlan, nanoscience, nanotechnology, education.

Recibido: 30 de marzo de 2016. Aceptado: 12 de abril de 2016.

* Expresamos nuestro agradecimiento a los doctores David Quintanar Guerrero, Yolanda Marina Vargas Rodríguez, Adriana Ganem Rondero, Juan Manuel Aceves Hernández, María de la Luz Zambrano Zaragoza, Roberto Díaz Torres, Ana Leticia Fernández Osorio, Elizabeth Piñón Segundo y Alma Vázquez Durán, por la información proporcionada para la elaboración de este documento.

** Alma Vázquez Durán, doctora en ciencia de materiales (CIMAV), jefa de Investigación en la UNAM-FES Cuautitlán. Integrante del SNI nivel 1. Su principal línea de investigación es la síntesis de materiales nanoestructurados con aplicación en el sector agroindustrial.

*** Fernando Alba Hurtado, doctor en microbiología, secretario de Posgrado e Investigación de la FES-Cuautitlán-UNAM. Integrante del SIN nivel II. Su principal línea de investigación es la inmunología y biología molecular de parásitos.

La FES Cuautitlán es una entidad académica descentralizada de la UNAM creada en 1974, ha logrado consolidarse como una de las mejores opciones educativas del norte de la zona metropolitana del Valle de México. En ella se imparten 17 carreras y tiene participación en nueve posgrados, su misión es la formación de recursos humanos de alto nivel —licenciatura y posgrado— en las áreas de las ciencias químicas, ingenierías, administración, agropecuarias y en artes y humanidades. Se realiza investigación de carácter multidisciplinario que busca contribuir al avance del conocimiento científico y tecnológico, a la solución de retos y problemas de interés regional y nacional. Por medio de sus servicios de extensión y difusión constituye la mejor propuesta de desarrollo educativo y cultural en su zona de influencia. Para realizar estas funciones, se ha organizado de forma departamental y matricial un enfoque multi, ínter y transdisciplinario. Cuenta con profesores e investigadores con formación académica y profesional relevante y pertinente, acorde con las áreas que cultiva y, con infraestructura que le permite desarrollar sus actividades sustantivas.

Del total de los académicos adscritos, 15 de ellos realizan actividades de investigación y desarrollo tecnológico en NyN. Las líneas de investigación en NyN están enfocadas al desarrollo, evaluación y aplicación de sistemas nanoparticulados en la industria farmacéutica, veterinaria y de los alimentos, así como en la síntesis, caracterización y aplicación de nanomateriales cerámicos y metálicos.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

En la FES Cuautitlán se desarrollan diversas líneas de investigación en el área de la NyN que incluyen:

- Desarrollo, caracterización, uso de nuevas formas y nuevos sistemas de liberación modificada para uso farmacéutico, veterinario, cosmético y alimentario.
- Estudio, desarrollo y optimización de técnicas de preparación de sistemas coloidales, nanopartículas y materiales ensamblados de uso farmacéutico, veterinario, cosmético y alimentario.
- Estudio de los procesos fisicoquímicos involucrados en la formación e interacción biológica de sistemas nanoparticulados.
- Evaluación *in vitro*, *in vivo* y *ex vivo* de sistemas nanoparticulados para el recubrimiento de sustratos farmacéuticos y biológicos.
- Desarrollo, preparación y caracterización de sistemas acarreadores coloidales terapéuticos de liberación controlada (nanopartículas, microemulsiones, vesículas lipídicas ultraflexibles, complejos de inclusión) destinados a distintas vías de administración (transdérmica, vaginal, bucal, ocular y oral).

- Combinación de acarreadores coloidales y promotores de penetración/absorción físicos (iontoforesis, sonoforesis y microagujas) para favorecer el transporte de fármacos a través de membranas biológicas.
- Preparación de microagujas de polímeros biodegradables para ser empleadas como matrices de liberación transdérmica de fármacos.
- Estudio del mecanismo de acción de promotores de absorción de tipo químico y físico mediante pruebas biofísicas (espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier/reflectancia total atenuada (FTIR/ATR), pérdida de agua transepidermal (TEWL), calorimetría diferencial de barrido (DSC) *in vitro* e *in vivo*).
- Preparación, caracterización y evaluación de la actividad catalítica de nanotubos de haloisita con tratamiento ácido.
- Síntesis y caracterización de nanocatalizadores magnéticos soportados en minerales de arcilla.
- Estudios de adsorción de sustancias endócrino-disruptoras, fármacos y otros materiales solubles en agua, por nanotubos de haloisita naturales y modificados.
- Evaluación antibacteriana de nanotubos de haloisita natural y con tratamiento ácido térmico.
- Síntesis, caracterización y aplicación de nanopartículas poliméricas y lipídicas sólidas en la conservación de frutas mínimamente procesadas, recubrimientos en frutas, vegetales y granos, y para conferir resistencia térmica a ingredientes termolábiles en jugos y bebidas de frutas.
- Física computacional de nanoestructuras.
- Síntesis, caracterización y aplicación de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos en el sector agroindustrial.
- Síntesis y caracterización de nanopigmentos cerámicos y nanomateriales catalíticos.
- Síntesis, caracterización y evaluación de la toxicología de nanopartículas de interés biológico.
- Preparación de nanopartículas cargadas con antioxidantes para uso veterinario.

Proyectos que se desarrollan en el área de NyN

Enseguida se enlistan los proyectos que actualmente se desarrollan con la Facultad, financiados con fondos de la UNAM y del CONACyT.

- Preparación, caracterización y evaluación de materiales y nanomateriales con aplicaciones químicas, biológicas y farmacéuticas.
- Preparación, caracterización y evaluación catalítica de nanocompuestos ácidos/haloisita.

- Síntesis y caracterización de nanocatalizadores magnéticos soporados en minerales de arcilla (nanotubos de haloisita, bentonita y montmorillonita).
- Desarrollo y evaluación de sistemas híbridos ensamblados con nanopartículas y excipientes para la liberación de activos de importancia farmacéutica, veterinaria, de rehabilitación y alimentaria.
- Diseño y caracterización de nuevos sistemas de liberación ensamblados por la adsorción de nanopartículas en dispersiones micrométricas.
- Desarrollo y evaluación de sistemas particulados para la liberación controlada de fármacos ensamblados por la adsorción de nanopartículas en dispersiones micrométricas.
- Nanopartículas en recubrimientos comestibles para la conservación de fruta frescas cortadas.
- Desarrollo de sistemas nanoparticulados alimenticios para incrementar la vida útil y nutracéutica de frutas frescas cortadas y bebidas de frutas.
- Implementación de técnicas y métodos de enseñanza para la aplicación de nanotecnología en la conservación de alimentos a bajas temperaturas, sometidas a procesos térmicos y de transferencia de masa.
- Evaluación y diseño de sistemas nanoparticulados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal.
- Desarrollo de medicamentos innovadores para mejorar la administración de fármacos.
- Desarrollo y evaluación de sistemas para la liberación de fármacos en piel dañada e intacta.
- Pigmentos cerámicos nanoestructurados.
- Empleo de métodos físicos para facilitar la administración transdérmica de acarreadores de talla nanométrica.
- Estudio de las propiedades microbicidas de sistemas nanoparticulados destinados a reducir la propagación de enfermedades de transmisión sexual y su potencial uso en el tratamiento de la vaginitis.
- Generación de plataforma para el desarrollo de sistemas nanoespecializados para el control y tratamiento del dolor.
- Pigmentos cerámicos luminiscentes.
- Desarrollo de nanopartículas como antioxidantes y el estudio de su capacidad para modular respuesta hepatotóxicas.

Colaboraciones y proyectos

La FES Cuautitlán siempre ha promovido la suma de capacidades a través de la generación de colaboraciones a nivel regional, nacional e internacional. En este sentido, se han establecido alianzas con dependencias de la UNAM

FIGURA 1. Microscopio electrónico de barrido, Unidad de Investigación Multidisciplinaria.



como el Instituto de Química, la Facultad de Química, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Instituto de Investigaciones Biomédicas. Así como también con la Universidad Autónoma de Querétaro, la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. A nivel internacional, la Facultad tiene vínculos con la Universidad de Oklahoma y la Universidad de Ginebra.

Infraestructura

La FES Cuautitlán cuenta con laboratorios para la síntesis de nanomateriales equipados con campanas de flujo laminar, campanas para la extracción de gases, ultracentrífuga, centrífugas refrigeradas, microcentrífugas, balanzas analíticas, rotavapores, agitadores de velocidad variable, parrillas, incubadoras, estufas de secado a presión atmosférica y al vacío, muflas, potenciómetros, sondas de ultrasonido, baños ultrasónicos, cámaras de congelación, campana de generación de atmosferas modificadas y vacío, termopares, liofilizadores, hexadisolutores, termobalanzas, microbalanzas, micropipetas, material para medición de humedad y punto de rocío, fuente de poder para parches de iontoforesis, material de vidrio en general. Además, se tiene equipo para la caracterización de los nanomateriales, por citar un microscopio electrónico de barrido, microscopio confocal, microscopio de epifluorescencia, cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC), cromatógrafo de líquidos de ultra alta resolución (U-HPLC), medidor de tamaño de partícula y potencial Z, espectrofotómetro de UV-Vis, espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier, cromatógrafo de gases, viscosímetro, texturometro Brookfield, termobalanza, tewametro, turbiscan, celdas de difusión horizontales, verticales tipo Franz y de perfusión para estudios *in vivo*.

FIGURA 2. Laboratorio de ensayos de desarrollo farmacéutico, Unidad de Investigación Multidisciplinaria.



Conjuntamente con los laboratorios orientados a la NyN, los investigadores tienen acceso al uso y servicios de las instalaciones de la unidad del Bioterio, posta pecuaria y de los campos agrícolas.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

En lo referente a la protección de propiedad intelectual la Facultad cuenta con varias patentes otorgadas y solicitadas en México dentro del área de NyN, se mencionan algunas de ellas:

- Recubrimiento farmacéutico a base de una mezcla de nanopartículas lipídicas sólidas y polímeros, la cual hace referencia al desarrollo de un método sencillo y novedoso para la obtención de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) y su formulación en un sistema de recubrimiento acuoso en soluciones o con dispersiones a base de polímeros plastificados formadores de película.

Autores: David Quintanar Guerrero, Flora Adriana Ganem Rondero, Esteban Abdiel Camacho Ortíz, Patricia Elvira Jiménez, María Raquel López Padilla.

Otorgada: Solicitud: Patent PCT 2010 exp. MX/a/2010/005803, 23 de mayo del 2010; otorgamiento 27 de noviembre 2014.

FIGURA 3. Laboratorio de Transformación y Tecnologías Emergentes en Alimentos e Investigación, Unidad de Investigación Multidisciplinaria.



- Composición de nanopartículas lipídicas sólidas para la conservación prolongada por recubrimiento de frutas, verduras, semillas, cereales y/o alimentos frescos, la cual involucra el uso de dispersiones sólidas de lípidos de talla submicrónica en recubrimientos comestibles para mejorar las propiedades de película del sistema que presenta propiedades hidro y lipofílicas en un sistema libre de solventes orgánicos. Las dispersiones propuestas tienen la capacidad de proteger y prolongar la vida útil de frutas, verduras, semillas, cereales y/o alimentos frescos.

Autores: David Quintanar Guerrero, María de la Luz Zambrano Zaragoza, Alfredo Álvarez Cárdenas, Edmundo Mercado Silva.

Otorgada: Solicitud: Patent PCT 2010 exp. MX/a/2010/003856, 11 de abril del 2011. WO 2012/141566 A2 (18.10.2012); otorgamiento 11 de marzo de 2014.

- Método para obtener un excipiente coprocesado farmacéutico para liberación controlada de sustancias activas y el producto obtenido con el mismo. En esta propuesta se diseña un co-procesado por ensamblaje de nanopartículas lipídicas con polvos farmacéuticos de compresión directa, el sistema obtenido combina las propiedades de los componentes individuales permitiendo obtener un polvo que al ser comprimido se comporta como una plataforma para la liberación controlada de fármacos.

FIGURA 4. Espectrofotómetro UV-Vis y Espectrofotómetro de infrarrojo con transformada de Fourier, Unidad de Investigación Multidisciplinaria



Autores: David Quintanar Guerrero, Esteban Abdiel Camacho Ortiz, Citlalli Alonso Reyes.

Solicitada: Solicitud: MX/a/2013/013306, 14 de noviembre del 2013.

- Método para la obtención de microesferas de liberación controlada de activos sensibles preparadas por ensamblaje de microesferas porosas y nanopartículas. Se propone un nuevo y novedoso método para formular sustancias terapéuticas sensibles (e.g. péptidos, proteínas, genes, ácidos nucleicos, etc.) por medio del ensamblaje acuoso de micropartículas porosas y nanopartículas. El sistema permite obtener sistemas de liberación controlada biodegradables sin contacto del activo con solventes, logrando la conservación de la actividad de éste. El sistema ensamblado consiste en un sistema particulado que contiene el fármaco ocluido en películas formadas por las nanopartículas pudiendo moderar la liberación por medio de modificar la proporción de nanopartículas.

Autores: David Quintanar Guerrero, Sergio Alcalá Alcalá.

Solicitada: Solicitud: MX/a/2014/001910. 18 de febrero del 2014.

- Sistemas nanoestructurados como protectores térmicos de ingredientes funcionales en alimentos y suplementos alimenticios. En esta propuesta se confirma la protección de ingredientes funcionales susceptibles a degradación por procesos que involucran estrés físico, en particular temperatura mediante su nanoencapsulación con materiales poliméricos. La membrana que forma las nanocápsulas es capaz de prevenir cambios químicos de los materiales integrados al ser sometidos a estos procesos.

Autores: David Quintanar Guerrero, María de la Luz Zambrano Zaragoza, Ricardo Moisés González Reza, José Jaime Flores Minnuti.
Solicitada: Solicitud: MX/a/2014/009687, 12 de agosto del 2014.

Docencia y formación de recursos humanos

La FES Cuautitlán es reconocida por la calidad de los conocimientos adquiridos por sus alumnos, los cuales reciben una educación pertinente con programas de estudios dinámicos, flexibles y actualizados, gracias a la formación y el compromiso de su planta académica, a la creación, aplicación y comunicación del conocimiento que genera en temas de vanguardia y a su significativa vinculación con su zona de influencia, constituyéndose así como un polo de desarrollo y punto de encuentro de nuestra entidad con el entorno que la alberga, mediante procedimientos decididos y consensuados con la comunidad, que refleja su perfil multidisciplinario. La contribución de los académicos en la docencia y formación de recursos humanos es a través de la impartición de clases, dirección de tesis de licenciatura y posgrado, participación en comités tutorales, la atención de alumnos en estancias de investigación, en servicio social, entre otras. En lo referente a la docencia, si bien no existe una licenciatura enfocada sólo a nanotecnología, los académicos imparten clases relacionadas con la misma, como es el caso de las asignaturas de temas selectos de nanotecnología, seminario especial de nanotecnología, normalización y caracterización de nanoestructuras, nanoestructuras, desarrollo de fármacos, teoría de sistemas dispersos, nanotecnología en sistemas biológicos, esta última a nivel de posgrado. La mayoría de los académicos que realizan investigación en nanotecnología son tutores de programas de posgrado en los cuales participa la FES Cuautitlán, como en el Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Maestría en la Docencia para la Educación Media Superior (Química) y Especialización en Farmacia Hospitalaria y Clínica. En el compromiso de los académicos con la formación de recursos humanos se han concluido 92 de tesis de licenciatura, 24 de maestría y 13 de doctorado relacionadas con la nanotecnología.

Principales logros en NyN

Los logros de la FES Cuautitlán en nanotecnología se reflejan en la realización de investigación con carácter inter, multi, y transdisciplinario, en la cual se suman las capacidades de los académicos con formación en diversas áreas del conocimiento.

Entre los logros se destaca el reconocimiento obtenido dentro de la convocatoria del Programa para el Fomento al Patentamiento y la Innovación 2010 (PROFOPI): “Recubrimiento farmacéutico a base de una mezcla de

nanopartículas lipídicas sólidas y polímeros”, y “nanorecubrimientos para frutas frescas”. Además, se obtuvo el segundo lugar en el Programa al Patentamiento y la Innovación 2014 con el desarrollo tecnológico: “Sistemas nanoestructurados como protectores térmicos de ingredientes funcionales en alimentos y suplementos alimenticios”.

Los académicos con participación en la nanotecnología han recibido el reconocimiento a través del Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2008 en la Modalidad Ciencia (Estado de México) y el Premio CANIFARMA Humano 2013, auspiciado por la Cámara Nacional de la Industria Farmacéutica (CANIFARMA) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), con el trabajo titulado “Diseño de un novedoso sistema biodegradable inyectable para la liberación controlada de péptidos y proteínas ensamblado por la adsorción de nanopartículas en microsferas porosas”.

Los trabajos realizados en lo referente a la síntesis de nanomateriales han permitido el desarrollo de un nanopigmento azul turquesa, a base de litio y titanio “no tóxico”, amigable con el ambiente y con la salud humana, útil para plásticos, vidrio, tintas impresoras, e, incluso, cosméticos, que además tiene un mejor desempeño que los pigmentos convencionales con partículas más grandes, de micrómetros (Fernandez-Osorio *et al.*, 2011); síntesis de nanocatalizadores magnéticos soportados en minerales de arcilla; desarrollo de nanocompositos de ácidos/haloisita con actividad catalítica; preparación de sistemas acarreadores coloidales (nanopartículas) terapéuticos de liberación controlada destinados a distintas vías de administración (transdérmica, vaginal, bucal, ocular y oral); síntesis de nanopartículas metálicas y de óxidos metálicos mediante principios de la química verde, para su aplicación en el sector agroindustrial; desarrollo de nanopartículas con antioxidantes para uso veterinario.

Se han implementado técnicas para la evaluación *in vitro* de la actividad citotóxica y genotóxica de nanopartículas en el laboratorio de toxicología de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria.

Referencia

Fernández-Osorio, A., Jiménez-Segura, M. P., Vázquez-Olmos, A. y Sato-Berru, R. (2011). Turquoise blue nanocrystalline pigment based on Li_{1.33} Ti_{1.66} O₄: Synthesis and characterization. *Ceramics International*, 37(5): 1465-1471.

Universidad de las Américas Puebla

Miguel A. Méndez-Rojas*

RESUMEN: Se presentan los aspectos más importantes sobre la historia de la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), así como de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, colaboraciones y proyectos intra e interinstitucionales en nanociencia y nanotecnología (NyN), infraestructura de investigación, docencia y formación de recursos humanos y modelo educativo del programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la UDLAP, así como los principales logros en el área de NyN y las perspectivas sobre el futuro del área en la institución.

PALABRAS CLAVE: Nanoeducación, UDLAP, infraestructura, modelo educativo.

ABSTRACT: The most important aspects related to the Universidad de las Americas Puebla's (UDLAP) history, research and technological development fields, intra and interinstitutional collaborative projects in nanoscience and nanotechnology (N&N), research infrastructure, teaching and human resources capabilities, educational model of the Bachelor degree in Nanotechnology and Molecular Engineering, as well as the main achievements in the field of N&N and the future perspectives of development of the area in the institution.

KEYWORDS: Nanoeducation, UDLAP, infrastructure, educational model.

La Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) es una institución de educación superior privada fundada en la Ciudad de México el 1 de julio de 1940 como Mexico City College. En 1963 cambió su nombre a University of the Americas y en 1968 a Universidad de las Américas. En 1971 se traslada a la Ex-Hacienda de Santa Catarina Mártir, en la ciudad de San Andrés Cholula, Puebla. A partir de 1985 cambió su nombre a Fundación Universidad de las Américas Puebla. La UDLAP, como hoy se le conoce, es una institución acreditada en México por la SEP, FIMPES, entre otros y en Estados Unidos por la SACS (Southern Association of Colleges and Schools), certificación que mantiene de forma ininterrumpida desde el año de 1959. En 1990 se incorporó activamente en la preparación de profesionales en ciencias básicas para el país con la apertura de su Escuela de Ciencias. La Universidad de las Américas Puebla (figura 1) tiene más de 300 profesores de tiempo completo, de los cuales 83 pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores en sus distintos niveles, y desarrollan cerca de 180 proyectos de investigación con financiamiento tanto del sector empresarial como del público en temas que abarcan

Recibido: 12 de abril de 2016. Aceptado: 20 de mayo de 2016.

* Coordinador del Programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular, Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Escuela de Ciencias, Universidad de las Américas Puebla. Ex Hacienda de Santa Catarina Mártir, San Andrés Cholula, Puebla, C.P. 72820, México. Correspondencia: (miguela.mendez@udlap.mx); Tel.: (222) 2292607.

FIGURA 1. Plaza de las Banderas y Biblioteca de la UDLAP (izquierda) y edificio de la Escuela de Ciencias de la UDLAP (derecha).



desde la investigación financiera, creación de empresas familiares, conservación de alimentos, energía, remediación ambiental y óptica no-lineal, hasta nanotecnología, nanomedicina y simulación molecular. Ocho profesores-investigadores desarrollan activamente proyectos de investigación en NyN desde 1990 y hasta la fecha.

Proyectos de investigación y desarrollo tecnológico relacionados con NyN

Las líneas de investigación en NyN desarrolladas en la UDLAP se relacionan principalmente con la síntesis, caracterización de nanomateriales para aplicaciones en remediación ambiental, tratamiento de agua, catálisis, energías alternativas, biotecnología, alimentos y salud humana. Entre los proyectos en desarrollo destacan los siguientes:

Catálisis, remediación ambiental y energía:

- Síntesis de nanocatalizadores de Ru, Ru-Co y Ru-Ni utilizados para reacciones de hidrogenación de compuestos nitroaromáticos.
- Desarrollo de un sistema foto-electro-catalítico para la producción de hidrógeno por descomposición de agua y simultáneamente eliminación de contaminantes orgánicos en medio acuoso usando arreglos nanotubulares de TiO_2 y tratamientos avanzados de oxidación empleando materiales semiconductores nanoestructurados foto-activos.
- Evaluación del efecto de óxido de grafeno reducido (RGO) en las propiedades fotoelectrocatalíticas de nanotubos de dióxido de titanio (TiO_2) y preparación de electrodos composite a base de óxido de grafeno reducido (RGO) y nanotubos de dióxido de titanio (TiO_2) con

aplicaciones en la oxidación fotoelectrocatalítica de compuestos orgánicos no biodegradables.

- Preparación de nanomateriales a partir de desechos plásticos y agrícolas empleando procesos de descomposición catalítica térmica.

Nanomedicina y nanobiotecnología:

- Nanopartículas magnéticas para aplicaciones en terapia hipertérmica, imagenología y transporte de fármacos; estudio de nanopartículas *core-shell* oro/magnetita para eliminación de células por ablación térmica en un tejido vegetal y animal.
- Nanotecnología como herramienta para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas; desarrollo de anticuerpos magnéticos para diagnóstico de enfermedades emergentes.
- Evaluación de la toxicidad potencial de nanopartículas inorgánicas para aplicaciones en biomedicina y alimentación; evaluación de la estabilidad de compuestos nutraceuticos microy/o nano-encapsulados y su liberación controlada en sistemas modelo y alimentos.
- Clonación, caracterización y aplicación de enzimas en la síntesis de biocombustibles: catálisis libre de células usando enzimas libres e inmovilizadas en soportes nanoestructurados.

Transferencia tecnológica:

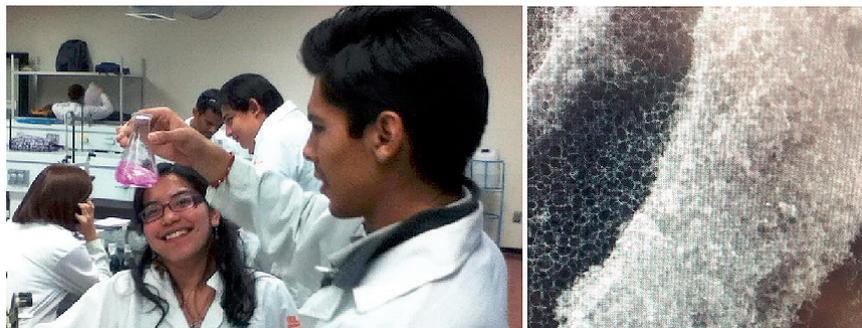
- Nanocleaners Global Innovation Fund. Formula optimization (con COLGATE).
- Reforzamiento estructural de asfaltos con nanofibras poliméricas obtenidas por electro-spinning y nanotubos de carbono (con SEM Materials).

Los proyectos son apoyados en su mayoría por fondos externos, tanto públicos (CONACyT) como privados e institucionales.

Colaboraciones y proyectos en el área de NyN

El programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular, que forma parte del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Escuela de Ciencias de la UDLAP, inició en 2006 y colabora de manera abierta con numerosas instituciones de investigación en el país y en el extranjero. Entre las instituciones con quienes se han desarrollado proyectos de investigación conjunta se pueden mencionar el Instituto de Magnetismo Aplicado de la Universidad Complutense de Madrid, España; el Center for Cell Engineering de la University of Glasgow en Inglaterra; el Departamento de Química y Bioquímica de la Texas Christian University en Fort Worth, Estados Unidos;

FIGURA 2. Investigación y desarrollo tecnológico en la UDLAP. Alumnos de nanotecnología e ingeniería molecular realizando una práctica de química analítica (izquierda). Micrografía electrónica de carbono mesoporoso preparado a partir de biomasa como parte de un proyecto de tesis de licenciatura (derecha).

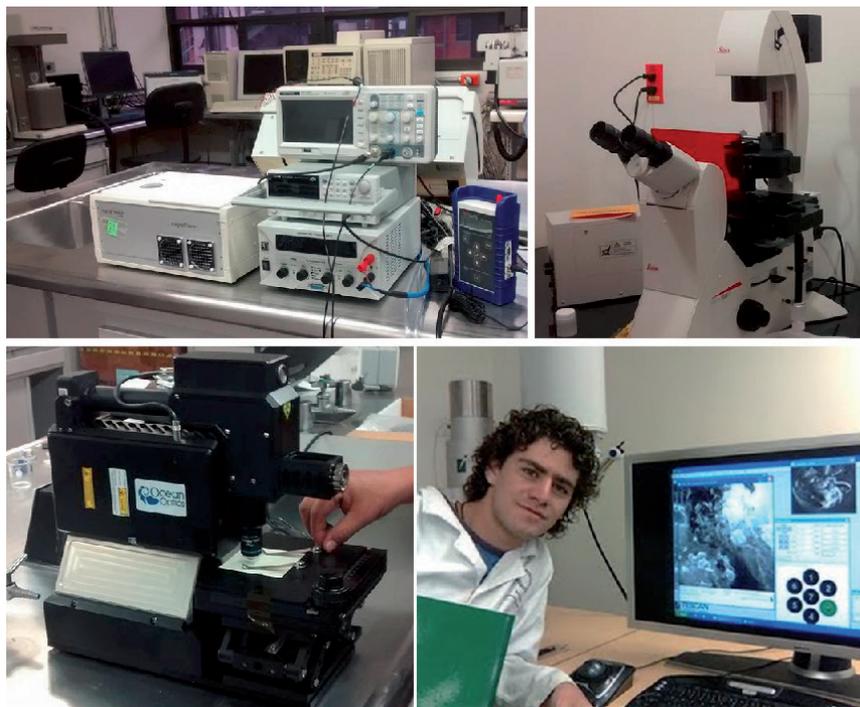


la Escuela de Medicina de John Hopkins University en Baltimore, Estados Unidos; el Departamento de Bioquímica de la University of Arizona, en Tucson, Estados Unidos; el Bodega Marine Laboratory de la University of California en Davis, Estados Unidos; el Departamento de Física de la University of Texas at San Antonio, en Estados Unidos; el Centro de Nanociencia y Nanotecnología de la UNAM en Ensenada, Baja California; el CINVESTAV en sus unidades Mérida y Ciudad de México; el Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en Pachuca, Hidalgo; el Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS en Metepec, Puebla; el Hospital Infantil de México “Federico Gómez” y el Hospital General “Manuel Gea González”, ambos en la Ciudad de México; la Benemérita Universidad Autónoma del Estado de Puebla, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla y el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, en Puebla; el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, en San Luis Potosí; el Centro de Investigación en Óptica de León, Guanajuato; la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, en la Ciudad de México; la Universidad Autónoma de Nuevo León, en Monterrey; la Universidad de Sonora, en Hermosillo; la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca; la Universidad de Guanajuato, en Guanajuato, y el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en Texcoco, entre otras. Desde el año 2006 y hasta la fecha se han desarrollado una veintena de proyectos de investigación científica y tecnológica en colaboración con las instituciones mencionadas, así como con otros departamentos académicos de la UDLAP; además, miembros de la facultad participan activamente en las actividades de la Red Nacional de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT y en diversas asociaciones científicas nacionales e internacionales como la Sociedad Química de México, la Sociedad Mexicana de Física, la American Chemical Society, la Academia Mexicana de Ciencias, entre otras.

Infraestructura

El programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la UDLAP cuenta con más de 1000 m² de laboratorios especializados para la docencia y la investigación. Entre éstos, resaltan el Laboratorio de Docencia en Nanotecnología, el Laboratorio de Instrumentación en Nanotecnología, el Laboratorio de Investigación en Nanotecnología, el Laboratorio de Instrumentación Analítica, el Laboratorio de Fitoquímica, el Laboratorio de Investigación en Electroquímica y otros laboratorios especializados. Estos espacios cuentan con todos los servicios y equipamientos básicos de un laboratorio de investigación (gases especiales, extracción de humos, mesas de trabajo de acero inoxidable), así como equipos básicos (baños ultrasónicos, parrillas para calentamiento y agitación, evaporadores rotatorios, hornos de secado de material, hornos de secado al vacío, sondas ultrasónicas, muflas, microbalanzas, medidores de pH, sistemas de recirculación de agua). Entre los equipos mayores disponibles en el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y accesibles para el programa se encuentran: equipo de espectroscopia de infrarrojo Varian Scimitar y Agilent Cary-630 con detector de reflectancia total atenuada (ATR); microscopio electrónico de barrido (SEM) Tescan Vega-LSU II, con detector de energía dispersa (EDS), electrones transmitidos (STEM) y electrones secundarios; equipo para dispersión dinámica de luz y determinación de potencial Zeta(DLS) Nanotrac Wave; microscopio invertido de fluorescencia DMi8 Leica; equipo para análisis de hipertermia magnética Nanotherm de MagneTherm con accesorios para cultivos celulares; cámara de incubación de CO₂ ThermoScientific; microscopio Raman microID-Raman de OceanOptics con láser de 785 nm; espectrofluorómetro Agilent Eclipse con accesorios para lectura de microplacas, polvos y sólidos; un equipo de análisis termogravimétrico Regulus II de Netzsch; equipo para análisis de microporosidad y área superficial Belsorp Mini II; citómetro de flujo CytoFlex de Beckman Coulter; PCR de tiempo Real; equipo para espectrofotometría de absorción atómica (AAS) Varian con horno de grafito; extractor de fluidos supercríticos de Applied Separations; equipo para resonancia magnética multinuclear (NMR) Varian de 200 MHz; equipos de cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) y gases con diversos tipos de detectores; potencióstatos-galvanostatos, fuentes de poder, entre otros. En otros departamentos académicos se cuentan también con acceso a infraestructura para caracterización de resistencia mecánica de materiales (máquinas universales, durómetros, flexómetros), mesas ópticas equipadas con láseres de distintas frecuencias, detectores, sistema para micro y nanoencapsulación por *spray drying*, equipo diverso para análisis de propiedades eléctricas y magnéticas, entre otros. Estos equipos se han adquirido con fondos institucionales y mediante proyectos apoyados por CONACyT y están disponibles para usuarios internos y externos que requieran apoyo para caracterización o análisis.

FIGURA 3. Algunos de los equipos disponibles para caracterización e investigación en NyN en los laboratorios de la UDLAP. Arriba, izquierda: equipo para estudios de hipertermia magnética; derecha: microscopio invertido de fluorescencia. Abajo, izquierda: microscopio Raman; derecha: microscopio electrónico de barrido.



Docencia y formación de recursos humanos: Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular

En el año 2005, como parte de una estrategia institucional para la generación de nuevos programas académicos, un grupo de trabajo interdisciplinario desarrollamos el programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular. La propuesta inició en otoño del 2006 y en su momento fue el primer y único programa de su tipo en México y América Latina, cuya experiencia inspiró nuevos programas creados en el país y en la región en años recientes. A la fecha más de 250 estudiantes han ingresado al programa durante los casi diez años de existencia y se han titulado exitosamente cerca de 70 de ellos desde el año 2010 cuando se graduó el primer egresado, 52 de los cuales titulados por tesis de investigación. El modelo curricular enfatiza una formación interdisciplinaria con cursos en las áreas de química, física, ciencia de materiales y nanociencia y nanotecnología. el programa actual tiene una duración de 4 años (8 semestres) y el plan de estudios más reciente está disponible en línea en la página de la institución <<http://www.udlap.mx/ofertaacademica/Default.aspx?cveCarrera=LNM>> .

La implementación práctica de este programa de estudios requirió primero de un análisis de las demandas del sector público y privado, así como la revisión de los perfiles de ingreso de programas de posgrado en NyN alrededor del mundo. Una reflexión en torno a la creación de este programa, “Importancia de una nanoeducación a nivel licenciatura”, fue publicada en la Revista Digital Universitaria-UNAM y está disponible en: <<http://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art30/art30.pdf>>.

Una característica interesante del programa es que poco más del 30% de los estudiantes realiza estancias de investigación de verano en instituciones nacionales y extranjeras, lo cual les permite introducirse en el mundo de la investigación básica y aplicada. Entre las instituciones en donde nuestros alumnos han hecho estancias se encuentran el IPICYT de San Luis Potosí; el CNyN de la UNAM en Ensenada; el CFATA en Querétaro; el INAOE, la UDLAP y la BUAP en Puebla; el CINVESTAV en Mérida; el Instituto de Investigaciones en Materiales y el Instituto de Química de la UNAM, en la Ciudad de México; el CIMAV en Monterrey; el CIDETEQ en Querétaro; la UANL en Monterrey, todas ellas en México. También en instituciones extranjeras como la University of Texas at Dallas (UTD), la Pennsylvania State University, la University of Texas at San Antonio, la University of Texas Austin, el College of Nanoscale Science & Engineering en Albany, Nueva York, el Massachusetts Institute of Technology y la University of Arkansas en Estados Unidos; la University of British Columbia, la University of Waterloo y la Simon Fraser University en Canadá; la Universidad Federal de Río de Janeiro en Brasil; la Leeds University en Inglaterra; la Universidad Complutense de Madrid en España; el Instituto Politécnico de Grenoble y MINATEC en Francia; la Universidad Técnica de Munich en Alemania; y la King Abdulhulal University of Science and Technology (KAUST) en Emiratos Árabes, entre otras. Demográficamente, los alumnos provienen de distintos estados de la República: 30% de Puebla, 10% del Estado de México y 9% del Distrito Federal. El 51% restante proviene del resto del país, incluyendo 3 estudiantes extranjeros (2 de Perú, 1 de Ecuador). Nuestros egresados ingresan a programas de posgrado de alta calidad, tanto en el país como en el extranjero (KAUST, BUAP, Norfolk State University, Texas Christian University, UTD, Ulm University, Universidad de Munich, University of British Columbia, University of Groningen, Grenoble Polytechnique Institute-MINATEC, University College of London, University of Sheffield, University of Bristol, University of Cambridge, Universidade Federal do ABC, John Hopkins University, entre otras). Algunos de ellos se encuentran trabajando en el sector industrial (Nanocron-Nanotecnologías, PPG Industries, Saint Gobain, Renovable, Colgate, Dow Chemical, Procter & Gamble, Corning, Beiiion, SABIC-Saudi Arabia).

Principales logros en el área de NyN

El programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular se distingue principalmente por:

1. El diseño y creación de un programa pionero y único a nivel nacional e internacional para la formación de recursos humanos a nivel licenciatura en el área de NyN, en donde 2 de cada 3 egresados es aceptado en programas de posgrado de calidad internacional en instituciones reconocidas como entre las mejores 100 del mundo.
2. El desarrollo de una red interdisciplinaria y multi-institucional de trabajo y colaboración en temas diversos, en donde la síntesis, caracterización y aplicación de nanomateriales se encuentra en el corazón de los proyectos en que participan.
3. La consolidación y fortalecimiento de infraestructura de investigación y desarrollo científico y tecnológico para cubrir las distintas necesidades del programa y para el desarrollo de proyectos de investigación básica y aplicada.
4. La consolidación de líneas de investigación distintivas en nanomateriales para aplicaciones biomédicas, en particular nanopartículas magnéticas para aplicaciones en diagnóstico, terapia y transporte y liberación de fármacos. Asimismo, en síntesis, caracterización y aplicación de nanomateriales con óxido de grafeno y nanotubos de dióxido de titanio, y en el desarrollo de nanopartículas de metales nobles para aplicaciones en catálisis. Finalmente, el desarrollo de capacidades para la evaluación de biocompatibilidad y toxicidad de nanomateriales.

Perspectivas sobre el futuro de la NyN en la UDLAP

Se han firmado convenios para fortalecer el acceso a infraestructura de vanguardia para investigación científica, como el recientemente elaborado con la Universidad de Texas en San Antonio que nos permite emplear la infraestructura de microscopía electrónica disponible en el Kleberg Advanced Microscopy Center. De igual modo, se han establecido alianzas estratégicas con la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) para el establecimiento del Laboratorio Nacional de Supercómputo del Sureste y recientemente se presentó una propuesta de creación de un nuevo laboratorio nacional para la caracterización de nanomateriales. Se forma parte de un Consorcio internacional con tres universidades prestigiosas en Estados Unidos (Puentes Consortium): Rice University, University of Arizona y University of California San Diego, mediante el cual se busca el desarrollo de colaboraciones de largo alcance. Finalmente, la participación de investigadores del área de NyN en los posgrados estratégicos institucionales en ciencia de

alimentos, ciencia del agua y biomedicina molecular, promete la formación de recursos humanos interdisciplinarios de alto nivel que contribuyan a la solución de problemas ambientales, de salud humana y alimentación, sin duda de gran valor para el desarrollo nacional. El establecimiento de vínculos de colaboración con algunas empresas del sector productivo promete también que la transferencia tecnológica entre investigadores, estudiantes y empresas podrá ayudar a cerrar el círculo virtuoso de Investigación + Desarrollo + Innovación Tecnológica, tan necesario para el país. Por último, en fechas recientes se recibió la visita del comité visitador para evaluar la acreditación del programa de Licenciatura en Nanotecnología e Ingeniería Molecular ante el Consejo Nacional para la Enseñanza y el Ejercicio Profesional de la Química (CONAECQ). Siendo éste el primer programa en su tipo en someterse a este proceso en el país, esperamos contar con una evaluación satisfactoria y una retroalimentación útil para llevar a cabo en el corto y mediano plazo las mejoras necesarias para el mismo.

Sitios de interés relacionados con la UDLAP y con el programa de Nanotecnología e Ingeniería Molecular

- Página institucional: <<http://www.udlap.mx>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/universidaddelasamericaspuebla/>>.
- Twitter: <<https://twitter.com/udlap>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/groups/gonano/>>.
- Blog: <<http://nanoudla.blogspot.com>>.

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C.

Sergio Alonso Romero*

RESUMEN: CIATEC es un centro de investigación y desarrollo tecnológico del sistema CONACYT. En 2016 cumple 40 años de atender a la industria en diferentes ámbitos y necesidades, especialmente en número de empresas. Tiene entre sus competencias líneas de investigación involucradas en temas de nanotecnología, específicamente nanomateriales aplicados a la formulación de plásticos con propiedades retardantes a la flama, y nanomateriales con propiedades antifúngicas y antibacteriales. Se presenta una descripción del quehacer de la institución, así como de ambas líneas de investigación.

PALABRAS CLAVE: nanomateriales, retardante a la flama, antibacterial, antifúngico, polímero compuesto.

ABSTRACT: CIATEC is a research and development center that belongs to CONACYT. In 2016 CIATEC accomplishes 40 years of advising industry at a variety of subjects, especially in the number of companies that have been attended. Now CIATEC has research on nanotechnology, specifically nanomaterials applied to plastic formulations with flame retardant properties, and nanocomposites with antifungi and antibacterial properties. This document shows a brief description of both research subjects, and a general description of CIATEC.

KEYWORDS: nanomaterials, flame retardant, antibacterial, antifungi.

Historia

El 12 de agosto de 1976 el Gobierno Mexicano crea el Centro de Investigación y Asesoría Tecnológica del Estado de Guanajuato (CIATEG), como una respuesta a las demandas continuas de los sectores industriales del Bajío, en el sentido de contar con apoyo en sus esfuerzos tecnológicos innovadores. CIATEC pertenece al Sistema de Centros Públicos de CONACYT, catalogado como Centro Tecnológico, enfocado a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico.

Durante los primeros 25 años se dedicó a resolver las necesidades técnicas más elementales de la industria: capacitación, servicios de laboratorio, asesorías y consultorías. En 2003 cambia su nombre, para quedar como CIATEC, A.C., con su descriptivo Centro de Innovación Aplicada y Tecnologías Competitivas, y abre su oferta tecnológica hacia el desarrollo de soluciones

Recibido: 25 de abril de 2016. Aceptado: 2 de mayo de 2016.

* Dirección de Investigación, Posgrado y Capacitación del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC). Correo electrónico: (salonso@ciatec.mx).

FIGURA 1. Fachada del edificio D, CIATEC.



integrales a problemas industriales, remediación del medio ambiente y sustentabilidad. Desde su creación, hace 40 años, CIATEC se ha distinguido por su amplia cobertura a las empresas de la cadena productiva cuero-calzado, situación que en los últimos años se ha extendido a otras ramas productivas y que tenderá a incrementarse en lo sucesivo, atendiendo en promedio alrededor de 1,600 empresas diferentes cada año.

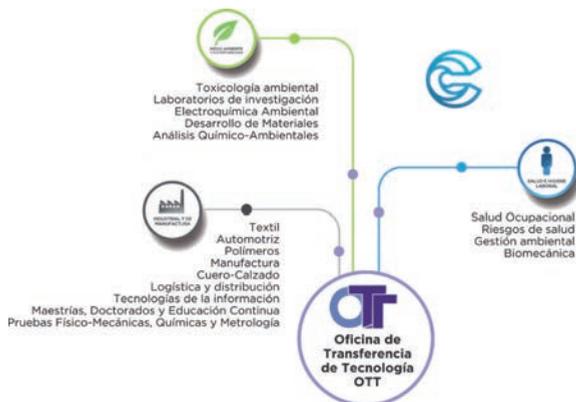
Misión

Contribuir al desarrollo industrial y mejorar la calidad de vida de la sociedad mediante la aplicación de ciencia, tecnología e innovación en las áreas de sustentabilidad, salud laboral e industria de la manufactura.

Objetivos

- 1) Solucionar los problemas tecnológicos de la industria mediante servicios que incidan en la mejora de su calidad, productividad, competitividad e impacto ecológico, con resultados a corto y mediano plazo que contribuyan al incremento en sus utilidades.
- 2) Participar en las industrias nacionales e internacionales en sectores tales como: calzado, curtiduría, textil, automotriz, industria del plástico, petroquímica, entre otras, como elemento clave del desarrollo de las mismas.
- 3) Capacitar y formar recursos humanos con el perfil técnico requerido, para catalizar la cultura de innovación y mejora continua de los procesos productivos de las industrias de la región.
- 4) Ser el promotor de proyectos de interés para las industrias nacionales que apoyen la internacionalización de sus mercados y su desarrollo sustentable.

FIGURA 2. Ejes temáticos de CIATEC.



- 5) Realizar servicios tecnológicos normados por organismos certificadores nacionales e internacionales que brindan resultados confiables.

Ejes temáticos CIATEC

El trabajo institucional se ha redefinido recientemente hacia tres grandes ejes temáticos. Es en ellos donde la mayoría de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, asesorías, posgrados, y pruebas de laboratorio, inciden (figura 2).

Las líneas de investigación en NyN que se desarrollan en el CIATEC están incluidas en el eje temático de industria y manufactura y en el de salud e higiene laboral. Respecto al primero, se investiga acerca del comportamiento ante el fuego de materiales nanocompuestos. Las investigaciones se enfocan en la utilización de nanopartículas como aditivos retardantes a la flama, libres de compuestos halogenados, para obtener materiales que tengan aplicaciones en la industria del cuero, automotriz, eléctrica, electrónica y aeronáutica. Para el eje de salud e higiene laboral, NyN ha contribuido con investigaciones acerca de las propiedades nanométricas sobre materiales compuestos desde el punto de vista de la salud. Se desea demostrar científicamente que los materiales compuestos de poliuretano (PU), polietileno (HDPE) y copolímero de acetato de vinilo-co-etileno (EVA) con nanopartículas de plata poseen propiedades antifúngicas y antibacteriales.

Salud e higiene laboral

Son proyectos de desarrollo tecnológico cuya implementación impacta directamente en la salud de las personas, ya sea en ambientes urbanos y rurales, o bien, dentro de un entorno laboral.

FIGURA 2. Ilustración de pruebas biomécánicas en ejecución.



- Estudios de condiciones físicas de operación, seguridad industrial e higiene en procesos, riesgos a la salud, toxicología ambiental y ergonomía del trabajo y diseño de medidas correctivas.
- Biomecánica y ergonomía.
- Dinámica de la marcha humana.
- Generación de prototipo de componentes de calzado.
- Determinación de las magnitudes de las fuerzas de reacción al caminar, mediante el pasillo de marcha.

Medio ambiente y sustentabilidad

El desarrollo e implementación de estos proyectos produce un impacto directo en el bienestar ambiental de la sociedad.

- Desarrollo de tecnologías para la valorización de residuos.
- Manejo de residuos.
- Realización de atlas de riesgo municipales (sanitario-ecológico, geológico, socio-organizativo, hidrometeorológico y químico-tecnológico).
- Reglamento de zonificación y usos de suelo.
- Sustentabilidad (energías alternativas y análisis de cambio climático).

Ingeniería industrial y de manufactura

Son proyectos desarrollados para crear materiales y productos innovadores por medio de la mejora y la optimización de los procesos de producción.

- Consultoría en tecnologías de información, logística, distribución y comercialización.
- Diseño 2D y 3D.
- Normalización y certificación.
- Servicios de normalización.
- Desarrollo y formulación de materiales poliméricos.

FIGURA 4. Panel solar ubicado en Explora, Centro de Ciencias en León, Gto., con seguidor solar patentado por CIATEC.



Programas académicos

Formamos recursos humanos de alto nivel a través de los siguientes programas educativos:

- Cursos de capacitación anuales enfocados en los temas de: automatización, calidad, productividad, diseño, calzado y curtiduría.
- Cursos de capacitación personalizados de acuerdo con las necesidades de las instituciones o las empresas.
- Especialización en curtido de pieles.
- Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT) con maestría y doctorado en las áreas de ingeniería industrial y de manufactura e ingeniería ambiental.

FIGURA 5. Toma de protesta de sustentante de maestría dentro del programa de postgrados PICYT.



FIGURA 6. Laboratorio de Pruebas Físico-Mecánicas.



Vinculación y servicios

Con 40 años de trayectoria, CIATEC muestra su experiencia y liderazgo en el desarrollo de nuevos productos, el mejoramiento de procesos, el aseguramiento de la calidad y en la aplicación y la transmisión del conocimiento. Anualmente, se trabaja con más de 1,600 empresas e instituciones.

Se pone a disposición de las industrias una gran variedad de pruebas de laboratorio, todas realizadas con la calidad y el estricto apego al cumplimiento de las normas que caracteriza al Centro (NMX-CC-ISO 9001-IMNC-2008 y NMX-EC-17025-IMNC-2006). Los laboratorios del CIATEC se encuentran acreditados ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Laboratorios

Químico-ambientales

- Análisis a productos de cuero.
- Análisis a sustancias restringidas.
- Análisis de aguas: residuales, naturales y potables.
- Análisis de residuos (CRIT).
- Caracterización de materiales en materias primas, productos químicos y polímeros.

Pruebas físico-mecánicas

- Cuero y calzado.
- Equipo de protección personal.
- Piezas automotrices.

- Polímeros.
- Ropa y textiles.

Metrología

Se proveen servicios de calibración y verificación intermedia a instrumentos de medición en las siguientes magnitudes: masa, volumen, temperatura, dimensional, densidad, presión, dureza y tiempo. Se imparten también cursos de capacitación.

Biomecánica

- Calzado terminado:
- De flexión metatarsal.
- De fricción de la suela.
- De impacto (rigidez y absorción de energía).
- Plantillas y hormas personalizadas.

Oficina de Transferencia Tecnológica (OTT)

Su función es transferir las tecnologías generadas en los proyectos de investigación y desarrollo de los sectores productivos y sociales para generar negocios basados en innovaciones de productos, servicios y procesos que produzcan un alto impacto económico y social.

Ejes temáticos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación relacionados con la NyN

Los materiales compuestos con nanopartículas son una clase relativamente nueva de materiales que ha recibido especial atención debido a las propiedades que ofrecen utilizando muy bajas concentraciones de rellenos o reforzantes en escala nanométrica, comparadas con las concentraciones que generalmente se utilizan para los reforzantes convencionales. Entre las propiedades que se pueden mejorar al utilizar nanopartículas como reforzantes están las propiedades mecánicas, la propiedad barrera a diferentes gases, la estabilidad térmica y las propiedades antifúngicas, antibacteriales y antiinflamatorias, estas últimas de especial interés por la variedad de aplicaciones que los materiales nanocompuestos pueden ofrecer sobre todo en el área de cuidado de la salud.

Las líneas de investigación en NyN que se desarrollan en el CIATEC se pueden agrupar en dos grandes rubros dentro de los dos ejes temáticos mencionados anteriormente: estudio de comportamiento ante el fuego de materiales nanocompuestos, y propiedades nanométricas sobre materiales compuestos desde el punto de vista de la salud.

En el primer tema de investigación, los proyectos son desarrollados para obtener polímeros con propiedades antibacteriales y antifúngicas para aplicaciones diversas. Tienen como objetivo presentar un estudio sistemático que compruebe científicamente que los materiales compuestos de poliuretano (PU), polietileno (HDPE) y copolímero de acetato de vinilo-co-etileno (EVA) con nanopartículas de plata tienen propiedades antifúngicas y antibacteriales.

Con el desarrollo de este tipo de proyectos se han obtenido materiales compuestos de PU, HDPE y EVA con diferentes concentraciones de nanopartículas de plata (NAg). Se ha probado su actividad antifúngica específicamente contra el *Trycophyton mentagrophytes* y su actividad antibacterial contra las bacterias *Escherichia coli* (E. coli) y *Staphylococcus aureus*, así como un estudio de la liberación de la plata mediante voltametría de redisolución anódica. Se han llevado a cabo también estudios de dispersión de nanopartículas en la matriz polimérica, así como el efecto de los parámetros de tratamiento ultrasónico durante la síntesis de los materiales asistida sobre las propiedades físico-mecánicas y antimicóticas de los materiales poliméricos compuestos.

Los proyectos relacionados con NyN que se han desarrollado son:

- Síntesis de nanocompuestos de poliuretano con propiedades biocidas.
- Propiedades mecánicas, antibacteriales y antifúngicas de un material compuesto de polietileno y nanopartículas de plata.
- Desarrollo tecnológico de tubería antibacterial para uso en conducción de agua grado consumo humano.
- Compositos poliuretano/nanopartículas de plata mediante el proceso de Moldeo por Inyección Reactiva (RIM).
- Nanocompuestos de poliolefinas/nanopartículas metálicas: caracterización de la liberación de plata y propiedades antibacteriales.
- Desarrollo de nanocompuestos para obtención de una plantilla antimicótica.
- Síntesis de nanocompuestos de AgI/TiO₂/EVA asistida por ultrasonido: actividad antibacterial inducida por luz visible.
- Efecto del tratamiento ultrasónico y el tamaño de partícula sobre las propiedades antibacteriales de materiales compuestos de copolímeros de etileno y acetato de vinilo con nanopartículas de plata.

En el segundo tema de investigación NyN, el estudio del comportamiento ante el fuego de materiales compuestos y nanocompuestos comprende principalmente la investigación y desarrollo de materiales poliméricos con propiedades retardantes a la flama. Además, materiales reformulados para tener la propiedad, como es el caso del desarrollo de cuero curtido al cromo con propiedades anti-flama. Las investigaciones se enfocan en la utilización de nanopartículas como aditivos retardantes a la flama, libres de compuestos

halogenados, para obtener materiales que tengan aplicaciones en la industria del cuero, automotriz, eléctrica, electrónica y aeronáutica. En el eje temático se han desarrollado proyectos como:

- Desarrollo de formulaciones con plástico reciclado con propiedades retardantes a la flama.
- Aplicación de nanopartículas para desarrollo de formulaciones retardantes de flama con base en materiales nanocompuestos libres de halógenos con aplicación en cueros para la industria aeronáutica.
- Investigación del efecto de la queratina, como biofibra obtenida de los desechos de la industria de la curtiduría, en las propiedades retardantes a la flama de biopolímeros.
- Reología de nanocompuestos poliméricos, micelas gigantes, polímeros asociativos y nanocompuestos.
- Liberación de fármacos encapsulados en nano y micro partículas obtenidas por secado por aspersión.
- Procesamiento de nanocompuestos poliméricos a base de arcillas orgánicamente modificadas y uso de ultrasonido.

Infraestructura

La infraestructura del CIATEC está dividida por áreas en función de su aplicación. En la Dirección de Investigación, Posgrado y Capacitación se cuenta con los laboratorios de Materiales Poliméricos, Ambiental, Biomecánica, de Membranas y Electrónica. En el primero, de principal uso para el área de investigación en materiales, se pueden realizar pruebas diversas que incluyen aquellas que se aplican a materiales poliméricos compuestos asociadas con su comportamiento termomecánico, como DMA, DSC, FTIR, TGA, reometría rotacional, etc. También se cuenta con equipamiento de procesado como lo es una inyectora de 50 toneladas y una extrusora de doble husillo, molino

FIGURA 7. Laboratorio de materiales, equipo de extrusión.



de plásticos, prensa de compresión y de vulcanización, secador de plásticos, variedad de moldes, y equipos periféricos. El laboratorio de biomecánica posee una serie de equipos para caracterizar el pie, desde presiones plantares, hasta escaneo 3D, monitoreo de marcha, y desarrollo de hormas y plantillas personalizadas. El laboratorio de membranas posee infraestructura para la generación de proyectos relacionados con la filtración y desarrollo de materiales para membranas. Finalmente el laboratorio de electrónica apoya la investigación con el desarrollo de sistemas electrónicos y de control de los equipos utilizados en los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en todo CIATEC.

Propiedad intelectual

La propiedad intelectual institucional ha sido presentada ante el IMPI en diversas aplicaciones, tales como la formulación de nanopartículas de plata y método para tratamiento de materiales para manufactura de calzado por parte de la Dra. María Maldonado Vega (2015) y colaboradores. En el ámbito del cuero, se tiene el documento denominado “Proceso de obtención de cuero semiterminado con propiedades retardantes a la flama con la adición de nanopartículas de arcilla bentonita sódica”, de la Dra. Guadalupe Sánchez Olivares, Téc. Víctor Ramírez González, Ing. José Alfredo Córdova Terrones, e Ing. José Martín Calvillo Mares (2014). Una tercera patente denominada “Materiales nanocompuestos retardantes a la flama a base de polietileno de alta densidad y su proceso de obtención”, de la Dra. Guadalupe Sánchez Olivares, en conjunto con el Dr. Antonio Sánchez Solís y el Dr. Octavio Manero Brito (2013). De los mismos autores se tiene “Proceso de obtención de materiales nanocompuestos con propiedades retardantes a la flama asistido por ultrasonido” (2012). Adicionalmente se puede mencionar el documento “método de fabricación de un material compuesto base polimérica con propiedades antifúngicas y antibacteriales de la Dra. Anayansi Estrada Monje, Dr. Sergio Alonso Romero, y colaboradores (2010), patente otorgada en el 2016, cuyo título se encuentra en trámite.

Recursos humanos

La formación de recursos humanos no ha alcanzado todavía al Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología, sede CIATEC, debido a que las líneas de investigación están relacionadas con la ingeniería industrial y de manufactura, e ingeniería ambiental. Sin embargo, se ha trabajado con estudiantes de licenciatura en temas como el estudio de las propiedades retardantes a la flama de nanocompuestos poliméricos para el recubrimiento de cables, obtención de nanocompuestos poliméricos a partir de polipropileno y arcilla químicamente modificada, estudio de nanocompuestos poliméricos a base de polietileno, arcillas y aditivos retardantes a la flama de la Dra.

Olivares. Se espera puedan ya incorporarse estudiantes del PICYT en temas de investigación NyN a partir de la generación 2016.

Principales logros

Los principales logros institucionales en el tema de NyN han sido la producción científica por medio de publicaciones con arbitraje, así como la producción tecnológica por medio de patentes. Todo el acervo desarrollado está siendo usado para aplicarse en proyectos de investigación y desarrollo tecnológico con empresas diversas. Por ejemplo, el proceso de desarrollo de nanoplata aplicada a plantillas para calzado ha permitido que se tenga una alternativa antimicótica y antibacterial en aplicaciones para calzado, especialmente aquellos con enfermedades de alguna manera susceptibles, tales como la diabetes. También se tiene el caso del proceso para la obtención de materiales nanocompuestos a base de poliolefinas con propiedades retardantes a la flama libres de compuestos halogenados. Con el proceso de obtención desarrollado se optimiza la cantidad necesaria de los aditivos retardantes a la flama, la cual se reduce 30 y 40%, por lo que la formulación de los materiales es de menor costo. Ambos materiales presentan clasificación V0 de acuerdo con la norma UL94. Los materiales presentan mejores propiedades mecánicas como son resistencia al impacto, y deformación a la ruptura y tenacidad con respecto a los sistemas que emplean alta concentración de aditivos. Para el caso de cuero semiterminado curtido al cromo, se desarrolló un proceso de obtención de cuero semiterminado con propiedades retardantes a la flama de acuerdo con los requerimientos de la norma 14 C.F.R. Apéndice F Parte 25, durante la etapa de acabado en húmedo del cuero con la utilización de nanopartículas de arcilla.

En la línea de investigación del comportamiento ante el fuego de materiales compuestos y nanocompuestos, CIATEC colabora con el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México, el Politecnico di Torino, sede en Alessandria, Italia, y con el Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung en Berlín, Alemania.

Publicaciones científicas

Entre las publicaciones realizadas con influencia del conocimiento NyN se pueden enumerar:

Síntesis de materiales a base de uretano reforzados con nanopartículas metálicas. I. Síntesis y caracterización. A. Estrada Monje, J. R. Herrera Reséndiz. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 14(1), 28-38. (2014). Publicada.

Clay minerals and clay mineral water dispersions: Properties and applications. G. Sánchez-Olivares, F. Calderas, L. Medina-Torres, A. Sánchez-Solis, A. Rivera-Gonzaga, O. Manero. Capítulo del libro: *Clays, clay*

minerals and ceramic materials based on clay minerals. Editor: Gustavo Morari do Nascimento. Editorial InTech Publisher. ISBN: 978-953-51-4597-4. Rijeka, Croacia.

Sodium montmorillonite effect on the morphology, thermal, flame retardant and mechanical properties of semi-finished leather. G. Sanchez-Olivares, A. Sanchez-Solis, F. Calderas, L. Medina-Torres, O. Manero, A. Di Blasio y J. Alongi. *Applied Clay Science*, 102, 254-260. (2014).

Flame retardant high density polyethylene optimized by on-line ultrasound extrusion. G. Sanchez-Olivares, A. Sanchez-Solis, F. Calderas, L. Medina-Torres, E. E. Herrera-Valencia, J. I. Castro-Aranda, O. Manero, A. Di Blasio and J. Alongi. *Polymer Degradation and Stability*, 98:2153-2160. (2013).

Flame retardancy of starch-based biocomposites-aluminum hydroxide-coconut fiber synergy. E. Gallo, G. Sánchez-Olivares, B. Schartel. *Polimery*, 58:395-402. (2013).

Extrusión with ultrasound applied on intumescent flame retardant polypropilene. G. Sanchez-Olivares, A. Sanchez-Solis, F. Calderas, L. Medina-Torres, E.E. Herrera-Valencia, A. Rivera-Gonzaga y O. Manero. *Polymer Engineering Science*, 53:2018-2026. (2013).

Closantel nano-encapsulated polyvinyl alcohol (PVA) solutions. Vega, A. F., Medina-Torres, L., Calderas, F., Gracia-Mora, J., y Bernad-Bernad, M. *Pharmaceutical Development and Technology*, Early online, 1-6. (2015).

Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. R. Santiago-Adame, L. Medina-Torres, J.A. Gallegos-Infante, F. Calderas, R.F. González-Laredo, N.E. Rocha-Guzmán, L.A. Ochoa-Martínez, M.J. Bernad Bernad. *LWT-Food Science and Technology*, 64: 571-577. (2015).

Sodium montmorillonite effect on the morphology, thermal, flameretardant and mechanical properties of semi-finished leather. G. Sanchez-Olivares, A. Sanchez-Solis, F. Calderas, L. Medina-Torres, O. Manero, A. Di Blasio, J. Alongi. *Applied Clay Science*. 102: 254-260. (2014).

On the yield stress of complex materials. F. Calderas, E. E. Herrera-Valencia, A. Sanchez-Solis, O. Manero, L. Medina-Torres, A. Renteria, G. Sanchez-Olivares. *Korea-Australia Rheology Journal*, 25(4): 233-242. (2013).

Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). L. Medina-Torres, E. Garcia-Cruz, F. R. F. Calderas, Gonzalez Laredo, G. Sanchez-Olivares, J.A. Gallegos-Infante, N. E. Rocha-Guzman, J. odriguez-Ramirez. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2): 642-650. (2013).

Unsaturated polyester-clay slurry nanocomposites. A. Rivera-Gonzaga A. Sanchez-Solis, G. Sanchez-Olivares, F. Calderas, O. Manero. *Journal of Polymer Engineering*, 32(1): 1-5. (2012).

The Transient Flow of the PET-PEN-Montmorillonite Clay Nanocomposite.

- F. Calderas, A. Sanchez-Solis, A. Maciel, O. Manero. *Macromolecular Symposia*, 283-84: 354-360. (2009).
- Mechanical and rheological studies on polyethylene terephthalate-montmorillonite nanocomposites. A. Sanchez-Solis, I. Romero-Ibarra, M. Estrada, F. Calderas, O. Manero. *Polymer Engineering and Science*, 44(6): 1094-1102. (2009).
- Nanostructural complex in ABS/TPU immiscible mixtures. R. Zitzumbo, F. Avalos and S. Alonso. *Polymers & Polymer Composites*, 24(3): 205-212. (2016).
- Mechanical and rheological properties of PP/BENTONITE composites using stearic acid as interface modifier. C. Angel, A.B. Morales, F. Navarro-Pardo, T. Lozano, P.G. Lafleur, S. Sanchez-Valdes, G. Martinez-Colunga, E. Ramirez-Vargas, S. Alonso, R. Zitzumbo. *J. of Applied Polymer Science*, 132(30). (2015).
- Análisis del módulo elástico y resistencia a la ruptura en mezclas de nanocompuestos de ABS/TPU. H. Castañeda, G.G. Reyes Hernández, R. Zitzumbo, J. Sánchez, S. Alonso. *Conciencia Tecnológica*, 39, 5-11. (2010).
- Viscoelastic characterization of TEOS sols in three different solvents when DBTL is used as polycondensation catalyst. C. Salazar-Hernández, J. Cervantes, S. Alonso. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* (Springer Netherlands), 54(1), 77-82. (2010).
- Pet-Mmt and Pet-Pen-Mmt Nanocomposites by Melt Extrusion. F. Calderas, G. Sánchez-Olivares, E.E. Herrera-Valencia, A. Sánchez-Solis, O. Manero. Capítulo 6 del libro: *Advances in nanocomposites - Synthesis, characterization and industrial applications*. Boreddy Reddy (ed.). Intech, Croacia. Rijeka. (2011).

Perspectivas sobre el estudio de la NyN

En conclusión, en CIATEC se realizan solamente proyectos de aplicaciones nanotecnológicas antes que el desarrollo de las nanopartículas en sí mismas. La vocación del CIATEC hacia la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico da la pauta para la realización de proyectos donde otros investigadores llevan a cabo el desarrollo básico del conocimiento, de tal modo que los investigadores en CIATEC utilicen ese conocimiento de la red para aplicarlo en problemas reales, sobre todo en vinculación con el sector productivo.

El futuro de la nanotecnología se halla ya en el presente al encontrar diversas aplicaciones prácticas en la vida diaria. En internet se pueden encontrar una serie de ejemplos de las ventajas. En CIATEC se vislumbran aplicaciones en cuero y calzado como punta de lanza con el objeto de ser la institución experta en la manufactura de cuero. Y conforme la industria automotriz y aeronáutica en México crece por arriba de la media nacional, demandará investigaciones tanto en propiedades de retardancia a la flama, como antifúngicas y antibacteriales, en las que este Centro estará presente.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*

Ernestina Castro-Longoria**

RESUMEN: En la nanotecnología actualmente se investiga el uso de diversos materiales biológicos como agentes reductores para la producción de nanopartículas metálicas (NPs), como una alternativa ecoamigable. Entre los agentes biológicos estudiados, los hongos y los extractos de plantas han sido identificados como excelentes candidatos para este propósito. Los hongos presentan una serie de ventajas sobre otros sistemas biológicos, tales como una alta tasa de crecimiento, requieren de nutrientes simples y son de fácil manejo en el laboratorio. Hasta el momento, más de 50 especies de hongos han demostrado una excelente capacidad de biorreducción para producir NPs metálicas. El hongo *Neurospora crassa* se ha utilizado con éxito para producir NPs de diversos metales. Hoy en día se exploran las posibles aplicaciones de las NPs generadas mediante métodos ecoamigables, en particular las nanopartículas de plata (AgNPs) por su excelente actividad antimicrobiana. Sin embargo, a pesar de los avances en este campo todavía hay mucho trabajo por hacer, sobre todo en la síntesis de NPs biocompatibles para su uso potencial en biomedicina.

PALABRAS CLAVE: Nanopartículas, métodos ecoamigables, antimicrobianos, hongos, *Neurospora crassa*.

ABSTRACT: In nanotechnology the use of biological material as reducing agents for the production of metallic nanoparticles (NPs) is subject of current research. Among the biological agents examined, fungi and plant extracts have been identified as excellent candidates for this purpose. Fungi present a number of advantages over other biological systems such as a rapid growth rate, simple nutrient requirements and easy handling of biomass/cultures. So far, more than 50 fungal species have demonstrated excellent bioreducing capacity to produce metallic NPs. The fungus *Neurospora crassa* has been successfully used to produce metallic NPs and the potential applications of such NPs are currently explored, particularly silver nanoparticles (AgNPs) for their excellent antimicrobial activity. Despite the advances in this field, there is still much work to be done, especially in finding biocompatible NPs for their potential use in biomedicine.

KEYWORDS: Nanoparticles, ecofriendly methods, antimicrobial, fungi, *Neurospora crassa*.

En el Departamento de Microbiología (DM) del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), se utilizan hongos como modelos experimentales para entender problemas fundamentales de crecimiento y diferenciación de los seres vivos. Como un uso adicional, se

Recibido: 28 de marzo de 2016. Aceptado: 9 de mayo de 2016.

* Algunas de las investigaciones realizadas contaron con apoyo parcial del proyecto SEP-CONACYT CB2011/169154. Gracias al Dr. Héctor Silva Pereyra por el apoyo para análisis de muestras de HRTEM, al M.C. Juan Manuel Martínez Andrade por los análisis de SEM y al LINAN-IPICYT.

** Departamento de Microbiología, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Ensenada, Baja California, México. Correspondencia: (ecastro@cicese.mx).

está investigando la utilización de estos organismos en la nanotecnología. Los hongos han sido identificados como una excelente alternativa, ecoamigable, para la producción de nanopartículas (NPs) de diversos metales, pues poseen una excelente capacidad de biorreducción. Su uso presenta una serie de ventajas sobre otros sistemas biológicos utilizados en la síntesis de NPs, como son su alta tasa de crecimiento, requieren medios de cultivo simples, y su cultivo es de fácil manejo. Además, por ser organismos que degradan materia orgánica, tienen el potencial de secretar enzimas que intervienen en la formación y estabilización de las NPs.

En el uso de hongos para la producción de NPs metálicas se han utilizado con éxito diferentes protocolos, los cuales incluyen ya sea la biomasa fúngica, el filtrado libre de células, el extracto de hongos o algunas moléculas purificadas, lo que representa una amplia gama de posibles aplicaciones. En particular, se ha encontrado que las NPs de plata poseen una excelente actividad antimicrobiana contra bacterias hongos y virus, incluso contra microorganismos multirresistentes. Sin embargo, en esta línea de investigación todavía queda mucho por hacer, lo que le brinda al DM, al igual que a todos los interesados en el tema, un campo fértil de investigación en el desarrollo de nuevos y mejores protocolos ecoamigables, que permitan controlar la forma y el tamaño de las NPs. Así como también realizar investigaciones respecto a las aplicaciones de estos bionanomateriales, sobre todo en el área biomédica.

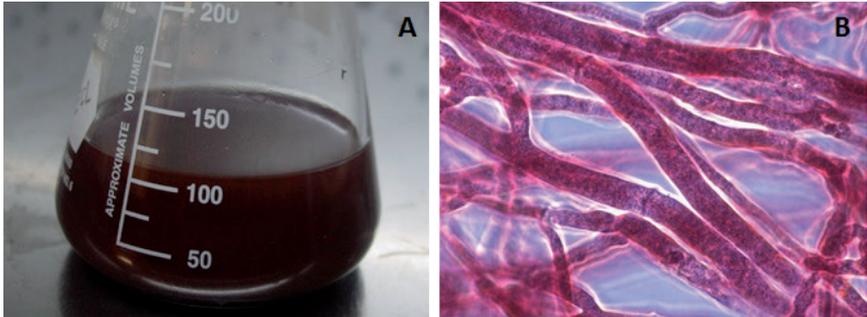
Líneas de investigación relacionadas con la nanotecnología

Si bien se ha participado en el desarrollo de investigación que involucra el uso de otros agentes biológicos, hasta el momento la principal línea de investigación en el área de la nanotecnología ha sido el uso de hongos para la biosíntesis y producción de NPs metálicas, caracterización de las mismas y sus posibles aplicaciones.

Algunos de los temas de investigación que se han atendido son:

- **Biosíntesis de NPs metálicas mediante el uso de la biomasa fúngica.** La biosíntesis de NPs metálicas mediante el uso de hongos fue reportada por primera vez en el 2001. Desde entonces, varias especies de hongos han sido utilizadas para verificar la capacidad de reducción que poseen. En el DM se utiliza particularmente el hongo *Neurospora crassa* como organismo modelo. La biomasa de este microorganismo se ha utilizado para la producción de NPs de plata, oro, platino, cobre y paladio. La figura 1 muestra un ejemplo de la biomasa de *N. crassa* empleada para la producción de nanopartículas oro.
- **Biosíntesis de NPs metálicas mediante el uso de extracto de hongos.** Para que los métodos ecoamigables puedan competir con los métodos físicos y químicos es necesario desarrollar protocolos más eficientes para la producción de NPs metálicas. Se ha propuesto el

FIGURA 1. Biomasa del hongo *Neurospora crassa* expuesta a HAuCl_4 durante 24 h (A) e hifas analizadas bajo microscopía de campo claro (B).



uso de los cultivos líquidos libres de biomasa y de extractos preparados a partir de la biomasa libre de medio de cultivo, además de enzimas purificadas a partir de algunas especies de hongos. En el DM hemos trabajado con extractos del hongo *N. crassa*, logrado muy buenos resultados (figura 2). Algunos de los resultados más importantes incluyen la obtención de NPs de oro de diversas formas (figura 2A) las cuales se utilizaron para la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas (SERS). También se logró la obtención de AgNPs de un rango de tamaño pequeño (figura 2B) las cuales poseen excelente actividad antifúngica contra especies del hongo patógeno *Candida* y actualmente se analiza su capacidad antibacteriana. Los nanoagregados de platino (figura 2C) que se obtuvieron mediante el extracto del hongo tuvieron un rango de tamaño de 17–76 nm, sin embargo, su posible aplicación no fue evaluada.

- **Uso de nanopartículas de plata como agente antimicrobiano.** El desarrollo de nuevos métodos para la producción de NPs nos ha permitido sintetizar AgNPs de 5 nm de tamaño promedio (figura 3), las cuales han sido utilizadas con éxito como agentes antimicrobianos para inhibir el crecimiento de especies del hongo patógeno *Candida*

FIGURA 2. Micrografías de HRTEM de nanopartículas de oro (A), plata (B) y platino (C), biosintetizadas mediante el uso de extractos del hongo *Neurospora crassa*.

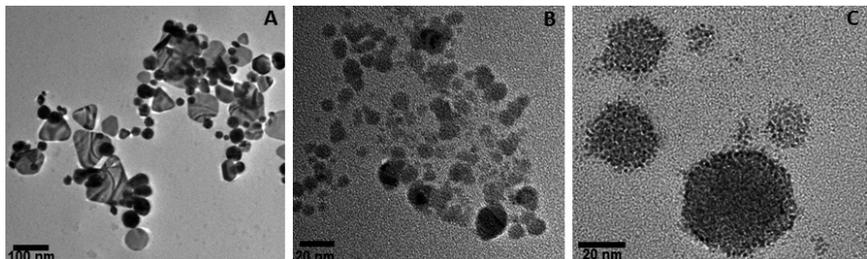
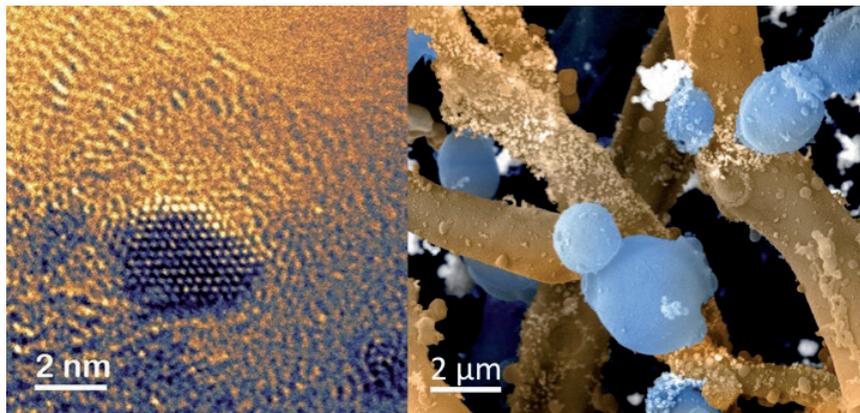


FIGURA 3. Micrografía de HRTEM de una nanopartícula de plata (izquierda) y micrografía de SEM del hongo *Candida albicans* expuesto a nanopartículas de plata (derecha). Imágenes con pseudo-color.



(figura 3). Se ha reportado que las AgNPs de tamaños menores a 10 nm son más eficientes como agentes antimicrobianos por la mayor superficie que pueden cubrir, además de liberar una mayor cantidad de iones (Ag^+), los cuales son microbicidas incluso a bajas concentraciones.

Colaboraciones y proyectos

La pertinencia y relevancia de la investigación que se ha venido realizando en el área de la nanotecnología ha fomentado la colaboración multidisciplinaria con investigadores de diferentes centros de investigación del país, tal es el caso del Dr. Miguel Avalos Borja, del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, experto en cristalografía, el Dr. Alfredo Rafael Vilchis Néstor, de la Universidad Autónoma del Estado de México, experto en química de materiales, el Dr. Luis Octavio Sánchez Vargas, de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, experto en microbiología experimental odontológica, el Dr. Jorge Santamaría, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, experto en fisiología vegetal molecular.

Las capacidades académicas y fortalezas de estas colaboraciones han permitido realizar proyectos de investigación en temas como:

- El uso de NPs de oro biosintetizadas por medio del extracto de *N. crassa* para la amplificación de señales Raman de moléculas adsorbidas (SERS).
- La formación de nanopartículas de plomo por el lirio acuático *Salvinia minima*.
- El análisis ultraestructural del hongo patógeno *Candida albicans* expuesto a las NPs de plata.

FIGURA 4. Perspectivas del área de trabajo dentro del Laboratorio del Departamento de Microbiología.



- El uso de NPs de plata en tratamientos odontológicos.
- La producción de NPs de plata de tamaño controlable mediante el uso del extracto de *N. crassa*.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados

El potencial que tiene la nanotecnología en diferentes aplicaciones, nos ha permitido incursionar en la generación de biotecnologías que involucran el desarrollo y uso de una solución de NPs de plata para tratamientos odontológicos. La patente de esta solución se encuentra en trámite ante el IMPI.

Infraestructura

En el Departamento de Microbiología se cuenta con un laboratorio común (figura 4), en el que los equipos analíticos existentes pueden ser utilizados por todo el personal académico del departamento y nuestros estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado. Parte primordial para el desarrollo de nuestras investigaciones es contar con diferentes tipos de microscopios, desde microscopios compuestos y estereoscópicos, para el trabajo rutinario, hasta los más especializados, como un microscopio confocal (Olympus, FV1000), dos microscopios de fluorescencia de reflexión interna total (Olympus, IX81 TIRF y Nikon, Eclipse Ti TIRF) y un microscopio electrónico de transmisión (Hitachi H-7500). Para análisis de cortes finos contamos con un ultramicrotomo (Leica, Ultracut R), así como con todo el material necesario para la preparación y análisis de muestras biológicas. Algunos de estos equipos se muestran en la figura 5. Para el análisis de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) y de microscopía electrónica de barrido (SEM) se cuenta con el apoyo del LINAN-IPICYT.

FIGURA 5. Imágenes de algunos de los equipos con los que cuenta el Departamento de Microbiología. Microscopio confocal (A), microscopio de fluorescencia de reflexión interna total (B), microscopio electrónico de transmisión (C), ultramicrotomo (D).



Formación de recursos humanos

Parte fundamental en las actividades de investigación en el área de nanotecnología ha sido la formación de recursos humanos a través de la docencia, la dirección de tesis a estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado, y mediante programas de servicio social en sus etapas básica y profesional para estudiantes de licenciatura.

Lista de trabajos generados

- Acedo-Valdez M.R. (2010). Biosíntesis de nanopartículas de Cu y Pd mediante el hongo *Neurospora crassa*. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora. 62 pp.
- Castro-Longoria E., Vilchis-Nestor A.R., Avalos-Borja M. (2011). Biosynthesis of silver, gold and bimetallic nanoparticles using the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 83: 42-48.
- Castro-Longoria E., Moreno-Velásquez S.D., Vilchis-Nestor A.R., Arenas-Berumen E., Avalos-Borja M. (2012). Production of platinum nanoparticles and nanoaggregates using *Neurospora crassa*. *J. Microbiol. Biotechnol.* 22(7), 1000-1004.

- Castro-Longoria E., Trejo-Guillén K., Vilchis-Nestor A.R., Avalos-Borja M., Andrade-Canto S.B., Leal-Alvarado D.A., Santamaría J.M. (2014). Biosynthesis of lead nanoparticles by the aquatic water fern, *Salvinia minima* Baker, when exposed to high lead concentration. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 114, 277-283. ISSN: 0927-7765.
- Castro-Longoria E. Fungal biosynthesis of nanoparticles, a cleaner alternative. En Purchase, D. (ed.) *Fungal applications in sustainable environmental biotechnology*. Springer. (En prensa).
- Martínez-Andrade J.M. (2015). Evaluación *in vitro* de una solución irrigante con nanopartículas de plata. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 135 pp.
- Moreno-Velásquez S.D. (2010). Biosíntesis de nanopartículas de platino mediante el uso del hongo filamentoso *Neurospora crassa*. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora, 79 pp.
- Nolasco-Arizmendi V., Morales-Luckie R., Sánchez-Mendieta V., Hinnestroza J.P., Castro-Longoria E., Vilchis-Nestor A.R. (2012). Formation of silk-gold nanocomposite fabric using grapefruit aqueous extract. *Textile Research Journal*. DOI: 10.1177/0040517512461697.
- Qvester K., Avalos-Borja M., Vilchis-Nestor A.R., Camacho-López M.A., Castro-Longoria E. (2013). SERS properties of different sized and shaped gold nanoparticles biosynthesized under different environmental conditions by *Neurospora crassa* extract. *PLoS ONE*, 8(10): 1-8, ISSN: 1932-6203
- Qvester K., Avalos-Borja M., Castro-Longoria E. (2013). Biosynthesis and microscopic study of metallic nanoparticles. *Micron*, 54-55, 1-27. DOI 10.1016/j.micron.2013.07.003, ISSN: 0968-4328
- Qvester K. (2014). The use of *Neurospora crassa* soluble proteins as bioreducing agent for the production of gold and silver nanostructures. Tesis de doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 166 pp.
- Qvester K., Avalos-Borja M., Castro-Longoria E. (2016). Controllable synthesis of silver nanoparticles using fungal extract. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 7: 118-125. doi.org/10.4236/jbnb.2016.72013
- Vazquez-Muñoz R. (2013). Interacción de las nanopartículas de plata con el hongo patógeno *Candida albicans*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 114 pp.
- Vazquez-Muñoz R., Avalos-Borja M., Castro-Longoria E. 2014. Ultrastructural analysis of *Candida albicans* when exposed to silver nanoparticles. *PLoS ONE*, 9(10): e108876, ISSN: 1932-6203. doi:10.1371/journal.pone.0108876.

Principales logros

Dentro de los principales logros obtenidos se incluyen:

- La producción de NPs metálicas mediante métodos ecoamigables.
- La elaboración de una novedosa solución a base de NPs de plata para uso en tratamientos odontológicos, lo que llevó al registro de una patente ante el IMPI.
- Formación de recursos humanos de alto nivel con una formación multidisciplinaria.
- Creación y consolidación de una nueva línea de investigación en el CICESE, “La producción de nanopartículas metálicas mediante métodos ecoamigables y su aplicación en biomedicina”.
- Creación y consolidación de un grupo de trabajo multidisciplinario a nivel interinstitucional.
- Reconocimiento a nivel internacional, lo cual ha dado lugar a extenderse más allá de las fronteras con la reciente integración de la Dra. Diane Purchase de la Universidad de Middlesex en Londres, con quien estamos planeando la aplicación de NPs en procesos de biorremediación mediante el uso de los hongos.
- Inicio de una colaboración con médicos del Hospital General de Tijuana para la elaboración de una solución a base de NPs de plata para la inhibición de microorganismos resistentes.

Perspectivas

Nuestras perspectivas en el mediano y largo plazo se enfocarán en el avance de la línea de investigación en el desarrollo de métodos ecoamigables para la síntesis de NPs metálicas, utilizando principalmente a los hongos como agentes reductores, asimismo utilizarlos en biorremediación de metales pesados. También se planea continuar con la investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones de las NPs biosintetizadas en el área biomédica.

Sitios de interés relacionados con el Departamento de Microbiología

Página institucional: <<http://www.cicese.edu.mx/#>>.

Página del Departamento de Microbiología:

<<http://www.cicese.edu.mx/int/index.php?mod=inv&op=ac&dep=6801>>.

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

Jesús González Hernández*

RESUMEN: CIDESI es un centro de ingeniería, perteneciente al Sistema de Centros Públicos del CONACyT, fundado hace 33 años. Está organizado en 4 direcciones adjuntas, 6 direcciones temáticas y 5 sedes: Querétaro, Nuevo León, Estado de México, Baja California y Campeche. En el periodo 2009-2015, obtuvo 137 proyectos autorizados del Programa de Estímulos a la Innovación, ubicándose en cuarto lugar de los Centros Públicos. Ha incursionado en la nanotecnología con el diseño, instalación y puesta en operación de plantas piloto para la síntesis de nanopartículas de TiO_2 , óxidos metálicos y nanotubos de carbono. Actualmente, se buscan nuevas propiedades en fibras de carbono, baterías de litio, adhesivos y matrices poliméricas por incorporación de diversos nanomateriales. Cuenta con dos programas de maestría y uno de doctorado en el Padrón del Programa Nacional de Posgrados de Calidad, 21 investigadores en el Sistema Nacional de Investigadores y es incubadora del Laboratorio Nacional de Investigación en Tecnologías del Frío, el Centro Nacional de Tecnologías Aeronáuticas y el Laboratorio para el Diseño y Fabricación de Sistemas Microelectromecánicos (MEMS).

PALABRAS CLAVE: CONACyT, ingeniería, planta piloto, posgrado, proyectos.

ABSTRACT: CIDESI is an engineering center, belonging to the System of Public Centers CONACyT, founded 33 years ago. It is organized in 4 associated directions, 6 thematic directions and five headquarters: Queretaro, Nuevo Leon, State of Mexico, Baja California and Campeche. In the period 2009-2015, it received 137 projects authorized by the Incentives Program Innovation, ranking in fourth place of the Public Centers. It has dabbled in nanotechnology with the design, installation and operation of pilot plants for the synthesis of TiO_2 nanoparticles, metal oxides and carbon nanotubes. Nowadays, new properties in carbon fibers, lithium batteries, adhesives and polymer matrices, by incorporation of various nanomaterials, are researched. CIDESI has two Master's programs and one PhD in the Register of the National Program of Quality Postgraduate, 21 researchers at the National Research System and it is incubator of the National Laboratory of Research in Cold Technologies, the National Aerospace Technology Centre and the Laboratory for Design and Manufacture of microelectromechanical systems (MEMS).

KEYWORDS: CONACyT, engineering, pilot plants, postgraduate, projects.

Antecedentes

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) es una institución cuya finalidad es propiciar la vinculación de la industria nacional con las instituciones de educación superior del país mediante la producción, adqui-

Recibido: 30 de marzo de 2016. Aceptado: 10 de mayo de 2016.

* Director General del CIDESI. Av. Playa Pie de la Cuesta 702, Col. Desarrollo San Pablo, C.P. 76125, Querétaro, Qro. México. Correspondencia: (jesus.gonzalez@cidesi.edu.mx), Tel. +52 (442)211-9805.

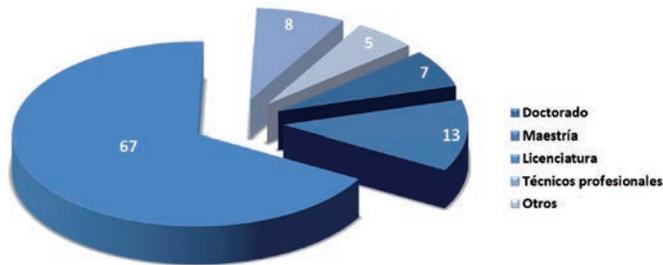
FIGURA 1. Sede del CIDESI en Santiago de Querétaro.

sición, adecuación, transferencia y comercialización de bienes y servicios tecnológicos para el desarrollo de la sociedad.

CIDESI fue creado por decreto presidencial, publicado en el *Diario Oficial de la Federación*, el viernes 9 de marzo de 1984; inicialmente, como un departamento de apoyo directo a la industria dentro del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), se le otorgaron las instalaciones de lo que había sido el Centro Nacional de Enseñanza Técnica Industrial (CENETI), en Azcapotzalco. Como parte de las acciones del Programa de Descentralización Administrativa y, por instrucciones de la Secretaría de Educación Pública, se iniciaron acciones para reubicar el Centro a una entidad federativa del país. Después de varios estudios, se determinó que la nueva sede fuera Santiago de Querétaro, reiniciando el CIDESI sus operaciones en las instalaciones actuales (figura 1) en 1987.

A partir del 28 de febrero de 1992, CIDESI pasó a formar parte del Sistema de Centros Públicos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Desde entonces, la interacción que CIDESI ha mantenido con los diferentes sectores de la sociedad es a través de las directrices generales del Plan Nacional de Desarrollo, y en lo particular del Programa Nacional de Ciencia y Tecnología. Por lo tanto, sus funciones principales se han enfocado en implantar procesos de manufactura y transferirlos a la industria sobre bases comerciales; contribuir al desarrollo, difusión e implantación (dentro de la industria nacional) de aquellas tecnologías que se adapten mejor a las condiciones cambiantes del país; brindar servicios de asesoría a la industria de manufactura y a las compañías de ingeniería en las áreas de diseño, control y garantía de calidad, normalización, tecnología de procesos y asimilación de tecnología. Además, dentro de sus ejes de trabajo ha estado el desarrollar proyectos de investigación aplicada y de enseñanza especializada de interés para otras instituciones, a realizarse bajo convenios específicos; capacitar personal de la industria en la ingeniería de procesos de manufactura; fabricar productos o componentes que la industria nacional ha requerido; comercializar las tecnologías desarrolladas y los resultados obtenidos de la investigación.

FIGURA 2. Plantilla de personal del CIDESI.



CIDESI hoy

En la actualidad está constituido como un organismo descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con autonomía de decisión técnica, operativa y administrativa. Está organizado en cuatro direcciones adjuntas: aeronáutica, administración y finanzas, posgrado, e I+D+i. De éstas, se desprenden las siguientes direcciones con las que el CIDESI contribuye activamente al desarrollo del sector productivo del país, a través de proyectos de investigación e innovación:

- Sistemas automatizados.
- Sistemas microelectrónicos.
- Energía.
- Tecnologías de soldadura.
- MEMS.
- Recubrimientos.

Hoy en día cuenta con una plantilla de 510 trabajadores, ya sea como personal de base, eventual o subcontratado. Cabe mencionar que hay nueve catedráticos comisionados CONACyT. En los últimos cinco años, su plantilla se ha incrementado en más de un 32%, siendo el grado académico de ésta variado, tal y como lo muestra la figura 2.

Durante el periodo 2009-2015, el Centro ha obtenido un total de 137 proyectos autorizados en el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI), ubicándose en cuarto lugar de diez centros públicos de investigación. Es importante señalar que durante el periodo 2010-2015 los proyectos aprobados en el PEI han permitido tener presencia en 21 estados del país y la Ciudad de México. Debido a la demanda de proyectos tecnológicos y de innovación, que contemplan el diseño, fabricación y ensamble de maquinaria, equipos y sistemas electrónicos con aplicación para distintos sectores industriales, el CIDESI ha ampliado su oferta de servicios implementando cuatro sedes con actividades definidas:

CIDESI – Nuevo León

Ubicado en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica del Estado de Nuevo León, tiene líneas de investigación enfocadas a manufactura avanzada; electrónica; control, y, metrología en las magnitudes de dimensional, par torsional, presión, temperatura y eléctrica.

CIDESI – Baja California

La participación de CIDESI en el Consorcio Tecnológico de Tijuana se lleva a cabo mediante la operación de laboratorios en el área de metrología dimensional y eléctrica, atendiendo empresas mediante servicios de calibración y la impartición de cursos.

CIDESI – Estado de México

Las líneas de investigación y desarrollo de esta subsede están orientadas fundamentalmente a la manufactura avanzada y logística.

CIDESI – Campeche

El objetivo de esta sede, en etapa de construcción, es contribuir a incrementar la productividad y competitividad de la industria petrolera de la región; responder a las demandas del sector, y fortalecer la formación de recursos humanos especializados con un modelo de operación probado y orientado a la autosuficiencia.

Incursión del CIDESI en la NyN

Con la presencia de CIDESI en el país y el interés creciente por desarrollar tecnologías relacionadas con la síntesis, caracterización y aplicaciones de materiales nanoestructurados, así como su escalamiento a nivel semindustrial, no es extraño que los sectores interesados buscaran en CIDESI una alternativa para implementar tareas de producción más allá de la escala del laboratorio. Algunos de los casos de éxito del Centro son:

Planta de Nanopartículas de Dióxido de Titanio (TiO₂)

Se realizó el diseño, la construcción, instalación y puesta en operación de una planta para la producción de nanopartículas de TiO₂. La principal aplicación de la producción de éstas es la elaboración de pinturas, grado farmacéutico, cosméticos y cremas solares.

Sistema de producción de nanopartículas: metálicas, óxidos metálicos y de materiales compuestos

Se llevó a cabo el diseño, la construcción, instalación y puesta en marcha de una planta para la producción de nanopartículas. La principal aplicación de este proyecto es la fabricación de nanopartículas por métodos químicos que permiten obtener una amplia variedad de productos como óxidos metálicos, metales y materiales compuestos en una escala de producción de 2.5 kg/h; los cuales son la base para la fabricación de cerámicos, recubrimientos y plásticos para la industria eléctrica, entre otras.

Planta de nanodispersiones de TiO₂

Se ha desarrollado la ingeniería básica y de detalle de la planta piloto para la producción de nanodispersiones de TiO₂, logrando una mejora sustancial en el funcionamiento y control del proceso de la planta para la fabricación de las nanopartículas metálicas soportadas en TiO₂.

Por otra parte, algunos de los proyectos desarrollados en la actualidad dentro de las direcciones temáticas del CIDESI son:

- Diseño de ingeniería básica para incorporar nanopartículas.
- Prototipo de fuente pulsante para formación de nanoestructuras en electrodos.
- Implementación de nanotubos de carbono para baterías de litio.
- Adhesivos enriquecidos con nanotubos y fibras de carbono.
- Polímeros nanoestructurados multifuncionales.
- Mejoramiento de planta piloto para nanomateriales.
- Nanotubos de carbono en materiales compuestos reforzados con fibras de carbono y vidrio.

Infraestructura

El CIDESI se encuentra instalado en una superficie de 41,105.97 m², ahí se encuentran construidas las áreas de diseño, ensamble y prototipos, laboratorios de metrología, tecnología de materiales; materiales compuestos; mecatrónica y microelectrónica.

Parte de la infraestructura relevante destinada a actividades científico-tecnológicas incluye: autocolimador fotoeléctrico, centro de maquinados, máquina electroerosionadora de hilo, máquina universal para ensayos de tensión, microscopio electrónico de barrido, durómetro Rockwell con escala normal y superficial, probador de microdureza con torreta automática, probador de dureza Brinell con carga de 3,000 Kg, equipo portátil de rayos X, de 200 Kv, espectrómetro de fluorescencia de rayos X, analizador termogravimétrico, calorímetro diferencial de barrido, espectrómetro de infrarrojo,

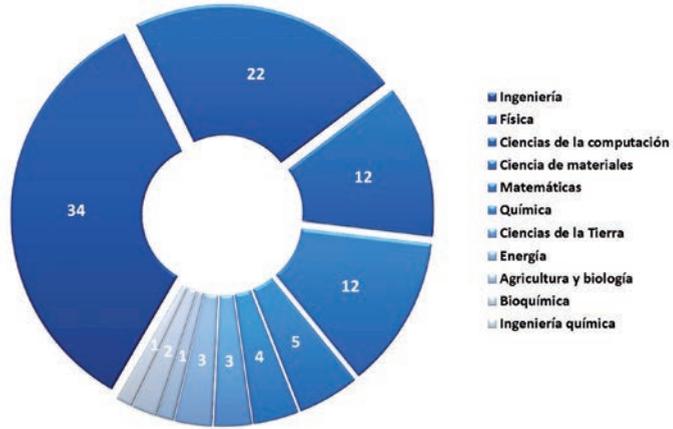
horno para curado de materiales, espectrofotómetro de absorción atómica, espectrómetro de emisión óptica (móvil y fijo), equipos con accesorios para medición de espesores y detección de fallas, probador de impacto CHARPY, equipo de emisión acústica, máquinas de medición por coordenadas, rugosímetro, osciloscopios digitales, puente medidor de inductancias y capacitancias, determinador de carbono-azufre, espectrofotómetro de plasma por inducción, péndulo de impacto, equipos de rayos X, máquina estacionaria de partículas magnéticas, equipo de ultrasonido ULS-48, prensa hidráulica, fresa de control numérico, electroerosionadora de hilo, mandriladora, electroerosionadora de penetración, rectificadoras, cizalla, dobladora, roladora, máquinas soldadoras, torno horizontal, erosionadora por corte de hilo, fresas control lineal, prensa de 100 Ton, equipo de inspección termográfica, máquina para fabricación de tarjetas electrónicas, servoprensa, máquina de estereolitografía, sistema PXI estándar para pruebas mecatrónicas, entre otros.

Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICyT)

El programa de formación de recursos humanos se realiza principalmente a través del PICyT; un programa de posgrado multidisciplinario que ofrece los grados de maestría y doctorado en ciencias con orientación profesional, a la investigación y ciencias aplicadas. El PICyT tiene dos líneas terminales: mecatrónica y diseño, y, desarrollo de sistemas mecánicos. En este año, se ofertará la opción terminal en control. Estos programas tienen por objetivo formar capital intelectual de alto nivel científico y tecnológico, capaz de generar, innovar, aplicar y transmitir conocimientos actuales, académicamente pertinentes y socialmente relevantes, que incidan en el desarrollo del sector productivo. El PICyT es un programa interinstitucional; es decir, se imparte entre siete centros públicos de investigación del sistema CONACyT (CIATEQ, CIATEJ, CIATEC, CIDETEQ, CIO, COMIMSA) con igual prioridad, misión y visión compartidas hacia el programa, en las áreas y disciplinas sustantivas de éstos.

En el CIDESI también se imparte una maestría de manera conjunta con la Universidad de Aachen de Alemania y una especialidad de tecnólogo en mecatrónica. Por otra parte, derivado de la suscripción de convenios con las universidades de Texas y de Sheffield, hay nueve estudiantes mexicanos realizando estudios de posgrado en el extranjero. Es importante informar, como resultado de las primeras gestiones llevadas a cabo en el 2013, con la empresa Ford y la Universidad de Detroit-Mercy (UDM), el implantar en el 2017 un programa de maestría enfocado al desarrollo de producto, con reconocimiento en el programa de Posgrados con la Industria del CONACyT, para ser ofertado tanto a ingenieros de la empresa FORD en Dearborn como en Cuautitlán-Izcalli.

FIGURA 3. Campo de conocimientos de las publicaciones del CIDESI.



La demanda de los posgrados de CIDESI es alta. Hoy en día, en los programas de maestría se encuentran inscritos 74 estudiantes, mientras que en el doctorado la matrícula es de 42 estudiantes. De éstos, hay 17 proyectos de tesis relacionados con el desarrollo y/o aplicación de materiales micronanoestructurados. La participación de los investigadores del CIDESI en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) ha sido constante. Al día de hoy, hay tres investigadores Nivel III, uno Nivel II, diez Nivel I y ocho candidatos.

Generación de conocimiento

A pesar de que la vocación principal de CIDESI es el desarrollo de proyectos de I+D+i para la industria, la plantilla de investigadores contribuye activamente en la generación de artículos científicos y de divulgación, capítulos de libro, patentes y derechos de propiedad intelectual. El campo de conocimientos de las publicaciones del CIDESI es muy diverso, tal como puede observarse en la figura 3.

Adicionalmente, los investigadores participan en congresos nacionales e internacionales así como en la organización de eventos académicos, tales como: el Seminario Internacional de Evaluación no Destructiva de Materiales y Estructuras Aeronáuticos; el Tercer Curso Internacional en Ensayos no Destructivos para Inspectores Certificables; el Ciclo de conferencias “Generando Sinergias en el Estado de Querétaro. Hacia una Sociedad del Conocimiento”; el Primer Seminario Internacional del Laboratorio Nacional de Investigación en Tecnologías del Frío; el Primer Simposium en Ciencia e Innovación Tecnológica de Materiales y su Impacto en la Industria CITE-MIIN-2015 y la Primer Reunión de la Red Temática Nacional de Aeronáutica, entre otros.

CIDESI, incubadora de nuevos laboratorios

LaNITEF

El Laboratorio Nacional de Investigación en Tecnologías del Frío (LaNITEF) encuentra su origen y justificación en la creciente preocupación por la contribución de la industria de refrigeración y aire acondicionado, al deterioro del medio ambiente, a través de la emisión de gases potencialmente contaminantes, debido a la naturaleza química de los refrigerantes clásicos, así como, al alto consumo energético que generan estos equipos.

En el país, durante 2010, el consumo de energía eléctrica, únicamente de equipos de refrigeración comercial, ha representado más del 11% del total de energía eléctrica producida. Ante lo cual y en conocimiento de la cercana ruptura tecnológica que se presentará en tecnologías del frío; CIDESI, como institución sede, ha propuesto un Laboratorio Científico, Tecnológico y de Innovación con el claro objetivo de atender la problemática antes expuesta, logrando satisfacer dos necesidades: 1) contribuir al aumento de la eficiencia energética, y, 2) consolidar la sustentabilidad ambiental en sistemas de refrigeración y enfriamiento.

El LaNITEF enfocará sus esfuerzos en dos grandes tareas: la primera será la generación de innovaciones en las tecnologías de refrigeración actuales, basadas en la compresión de gas; y la segunda implica la exploración de nuevas tecnologías, sin uso de compresión de gas, sino mediante el uso de materiales capaces de producir frío cuando se someten a los efectos de un campo magnético, un campo eléctrico o un esfuerzo mecánico, entre otros. El LaNITEF ofrecerá servicios tecnológicos a la industria; tales como: simulación y análisis computacional de fenómenos de transferencia de energía; desarrollo de instrumentación para el aseguramiento de la cadena de frío; determinación de la eficiencia energética en la cadena de frío; el desarrollo de materiales avanzados para transferencias de energía, incluyendo los magnetocalóricos, los nano materiales, los aislantes, los absorbentes de humedad, los materiales desecantes, refrigerantes naturales, el rediseño de plantas frigoríficas para optimizar su eficiencia energética o las transferencias de energía en la búsqueda de sustentabilidad ambiental, así como el estudio de vigilancia tecnológica en sistemas innovadores para la transferencia de energía.

Además de la oferta de servicios tecnológicos y la ejecución de líneas de investigación, el LaNITEF difundirá sus objetivos y metas a través de eventos empresariales, publicaciones científicas en prestigiosas revistas nacionales e internacionales, la ejecución de programas para estancias académicas con propuestas de desarrollo de tesis para estudiantes de los tres niveles: licenciatura, maestría y doctorado, la creación de nuevos grupos de trabajo y nuevas líneas de estudio para investigadores posdoctorales, la formación de recursos humanos dentro y fuera de la red a través de capacitaciones y entrenamiento

en temáticas relacionadas, la organización de coloquios o seminarios, y la gestión de propiedad intelectual.

La explotación de los resultados y el desarrollo del laboratorio, permitirán fortalecer el aparato productivo y económico del país, transfiriéndose a empresas de base tecnológica que se convertirán, a su vez, en agentes económicos controlables, e impactará fuertemente en el fomento al empleo, la sustentabilidad ambiental, la reactivación de industrias del sector, el desarrollo científico y tecnológico de México.

CENTA

En 2014, el CONACyT y la Agencia Espacial Mexicana (AEM) firmaron un convenio para crear el Centro Nacional de Tecnologías Aeronáuticas (CENTA), con sede en Querétaro y bajo la coordinación del CIDESI. El CENTA ha iniciado su construcción en 2015 y podría iniciar operaciones a comienzos del 2016. Es el nuevo integrante del Sistema de Centros Públicos de Investigación de CONACyT, y se ubicará en el parque aeroespacial de Querétaro. Este nuevo centro atenderá necesidades al sector aeronáutico y aeroespacial, generará investigación y desarrollo, creará vínculos entre proveedores y las grandes industrias, y formará capital humano de elevado nivel tecnológico.

En una primera etapa ofrecerá lo relacionado con actividades de manufactura, como el formado y maquinado, procesos de ensamble, procesos sustentables, de mantenimiento y reparación. Conforme se vaya consolidando, el CENTA ofrecerá servicios de aeroestructuras para materiales metálicos, aleaciones avanzadas y materiales compuestos con matrices termofijas, termoplásticas y matriz cerámica. Al mismo tiempo, se realizará investigación aplicada en polímeros termoplásticos reforzados con partículas a escala nanométrica, como son las arcillas minerales, las nanofibras, los nanotubos de carbono y el grafeno. Materiales en los que los investigadores actuales del laboratorio de materiales compuestos de CIDESI tienen gran experiencia.

En el rubro de propulsión aeronáutica, el CENTA trabajaría materiales para altas temperaturas, módulos de motor, componentes de combustible digitales, bancos de pruebas y lo relacionado con biocombustibles; en tanto que en la parte de componentes y sistemas aeronáuticos se manejaría lo eléctrico, trenes de aterrizaje, ruedas, frenos, sistemas hidráulicos, de aviónica, sistemas neumáticos y de lubricación, así como toda la parte de transmisión y cajas de engrane. Finalmente, en una etapa más avanzada se atenderá lo relacionado con el ruido emitido por los motores, la aerodinámica externa e interna y las ciencias de vuelo. Además, se pondrá énfasis en la investigación enfocada tanto en materiales como en sus aplicaciones.

MEMS

En CIDESI se ha iniciado la construcción del laboratorio para el diseño y fabricación de sistemas microelectromecánicos (MEMS). Este laboratorio tiene el propósito principal de desarrollar esta tecnología en vinculación directa con los sectores público y privado de México para fortalecer el desarrollo de microsistemas que coadyuven al desarrollo de microsensores en diversos campos en donde MEMS es fundamental para la optimización de equipo y sistemas de relevancia científica e industrial. Durante los últimos 40 años la investigación y desarrollo de microsistemas (*micro-electro-mechanical systems*, MEMS) se ha realizado en varios países del mundo, en donde la electrónica se integra con estructuras mecánicas tridimensionales, para hacer posible la implementación de microsensores y microactuadores óptimos para aplicaciones científicas e industriales.

En la actualidad, esta tecnología se encuentra en una etapa madura, cuyas áreas y tipos de aplicación resultan en amplios beneficios para la sociedad. Por ejemplo, éstos son fundamentales para la industria automotriz, aéroespacial, médica, biológica, energética, de electrodomésticos, telecomunicaciones y telefonía. El potencial que MEMS representa para México es enorme y la importancia económica de los microsistemas tiene un vasto impacto en aplicaciones tienen en la actividad industrial y de servicios.

Las metas inmediatas de este laboratorio son:

- a) Establecer sinergias activas con la industria mexicana para coadyuvar soluciones óptimas a problemas reales y de trascendencia nacional.
- b) Estar en capacidad de diseñar y fabricar prototipos optimizados que puedan ser usados tanto por la industria como por el sector público de México.
- c) Identificar los nichos de oportunidad para México con esta tecnología, que pudiesen justificar proyectos de mayor envergadura y de trascendencia nacional; y de ahí:
- d) Recomendar una posible estrategia para el posible establecimiento de una fábrica de microsistemas (MEMS *foundry*), para la producción de microsistemas en medianos y grandes volúmenes, enfocados a las necesidades nacionales de los sectores público y privado.

En el laboratorio de sistemas microelectromecánicos, MEMS, se instalarán cuartos limpios clase 100 y clase 1000, que en total tendrán una área de 365m², donde habrá equipos para el procesamiento húmedo de obleas de silicio, y otros materiales, para el depósito y curado de fotorresinas y otros materiales (*spinner* y hornos de baja de temperatura), equipo especial de fotolitografía y alineamiento de mascarillas y para la escritura directa o la creación de mascarillas fotolitográficas (*laser writer*), equipo para el maquinado por

plasma de silicio y dieléctricos (DRIE-Bosch), equipo para el depósito de películas de polisilicio, silicio amorfo y materiales dieléctricos por PE-CVD y LP-CVD, incluyendo sistema para el depósito de dieléctricos por TEOS. Equipo para el depósito de películas de metales y otros materiales por DC y RF-magnetron *sputtering* y por rayo electrónico (*e-beam*) (PVD), así como un sistema para el depósito y procesamiento de *parlylene*.

De igual forma se tendrán diferentes equipos para para la marcación de obleas de silicio y metales así como el maquinado de silicio por ablación de láser (*fiber Ytterbium pulsed laser*), liberación de microestructuras por sublimación, perfilometría por contacto y óptica para la dimensionalización de estructuras en 3D, hornos de alta temperatura oxidación, difusión, y tratamiento térmico de silicio y polímeros, estación de puntas de pruebas y variado equipo para la caracterización eléctrica, térmica y magnética de dispositivos y materiales y una alambradora de chips.

En este laboratorio se trabajará en el desarrollo de microsistemas de tipo inercial para aplicaciones sísmicas, automotrices, aeronáuticas e industriales, microsistemas para la conversión de energía termoeléctrica, algunos biosensores que sean del interés nacional en el sector salud, y dispositivos de tipo metrológico, incluyendo el desarrollo de microsensores y electrónica flexible (*wearables*).

Vinculación y servicios

CIDESI mantiene alianzas estratégicas efectivas en investigación y desarrollo, así como en formación de capital humano, con instituciones nacionales como: el Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma de Querétaro y el Centro Nacional de Metrología, y alianzas estratégicas con instituciones internacionales como la Agencia de Cooperación Internacional de Japón, la Universidad de Ciencias Aplicadas de Aachen de Alemania, las universidades de Lehigh, Texas A&M, Team Technologies y la Anderson School of Management de la Universidad de Nuevo México de Estados Unidos, la Universidad de Sheffield de Inglaterra, el Centro de Tecnologías Aeronáuticas y Tecnalia de España.

Una de las actividades más importantes para CIDESI es la obtención y realización de proyectos de I+D+i para el sector industrial, por lo que las actividades de prospección y negociación permitieron una cartera de 84 proyectos para las industrias del sector automotriz, electrodomésticos, energía, aeronáutico y la de alimentos. Asimismo, la participación en diversas convocatorias para el fondeo de proyectos y la aceptación de propuestas en los programas de INNOVAPYME, PROINNOVA e INNOVATEC, coadyuvaron a este objetivo. CIDESI cuenta con una cartera de más de 800 clientes directos, entre entidades de tipo corporativo transnacional a microempresarios, que reciben soluciones integrales en las áreas de competencia y en ocasiones expandidas por los socios tecnológicos con los que se amplía la capacidad y

solución a problemas. Es proveedor de las industrias: automotriz, de autopartes, aeroespacial, de energía, petrolera, electrónica, electrodomésticos, alimenticia, metalmecánica y es miembro de Alianza de National Instruments, casa de Diseño de Texas Instruments y Freescale.

Por último, cabe mencionar que CIDESI está certificado bajo la norma ISO-9001:2008 y bajo estándares específicos de importantes empresas, es el primer Centro CONACyT que se certifica bajo la norma aeroespacial AS-9100 revisión B. Además, ha sido distinguido con el Premio Nacional de Tecnología y con el Premio Estatal de Exportación del Estado de Querétaro.

Espacios web relacionados con el CIDESI

- Página institucional: <<http://www.cidesi.com>>.
- Facebook: <<http://es-la.facebook.com/cidesi.conacyt>>.
- PICYT: <www.picyt.edu.mx>.

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.

Liliana Medina Portillo*

RESUMEN: El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C., fue fundado en septiembre de 1991. Su creación obedece a la necesidad de vincular la industria con la academia y la investigación. Cuenta con una sede localizada en Sanfandila, Pedro Escobedo, a sólo 30 km. de la ciudad de Querétaro, una subsede en Tijuana, B.C., en el Consorcio Tecnológico de Baja California y una oficina de vinculación en la zona conurbada de Corregidora, Qro. Forma parte del Organismo de Transferencia de Tecnología – OTT. SinerTec OTT creado para integrar las capacidades científicas y tecnológicas, así como para operar de manera óptima y eficiente los procesos de las entidades participantes.

Nuestros investigadores, quienes forman parte del SNI, dedican sus investigaciones al desarrollo e innovación relacionado con nanotecnología, lo que nos permite dar respuestas a la sociedad en temas que van desde salud, cuidado del medio ambiente, recubrimientos y celdas solares.

El CIDETEQ ofrece posgrados en electroquímica, y en ciencia y tecnología en ingeniería ambiental desde 2003. Contamos con un importante acervo de publicaciones arbitradas, solicitudes de patentes y patentes.

PALABRAS CLAVE: Electroquímica, medio ambiente, Tecnológico Querétaro, investigación (ligado a CONACyT), posgrado en electroquímica, posgrado en medio ambiente, nanotecnología, energías alternativas, investigación, posgrados.

ABSTRACT: The Center for Research and Technological Development in Electrochemistry, S.C., was founded in September 1991. Its creation reflects the need to link industry with academia and research. It has an office located in Sanfandila, Pedro Escobedo, just 30 km. of the city of Queretaro, one branch in Tijuana, B.C., in the Technology Consortium of Baja California and an office in the conurbation linking Corregidora, Qro. It is part of the Technology Transfer Agency-SinerTec created to integrate scientific and technological capabilities and to operate in an optimal and efficient processes participating entities manner.

Our researchers, who are part of the SNI, dedicate their research to the development and innovation related to nanotechnology, which allows us to respond to society on issues ranging from health, environmental care, coatings and solar cells.

CIDETEQ offers graduate programs in Electrochemistry, Science and Technology and Environmental Engineering since 2003. We have a large body of peer-reviewed publications, patent applications and patents.

KEYWORDS: Electrochemistry, investigation, water treatment, nanotechnology, alternative energies, postgraduate programs, research center.

Recibido: 31 de marzo de 2016. Aceptado: 3 de mayo de 2016.

* Licenciada en administración con especialidad en mercadotecnia, forma parte del equipo de colaboración de la Dirección de Ciencia, fungiendo como enlace entre los investigadores.

Sede Sanfandila

El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C. (CIDETEQ) fue creado el 26 de septiembre de 1991, como una sociedad civil con el propósito de ser un Centro Público de Investigación con el reto de responder a la necesidad de vincular la industria con la academia y la investigación.

Desde sus inicios, el CIDETEQ ha sido líder en investigación y desarrollo de tecnología en electroquímica, además de proporcionar diversos servicios a la industria, tales como análisis de metales, análisis de aguas, caracterización de materiales y análisis de fallas.

Actualmente, se especializa en desarrollar proyectos y servicios de alto valor agregado a través de sus tres áreas estratégicas: procesos, ambiente y materiales.

Como parte de los objetivos de creación del Centro, la formación de recursos humanos es una actividad que nos ocupa. Una vez que nuestros investigadores y el propio CIDETEQ como institución alcanzaban la madurez suficiente, en 1998 se iniciaron los trabajos para que en abril de 1999 atendiéramos la primera generación de maestros en ciencias y doctores en electroquímica. Además, desde marzo de 2003, los estudiantes mexicanos tienen una opción más de estudio para obtener su grado de maestría o doctorado en ciencia y tecnología con orientación en ingeniería ambiental.

Subsede Tijuana

En Baja California, particularmente en el municipio de Tijuana y su área conurbada con los municipios Tecate y Playas de Rosarito, los organismos empresariales y el gobierno del estado detectaron una carencia de oferta en los servicios tecnológicos acreditados, investigación y desarrollo tecnológico e innovación, así como la formación de capital humano pertinente de alto nivel, por lo que crean el Consorcio Tecnológico de Baja California (CTBC), para atender las necesidades de los sectores industriales estratégicos para el desarrollo del estado.

FIGURA 1. A 30 km de la Cd. de Querétaro, en Sanfandila, se encuentran las instalaciones fundadoras del CIDETEQ.



FIGURA 2. Fachada de CIDETEQ, subsede Tijuana.



En el 2007 se inician reuniones con el CIDETEQ establecido en Querétaro, para crear una extensión del Centro dentro del CTBC y se brinden servicios locales en las tres áreas estratégicas del CIDETEQ (procesos, ambiente y materiales) a las empresas de Baja California. Para el 2009, el Consejo de Desarrollo Económico de Tijuana (CDT) postula el proyecto Consorcio Tecnológico de Baja California Fase 1, ante convocatoria de FOMIX, con el propósito de construir un edificio con una superficie de dos mil metros cuadrados para el CIDETEQ. Finalmente, en 2011, el Gobierno del Estado hace entrega del edificio para la Subsede Tijuana del CIDETEQ.

Organismo de Transferencia de Tecnología (OTT)

En respuesta al compromiso de la Coordinación de Centros de Investigación del CONACyT por atender las necesidades del país, a través de un esfuerzo colectivo para lograr más eficiencia y eficacia en la transformación de tecnología, el 10 de junio de 2016 se inauguró SinerTec OTT en Corregidora, Qro.

FIGURA 3. Así luce el muro principal de la Unidad Corregidora donde se alberga el Organismo de Transferencia de Tecnología–SinerTec OTT. Recientemente inaugurada el 10 de junio de 2016.



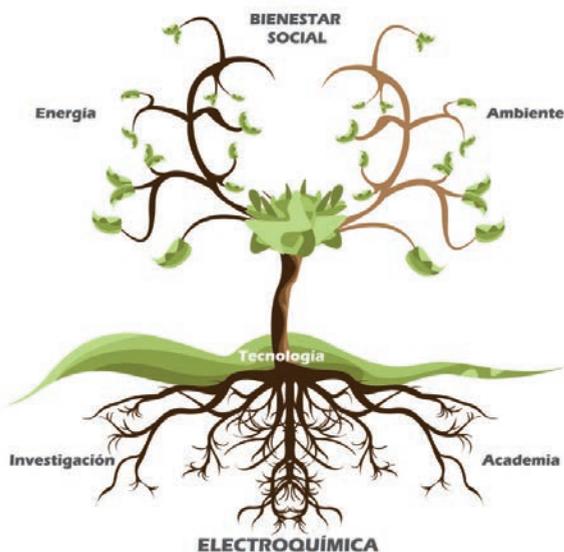
El organismo lo conforman seis centros de investigación: CIATEC, CIATEQ, CIDESI, CIDETEQ, CIQA y COMIMSA, y un miembro fundador más que se incorporó al proyecto: CINVESTAV, Unidad Querétaro.

SinerTec OTT fue creado para integrar las capacidades científicas y tecnológicas, así como para operar de manera óptima y eficiente los procesos de las entidades participantes.

El Dr. Gabriel Siade Barquet es presidente de la Junta Directiva del Organismo de Transferencia de Tecnología, además de director general del CIDETEQ.

Misión

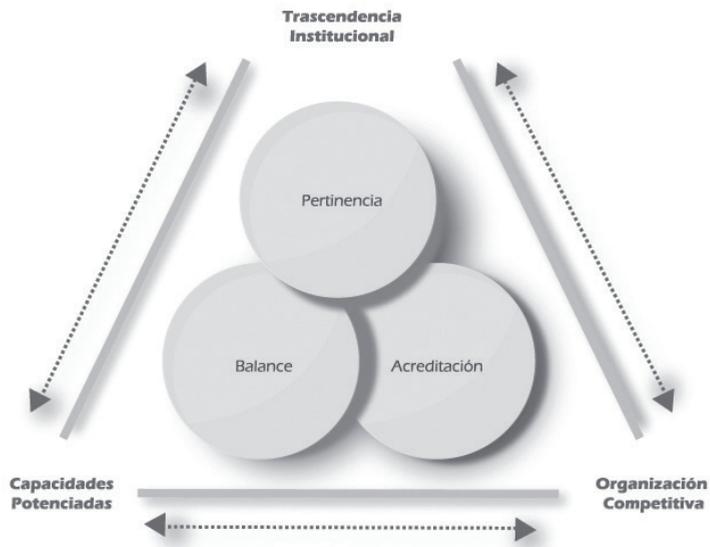
Contribuir al bienestar social con nuestra generación y transferencia de conocimiento y formación de talento humano en electroquímica, enfocados al ambiente y energía a nivel nacional e internacional.



Visión 2018

Trascendencia institucional

- 90% de egresados en el mercado laboral.
- Creación de empresa de base tecnológica.
- 2 Licencias o ventas de propiedad intelectual.
- Gestión del conocimiento institucionalizada.



Capacidades potenciadas

- Participar en una sede del sur del país.
- Proyectos con enfoque hacia el ahorro de energía y cuidado del ambiente.
- Proyectos patrocinados enfocados a las demandas sociales.
- Participación del 30% en proyectos en red nacional e internacional.

Organización competitiva

- Académicas (PNPC internacional y nacional/ SNI).
- Tecnología (administración de proyectos).
- Transferencia (oficina propia).
- La mitad de los investigadores están en SNI 2/ 3.

Políticas institucionales

- Pertinencia institucional.
- Desarrollo sustantivo balanceado.
- Acreditación.

Objetivos estratégicos

1. Investigación científica:
Fortalecer y ampliar las líneas de investigación institucionales y la planta académica con generación y aplicación de conocimiento original.

2. **Docencia y formación de recursos humanos:**
Mantener la oferta académica de posgrado acreditada y pertinente. Incrementar la competitividad internacional en la matrícula de alumnos extranjeros, la movilidad académica y los proyectos y productos en colaboración.
3. **Desarrollo tecnológico:**
Desarrollar y transferir paquetes tecnológicos propios.
4. **Vinculación:**
Duplicar la presencia con los tres sectores de influencia del Centro: instituciones, industrias y académica.
5. **Innovación:**
Desarrollar las capacidades organizacionales para protección intelectual e industrial y transferencia formal de conocimiento.
6. **Difusión:**
Incrementar posicionamiento de la marca en los sectores de gobierno, académico e industrial

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con nanotecnología

- Sensores electroquímicos para contaminantes y metabólicos.
- Materiales biofuncionales e interfaces.
- Materiales nanoestructurados.
- Electrodo modificados con nanomateriales con propiedades metálicas, semiconductoras y magnéticas.
- Materiales nanoestructuradas con propiedades catalíticas.
- Superficies funcionalizadas.
- Recubrimientos nanoestructurados.
- Electrocatalizadores.
- Dispositivos electrocrómicos

Docencia y formación de recursos humanos

En el CIDETEQ, un buen número de investigadores, que forman parte del SNI-Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT, se desempeñan en el área de nanotecnología y están claramente comprometidos con labores de docencia y formación de recursos humanos, ya sea impartiendo clases frente a grupo, dirigiendo tesis de posgrado, participando en comités tutoriales y jurados, atendiendo prácticas profesionales y servicios sociales o brindado asesorías, entre otras actividades.

Principales contribuciones del CIDETEQ en la sociedad

- Nos enfocamos en tecnología competitiva para el reciclaje de agua.
- Diseño y construcción de plantas de electrodeposición con resguardo del medio ambiente.
- Brindamos a la industria metalmeccánica reciclado de aguas, separación de metales y recuperación de metales de alto costo comercial.
- Damos servicios especializados a más de 250 empresas, a través del área de servicios tecnológicos.
- Se encuentra en desarrollo un Laboratorio Nacional de microfluídica, con impacto en generación de energía, utilizando los productos químicos del cuerpo.
- Se han graduado 218 alumnos y actualmente se atienden a 137 alumnos de posgrado de excelencia en medio ambiente y electroquímica registrados en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (CONACyT).

Algunos de los títulos de los proyectos de tesis de maestría y doctorado que se desarrollan actualmente en el CIDETEQ relacionados con el área de NyN son los siguientes:

1. Reducción de Cr (VI) usando nanocables de silicio con nanopartículas metálicas bajo irradiación visible.
2. Caracterización espectroscópica y electroquímica de un sensor inmunológico tipo-Elisa para detección de proteína c reactiva de alta sensibilidad (PCR) en ser humano.
3. Electrodeposiciones de nanoclústeres de Ag sobre el vidrio colector de celdas solares sensibilizadas con tintes para incrementar la fotocorriente circuito abierto.
4. Depósito electroforético de porfirinas en electrodos nanotubulares de TiO_2 para la preparación de celdas solares fotovoltaicas.
5. Construcción y evaluación de una microcelda dérmica empleando sudor como combustible.
6. Evaluación de la mecánica de fluidos desde el punto de vista electroquímico involucrada en microdispositivos sin membrana para la generación de energía.
7. Desarrollo de ánodos para celdas de combustible microfuidicas foto-asistidas.
8. Utilización de líquidos iónicos en procesos de micromaquinado electroquímico para la confección y mantenimiento de piezas de titanio con aplicaciones médicas.
9. Producción de biogás a través de la codigestión de mezclas de residuos sólidos y semisólidos.
10. Implementación de métodos de oxidación avanzada para el trata-

miento complementario de las aguas residuales industriales con compuesto organicos no biodegradables.

11. Síntesis y caracterización de la actividad foto/electrocatalítica de electrodos de metal noble-m/nanotubos de TiO_2 para la oxidación de combustibles orgánicos (Me-OH) con potencial aplicación como ánodos en celdas de cobustibles.
12. Desarrollo de electrodos *core-shell* modificados para la oxidación de combustibles líquidos en un ministack de celda de combustible.
13. Síntesis y caracterización electroquímica de soportes con base en óxidos de titanio no estequiométricos para materiales electrocatalíticos en celdas de combustibles regenerativas unificadas.
14. TiO_2 /POLI [Ni-ciclám] un material eficaz para la electrooxidación de urea en medio acuoso alcalino y su aplicación en la generación de H_2 .
15. Estudio de corrosión de recubrimientos negros de níquel- fósforo con y sin capas selectivas con propiedades ultra absorbentes para concentración solar.
16. Electrodeposición de Ag nanométrica en electrodos de TiO_2 nanoparticulado y nanotubular para el estudio sistemático de la reducción fotoasistida de CO_2 en metanol y metano.
17. Tratamiento de Ti/ TiO_2 nanotubular dopado con Mn/ MnO_2 para oxidación de compuestos orgánicos.

Propiedad intelectual solicitados u otorgados

Patentes otorgadas

MX 329376

Método electroquímico de producción de nanopartículas de magnetita o magemita aplicando pulsos catódicos y anódicos de potencial o de corriente sucesivos, diferentes en magnitud y duración.

Solicitudes de patentes

NÚMERO	TÍTULO DE LA SOLICITUD
MX/a/2013/008232	Composición cementante de ceniza volante.
MX/a/2013/008234	Material ligero de ceniza volante de tipo concreto celular.
MX/a/2013/008506	Proceso de modificación de rugosidad sobre superficies de polímeros y semiconductores vía indirecta con descargas.
MX/a/2013/008508	Foto-marcado sobre superficies de polímeros sensibilizadas con nanopartículas metálicas a bajas potencias.
MX/a/2013/008511	Proceso de desactivación selectiva por eliminación de nanopartículas vía opto-térmica para metalizado en superficies no conductoras.
MX/a/2014/010797	Microsistema integrado de generación, adecuación y almacenamiento de energía eléctrica, basado en un arreglo de celdas de combustible microfluídicas, supercapacitores y microelectrónica.
MX/a/2015/009108	Celda de combustible nanofluídica sin membrana fabricada a partir de papel adhesivo con diseño compacto, liviano, flexible, re-ensamblable.
MX/a/2015/017135	Nanotubos nanoparticulados de dióxido de titanio anatasa.
MX/a/2016/000437	Bloques de montmorillonita para adsorción de metales pesados en agua utilizando bentonita y cenizas volantes.

Sitios de Interés relacionados con CIDETEQ

Página institucional: <<http://www.cideteq.mx/>>.

Laboratorio Nacional de Nanotecnología-CIMAV*

Francisco Espinosa Magaña**

RESUMEN: El Laboratorio Nacional de Nanotecnología (nanotech) inicia sus actividades a partir de 2006, gracias a un financiamiento por 20 millones de pesos del CONACYT. El interés principal de este laboratorio es ampliar las capacidades de síntesis, evaluación y caracterización de nanomateriales (tanto metálicos como orgánicos), la infraestructura generada desde su creación le ha permitido llegar a este nivel. El equipamiento incluye desde microscopios de alta resolución, microscopios para las ciencias de la vida y otros que los complementan. Dado que la nanotecnología es ahora una prioridad en investigación para nuestro país, un laboratorio de estas características se vuelve de suma importancia a nivel nacional, al formar parte de una red de IES y Centros Públicos capaces de atender y ayudar a las diferentes áreas del conocimiento y al sector industrial y gubernamental.

PALABRAS CLAVE: Nanotecnología, nanotech, microscopía electrónica, alta resolución.

ABSTRACT: The National Nanotechnology Laboratory (nanotech) started its activities since 2006, thanks to funding by 20 million pesos from CONACYT. The main interest of this laboratory is to extend the capabilities of synthesis, evaluation and characterization of nanomaterials (both metallic and organic), infrastructure generated since its creation has allowed him to reach this level. The equipment includes everything from high-resolution microscopes, microscopes for life sciences and others that complement them. Since nanotechnology is now a research priority for our country, a laboratory of these characteristics becomes important at the national level, as part of a network of higher education institutions and public centers able to serve and help the different areas of knowledge and industrial and government sector.

KEYWORDS: Nanotechnology, nanotech, electron microscopy, high resolution.

Antecedentes

En 1994 se crea el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV). Dentro de los diversos departamentos que lo conformaban inicialmente se incluía el de Microscopía Electrónica, el cual contaba con dos microscopios electrónicos, uno de transmisión y otro de barrido (imágenes 1, 2 y 3).

Recibido: 30 de marzo de 2016. Aceptado: 7 de abril de 2016.

* Agradecemos la participación en la elaboración de este artículo al doctor Erasmo Orrantía y a los maestros Wilber Antúnez, Carlos Ornelas, Karla Campos, Ernesto Guerrero, Oscar Solís, Raúl Ochoa y Pedro Piza.

** Realizó estudios de licenciatura, maestría y doctorado en física, en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente, es Investigador Titular C en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), teniendo a su cargo la Coordinación del Laboratorio Nacional de Nanotecnología, desde su creación en el año 2006.

IMAGEN 1. Microscopio electrónico de barrido JEOL, JSM 5800-LV.



Especificaciones:

- Filamento de tungsteno.
- Modo de alto y bajo vacío.
- Resolución: 3.5 nm (alto vacío).
- 5 nm (bajo vacío).
- Voltaje acelerador: 0.3 a 30 Kv.
- Detectores de electrones secundarios y retrodispersados.
- Sistema de microanálisis EDS (espectroscopía por dispersión de energía).

IMAGEN 2. Microscopio electrónico de transmisión PHILIPS, CM-200.



Especificaciones:

- Filamento de hexaboruro de lantano.
- Voltaje máximo de aceleración: 200 kV.
- Máxima resolución punto a punto: 0.27 nm.
- Modos TEM/STEM.
- Sistema de adquisición de imágenes CCD.
- Portamuestras de calentamiento.
- Análisis de imágenes con resolución de 0.25 nm (2.5×10^{-10} m).
- Análisis de imágenes en el modo STEM (microscopía electrónica de transmisión modo barrido).
- Análisis elemental por espectroscopía por dispersión de energía de rayos X (EDS).
- Espectroscopía de pérdida de energía de electrones, EELS (composición, estados de oxidación y propiedades ópticas).
- Difracción de electrones por área selecta, haz convergente y micro-difracción.

IMAGEN 3. Microscopio de fuerza atómica VEECO, SPM MultiMode.



Especificaciones:

- Microscopio con Cabezal MultiMode SPM (Tapping, Contacto, STM).
- Controlador NanoScope versión IVa.
- Ruido > 0.3 Å RMS en eje Z, con aislamiento de vibraciones.
- Tamaño de muestra ≤ 15 mm en diámetro, ≤ 5 mm en espesor.
- Aislamiento de vibraciones: cubierta acústica, mesa de aislamiento de vibración integrada (> 1 Hz)
- Sistema de visión óptico.

En 2004, el CIMAV creó el “Programa Académico Institucional de Nanotecnología 2004-2012”, cuyo objetivo primordial fue: Asumir el liderazgo nacional y contar con reconocimiento internacional en el campo de la nanociencia y la nanotecnología. Una de las acciones fundamentales para alcanzar dicho objetivo ha sido, desde entonces, contar con la infraestructura experimental e instalaciones de soporte adecuadas para el desarrollo de este campo del conocimiento.

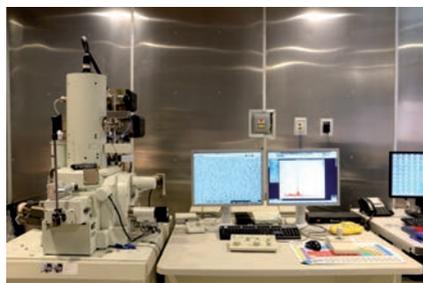
En 2006, el CONACYT generó una convocatoria para el “Establecimiento de Laboratorios Nacionales de Infraestructura Científica y Desarrollo Tecnológico (Biotecnología, Nanotecnología, Cómputo Avanzado, Energías Alternas)” con el objetivo de equipar con infraestructura especializada a las instituciones de ciencia, tecnología e innovación para expandir sus capacidades de servicio técnico, académico y de investigación con estándares de calidad internacional.

Un laboratorio nacional es una unidad especializada para reforzar la infraestructura y equipamiento para el desarrollo científico y la innovación en temas fundamentales, con el fin de optimizar recursos, generar sinergias y ofrecer servicios constantes y de calidad. A través de convocatorias, el CONACYT apoya la formación de estas unidades para incidir en la formación de recursos humanos de calidad y que sean capaces de ser autofinanciables.

Los resultados de la convocatoria para la creación de Laboratorios Nacionales se dieron a conocer a finales de 2006, siendo el CIMAV la primera opción de la propuesta sobre Nanotecnología, creándose así el Laboratorio Nacional de Nanotecnología *nanotech*, con un monto total aprobado de \$ 20'000,000.00

Con el presupuesto aportado se inicia la adquisición de 4 microscopios electrónicos y un difractor de rayos X, incrementando la infraestructura del nanotech (imágenes 4, 5, 6, 7, 8).

IMAGEN 4. Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo de ultra alta resolución JEOL, JSM-7401F.



Especificaciones:

- Cañón de emisión de campo cátodo frío (cold FE).
- Resolución:
 - 1.0nm (15kV).
 - 1.5nm (1.0kV).
- Voltaje acelerador: 0.1 a 30 kV.
- Detectores de electrones secundarios y retractable de retrodispersados.
- Detectores de electrones secundarios y retrodispersados *in-lens* con filtro “r”.
- Modo haz atenuado (*gentle beam*).
- Detector de modo STEM.
- Sistema de microanálisis EDS (espectroscopía por dispersión de energía).

IMAGEN 5. Microscopio electrónico de barrido de emisión de campo FEI, Nova 200 NanoSEM.



Especificaciones:

- Cañón de emisión de campo de 30 kV.
- Modo alto y bajo vacío.
- Resolución: 1.5 nm a 30 kV (alto vacío). 1.8 nm a 10 kV (bajo vacío).
- Voltaje acelerador: 200 V a 30 kV.
- Detectores: Detector de electrones secundarios.
- Detector de electrones retrodispersados.
- Detector modo STEM.
- Sistema de microanálisis EDS.

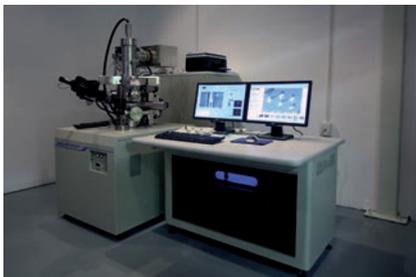
IMAGEN 6. Microscopio electrónico de transmisión de emisión de campo de ultra alta resolución JEOL, JEM-2200FS+Cs.



Especificaciones:

- Cañón de emisión de campo de 200 kV.
- Resolución punto a punto: 0.187 nm en modo TEM.
- Resolución punto a punto: 0.096 nm en modo STEM.
- Corrector de aberración esférica en STEM.
- Filtro de energía tipo omega.
- Sistema EDS Inca.
- Sistema EELS GAT-777 STEMPACK.
- Detector HAADF para imágenes de contraste Z.
- Cámara UltraScan 2k x 2k.
- Portamuestras: calentamiento, enfriamiento, doble inclinación.

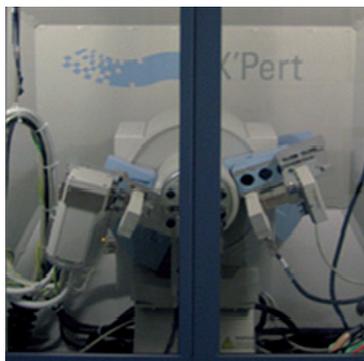
IMAGEN 7. Haz de iones enfocados JEOL, JEM-9320FIB.



Especificaciones:

- Fuente de iones de galio líquido.
- Voltaje de aceleración: 5 a 30 kV (en pasos de 5 kV).
- Resolución de imagen: 6 nm (30 kV).
- Corriente máxima de haz: 30 nA.
- Nanomanipulador Omniprobe 200.

IMAGEN 8. Difractómetro de rayos X Panalytical, XpertPRO.



Especificaciones:

- Con este difractómetro de rayos X es posible trabajar muestras en forma de polvo, láminas y películas delgadas.
- Cámara de calentamiento en la cual se puede alcanzar una temperatura de 2,000° C.
- Alto vacío (bombas rotatoria y turbomolecular).
- El detector X'Celerator es muy rápido (multicanal con 100 detectores).
- Atmósfera controlada.
- Software con una amplia base de datos: ICDD con 186,000 compuestos inorgánicos y orgánicos.
- La indización se realiza mediante *highscore*, basado en el método de Rietveld.

En 2010 se adquieren equipos de espectroscopía óptica ampliando las capacidades de caracterización de materiales del nanotech (imágenes 9, 10).

IMAGEN 9. Espectrofotómetro UV-Vis-NIR Varian/Agilent, Cary 5000.



Especificaciones:

- Rango espectral 185-3300 nm.
- Esfera integradora externa DRA2500.
- Absorción de líquidos.
- Transmitancia con servo lineal de 160mm.
- Reflexión absoluta.
- Reflexión variable 20-70°.

El espectrofotómetro permite analizar las propiedades ópticas de los materiales, como son reflexión, transmisión y absorción. Es una técnica no destructiva, pero requiere muestras con superficies promedio de 2 x 2 pulgadas, aunque algunos de los accesorios permiten muestras de menor área.

Algunos análisis incluyen determinación de concentraciones, bandas de absorción, banda prohibida, % de reflexión o % de transmisión (ventanas reflejantes de IR), colorimetría, % de luz difusa, y % de luz especular.

IMAGEN 10. Micro Raman Horiba, LabRam HR VIS-633.



Especificaciones:

- LabRam HR VIS-633.
- Objetivos de 10X, 50X, 100X.
- Y rejillas de 600 y 1800 groves/mm.

La espectroscopía vibracional Raman es una técnica complementaria a absorción infrarroja, permite realizar identificación química y en algunos materiales permite obtener información adicional como es análisis de estrés o compresión mecánica, cristalinidad, temperatura.

En 2014 continúa el crecimiento del laboratorio con la adquisición de dos microscopios más (electrónico de barrido, y, fuerza atómica) (imágenes 11, 12, 13).

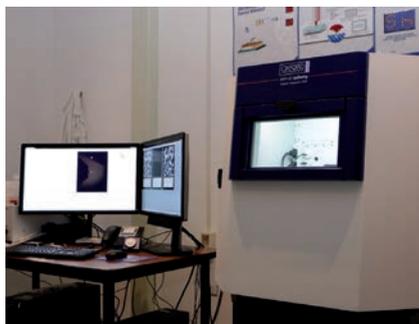
IMAGEN 11. Microscopio electrónico de barrido de presión variable HITACHI, SU3500.



Especificaciones:

- Cañón de emisión termoiónica, de 30 kV.
- Modo alto vacío.
- Modo bajo vacío, de 6 a 650 Pa.
- Resolución:
- 2.0 nm a 30 kV, en alto vacío.
- 3.0 nm a 30 kV, en bajo vacío.
- Detectores de electrones secundarios y electrones retrodispersados para alto y bajo vacío.
- Modo 3D en vivo.
- Sistema de microanálisis por EDS (espectroscopía por dispersión de energía).

IMAGEN 12. Microscopio de fuerza atómica Oxford Instruments, MFP-3D Infinity Asylum Research.



Especificaciones:

- <150 pm X-Y; <35 pm Z.
- Tamaño de muestra.
- Hasta 80 mm de diámetro y 10 mm de altura.
- Porta sondas/puntas.
- Modo AC/contacto en aire.
- Modo AC en alto voltaje.
- Convertidor STM.
- Modo de alta frecuencia.
- Módulo de aplicación.
- Accesorio de alto voltaje ($\pm 150V$) para microscopía de piezorrespuesta.
- Escáner.
- Rango lateral (X-Y) 90 μm .
- Rango vertical (Z) 15 μm .
- Técnicas de medición posibles:
- Microscopía de fuerza atómica modo contacto.
- Microscopía de fuerza atómica modo AC (*Tapping*).
- Microscopía de barrido túnel (STM).
- Mapeo de fase.
- Microscopía de piezorrespuesta de alto voltaje.
- Mapeo de fuerza.
- Mapeo de viscoelasticidad AM-FM.
- Microscopía de fuerzas eléctricas.
- Microscopía de fuerzas magnéticas.
- Microscopía de fuerza lateral.
- Microscopía de potencial de superficie (Kelvin Probe Microscopy).
- Nanoindentación y nanolitografía.

IMAGEN 13. Ultracriomicrotomo RMC, PowerTome PC.



Especificaciones:

- Para preparación de muestras para microscopía electrónica.
- Corte automático fino, hasta 5 nanómetros.
- Corte automático grueso, hasta 15 micrómetros.
- Rango de velocidad de corte, desde 0.1 hasta 100 mm / seg.
- Sistema Criogénico (CRX Cryosystem).
- Con un rango de temperatura de 35°C hasta -180°C con estabilidad $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

Finalmente, en 2015 se adquiere un microscopio electrónico de transmisión, ampliando el alcance a materiales biológicos (imagen 14).

Misión

Propiciar la formación de recursos humanos, la investigación científica y el desarrollo de aplicaciones específicas en actividades de síntesis, caracterización y aplicaciones de sistemas nanotecnológicos, brindando un espacio de colaboración y apoyo a las instituciones y empresas nacionales e internacionales.

Visión

Ser un punto de referencia regional, nacional e internacional en cuanto a la generación de conocimiento enfocado en el entendimiento de los procesos fundamentales de naturaleza física, química y biológica a escala nanométrica y su aplicación a problemas importantes para el desarrollo de los sectores académico, productivo y social en el ámbito nacional, con recursos humanos altamente calificados y un espacio físico, instalaciones y equipamiento de

IMAGEN 14. Microscopio electrónico de transmisión Hitachi, HT7700.



Especificaciones:

Este microscopio electrónico de transmisión tiene la característica de alto contraste y alta resolución con capacidad analítica para muestras biológicas, biomédicas, farmacéuticas, poliméricas y materiales avanzados; además de aplicaciones a la industria.

- Filamento de hexaboruro de lantano.
- Voltaje máximo de aceleración: 120 kV.
- Máxima resolución 0.144 nm.
- Alto contraste y alta resolución.
- Modos TEM/STEM.
- Sistema EDS.
- Sistema de adquisición de imágenes CCD.

vanguardia, que provoquen sinergias a través de la interacción multidisciplinaria.

Objetivo general

Contribuir a la formación de recursos humanos, la investigación científica y el desarrollo de aplicaciones específicas en actividades de caracterización y aplicaciones de sistemas nanotecnológicos, brindando un espacio de colaboración y apoyo a las instituciones y empresas nacionales, mediante la infraestructura humana, de equipamiento y espacio adecuados, en complemento a las existentes en el mismo Centro y en el país.

Objetivos específicos

- Mejorar la calidad y competitividad institucional en la investigación científica, mediante el desarrollo de proyectos de investigación en temas de frontera como son la NyN.
- Generar entre las instituciones académicas y privadas, mecanismos de colaboración orientados al desarrollo y uso de conocimientos, metodologías y técnicas específicas de interés común en NyN.
- Establecer alianzas estratégicas con industrias de alta tecnología, para colaborar en investigación y en la elaboración de productos o servicios especializados.
- Apoyar las redes de investigación, tecnología e innovación que en materia de nanociencia y nanotecnología trabajen en el país, para el desarrollo y cumplimiento de sus objetivos específicos.

Líneas de investigación

- Nanotoxicología
- Nanoestructuras y nanomateriales.
- Caracterización y evaluación de nanomateriales.
- Funcionalización de nanomateriales para medicina y aplicaciones industriales.

Infraestructura

El laboratorio está equipado de tal manera que es posible llevar a cabo el análisis de cualquier tipo de material a muy altas magnificaciones (hasta resolución atómica), para obtener información de morfología, composición elemental, estructura cristalina (SEM y TEM), así como información a nivel atómico de topografía, propiedades magnéticas, eléctricas y mecánicas (AFM).

Es posible identificar fases, cambios en temperaturas de las muestras,

orientación cristalina, compresión y estrés de muestras (Raman), además de propiedades ópticas como reflexión, transmisión y absorción en el rango UV-Vis-NIR (Cary).

Para alcanzar sus objetivos, el Laboratorio Nacional de Nanotecnología cuenta con la infraestructura mostrada previamente en las imágenes 1 a 14.

Capital humano

Capital humano que conforma el Laboratorio Nacional de Nanotecnología:

Investigadores

- Dr. Francisco Espinosa Magaña
- Dr. Mario Miki Yoshida
- Dr. Francisco Paraguay Delgado
- Dr. Sión Federico Olive Méndez

Técnicos académicos

- M.C. Wilber Antúnez Flores
- M.C. Carlos Ornelas Gutiérrez
- M.C. Karla Campos Venegas
- M.C. Ernesto Guerrero Lestarjette
- M.C. Raúl Armando Ochoa Gamboa
- M.C. Oscar Omar Solís Canto
- M.C. Pedro Piza Ruiz

El modelo de operación del Laboratorio se basa esencialmente en la idea de proporcionar una plataforma de trabajo en el área de la nanotecnología, para académicos e industriales del país y del extranjero.

Los usuarios potenciales interesados en la oferta tecnológica y analítica del nanotech pueden obtener la información necesaria en la página web <<http://ntch.cimav.edu.mx/>>, así como solicitar la caracterización de sus muestras o bien en el correo electrónico: (francisco.espinosa@cimav.edu.mx).

Cursos, talleres y asesorías

En 2015 se inicia el proyecto “Escuela de Microscopía” con el objetivo primordial de ofertar, año con año, cursos de capacitación básica y avanzada (teórico-práctico) para la formación de microscopistas y especialistas en nanomateriales. Además de ofrecer capacitación especializada para el sector industrial para la interpretación de resultados de las diferentes técnicas que pueden ser aplicadas en la resolución de problemas y/o mejora de los procesos.

Página web de la Escuela de Microscopía
 <<http://cimav.edu.mx/microscopia/2016/>>.

Cursos

- Microscopía electrónica de barrido.
- Microscopía electrónica de transmisión.
- Microscopía de fuerza atómica.
- Haz de iones enfocados.
- Espectroscopía Raman.
- Difracción de rayos X.

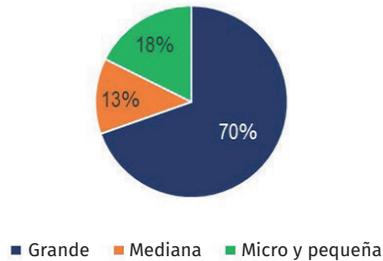
En cumplimiento al objetivo específico “Generar entre las instituciones académicas y privadas, mecanismos de colaboración orientados al desarrollo y uso de conocimientos, metodologías y técnicas específicas de interés común en nanociencia y nanotecnología”, el Laboratorio Nacional de Nanotecnología ha brindado apoyo a distintos grupos académicos de diversas instituciones de educación superior y centros de investigación de todo el país. Entre estas instituciones se encuentran el Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, el Centro de Investigación en Química Aplicada, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, la Universidad Autónoma de Zacatecas, la Universidad Autónoma de Chihuahua, la Universidad Autónoma de Cd. Juárez, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la Universidad Autónoma de Sinaloa, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la Universidad Autónoma de Baja California, la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, la Universidad del Istmo, la Universidad Veracruzana, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Tecnológica de

CUADRO 1. Productos académicos generados por el CIMAV con aplicaciones en nanotecnología (periodo 2007- 2015).

PRODUCTOS ACADÉMICOS CIMAV	Total	CON APLICACIONES EN NANOTECNOLOGÍA	%
Artículos publicados en revistas con factor de impacto	1056	477	45%
Proyectos de investigación	466	133	29%
Graduados de doctorado	210	76	36%
Graduados de maestría	264	55	21%
Solicitudes de patente	90	34	38%

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICA 1. Porcentaje de empresas atendidas por tamaño.



Fuente: Elaboración propia.

Chihuahua, la Universidad de los Mochis, el Instituto Tecnológico de Chihuahua y el Instituto Tecnológico de Cancún.

Análisis de servicios especializados a la industria 2007-2015

En este periodo el nanotech ha dado soporte a más de 100 empresas de distintos sectores industriales y regiones del país, a través de su amplia oferta de análisis de laboratorio y servicios para la resolución de problemáticas y mejora de los procesos de este importante sector.

De las empresas que se atendieron, cabe destacar que la mitad son grandes corporativos internacionales (Honeywell, Arrow, Bloom Energy, Bosch, Cav Aerospace, Cessna, Cummins, Delphi, Ford, Henkel, entre otras) que conocen las capacidades del nanotech para atender necesidades específicas en el área de microscopía y quienes además nos comparan con los mejores laboratorios en otros países, con la ventaja adicional de que tienen a mano a quien les puede responder dudas específicas sobre el reporte y valoración que se les entrega al final de cada análisis de muestra.

En varias ocasiones han comparado nuestros análisis con otros laboratorios, resultado de enviar muestras idénticas, con ello podemos constatar que el conocimiento, la alta especialización de nuestro personal aunado a la infraestructura de frontera que forma parte del nanotech, son el mejor activo del CIMAV.

Centro Nacional de Metrología*

Víctor José Lizardi Nieto,** Norma González Rojano***

RESUMEN: La metrología juega un papel fundamental en el sostenimiento de una sociedad eficiente y tecnológicamente justa. El Centro Nacional de Metrología, CENAM, fue creado con el fin de apoyar al sistema metrológico nacional y entre sus funciones principales está el establecimiento y el mantenimiento de los patrones nacionales de medida y materiales de referencia certificados, mediante los cuales es posible asegurar la uniformidad entre las mediciones que se realizan en México. El avance de la tecnología y las exigencias de competitividad de los mercados fomentan el desarrollo tecnológico de los sectores productivos maduros, dinámicos y emergentes. La nanotecnología, considerada como una tecnología emergente, promete un gran potencial para aplicaciones y beneficios que pueden contribuir a la economía y a la protección de la salud y el ambiente en el país, pero también presenta retos en cuanto a la infraestructura metrológica que se requiere para sustentar su desarrollo. Este artículo muestra las actividades que realiza el CENAM por medio de su Programa de Metrología para las Nanotecnologías para atender de manera sistemática, las necesidades de medición en la nanoescala y plantea las perspectivas para el soporte de las nanociencias y para el aprovechamiento de las nanotecnologías.

PALABRAS CLAVE: Metrología, patrones de medida, nanotecnologías, mediciones, ProMetNano.

ABSTRACT: Metrology plays an important role in a sustainable, efficient and technological society. The Centro Nacional de Metrología, CENAM, was created to support the National Metrology System. The main objectives are to establish and maintain the National Measurement Standards and certify reference materials, to assure the uniformity of measurements in Mexico. Progress in technology and achieving a competitive market promote the technological development of dynamic, mature and emerging sectors. It is clear that emerging technologies like Nanotechnology have the potential of applications and benefits to the economy. On the other hand, support the environment and human health protection in the country as well. However, one important challenge is the availability of the metrological infrastructure required to underpin their development. This article describes briefly CENAM's Metrology for Nanotechnology Programme, established with the aim of responding in a systematic way to the nanoscale measurement needs and outline perspectives to support nanosciences and take advantage of nanotechnologies.

KEYWORDS: Metrology, measurement standards, nanotechnology, measurements, ProMetNano.

Recibido: 11 de abril de 2016. Aceptado: 10 de mayo de 2016.

* Se agradece al M. en C. Rubén Lazos, al Dr. Ismael Castelazo, al Dr. David Avilés, al M. en C. Felipe Hernández, a las Direcciones Generales, a la Dirección de Recursos Humanos por la información y comentarios proporcionados. Las fotos que ilustraron este documento fueron proporcionadas por el Dr. David Avilés, el M. en C. Felipe Hernández, el M. en C. José Antonio Salas y obtenidas del sitio web del CENAM.

** Director General del CENAM. Km 4.5 Carretera a los Cués, Municipio El Marques, Querétaro, C.P. 76246. Correspondencia: (vlizardi@cenam.mx), Tel. +52 (442) 211 0500 al 04 ext. 3082.

*** Coordinadora del Programa de Metrología para las Nanotecnologías del CENAM. Correspondencia: (ngonzale@cenam.mx), Tel. +52 (442) 211 0500 al 04 ext. 3916.

La medición está en todas partes jugando un papel vital en nuestras vidas. La metrología es la ciencia y la práctica de la medición y sus objetivos que las mediciones sean estables, comparables y coherentes. El logro de estos objetivos se realiza proporcionando la infraestructura para que las mediciones se realicen con instrumentos calibrados en referencia con los patrones nacionales (trazables). Trazabilidad metrológica es la propiedad del resultado de una medición por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. La medición trazable y confiable forma la base de nuestra sociedad moderna y tiene una función crítica en el apoyo a la competitividad económica, a la manufactura y al comercio, así como en la calidad de vida en donde también la salud y el ambiente influyen.

El Centro Nacional de Metrología (CENAM) forma parte del sector coordinado de la Secretaría de Economía y fue creado con el fin de apoyar al sistema metrológico nacional, como un organismo descentralizado, de acuerdo con el artículo 29 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Es el laboratorio nacional de referencia en materia de mediciones, responsable de establecer y mantener los patrones nacionales de medida, necesarios para alcanzar la uniformidad y confianza en las mediciones de naturaleza física y química que se realizan en México de manera cotidiana, contribuyendo a la protección de la salud y la seguridad de la población, al cuidado del ambiente, a la equidad de las transacciones comerciales y a la competitividad de la industria nacional. Estos patrones propician que las mediciones dentro del país sean comparables y, gracias a su participación en comparaciones internacionales, contribuyen a que también lo sean con las correspondientes de otras economías con las cuales México tiene relaciones comerciales.

Los patrones nacionales constituyen la realización de las unidades del Sistema Internacional (SI) en México, acordadas con la finalidad de armonizar las mediciones entre países. Por otro lado, la diseminación de la exactitud de los patrones nacionales a las mediciones cotidianas se lleva a cabo mediante servicios de calibración ofrecidos por el CENAM a los laboratorios de alta exactitud como primera etapa de la diseminación, y que continúa por medio de otros laboratorios del Sistema Nacional de Calibración.

Otras actividades consisten en ofrecer servicios metrológicos como certificación y desarrollo de materiales de referencia, ensayos de aptitud, cursos especializados en metrología y asesorías. Mantiene un estrecho contacto con otros laboratorios nacionales y con organismos internacionales relacionados con la metrología, con el fin de asegurar el reconocimiento internacional de los patrones nacionales de México y, consecuentemente, promover la aceptación de los productos y servicios de nuestro país. El CENAM, siendo una entidad paraestatal, no lleva a cabo actividades regulatorias. La Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento establecen la responsabilidad de la Secretaría de Economía y otros organismos, como la

FIGURA 1. Instalaciones del CENAM en Querétaro.



Comisión Nacional de Normalización y la Procuraduría Federal del Consumidor, para aplicar las disposiciones establecidas por la ley.

La misión del CENAM es:

Apoyar los diversos sectores de la sociedad en la satisfacción de sus necesidades metroológicas presentes y futuras, estableciendo patrones nacionales de medición, desarrollando materiales de referencia y diseminando sus exactitudes por medio de servicios tecnológicos de la más alta calidad, para incrementar la competitividad del país, contribuir al desarrollo sustentable y mejorar la calidad de vida de la población.

Para llevarla a cabo, el CENAM cuenta con cuatro Direcciones Generales constituidas por 144 laboratorios cuyas actividades son de naturaleza técnica y científica, enfocados en metrología eléctrica, mecánica, física y de materiales, así como de una Dirección General de Apoyo en Servicios Tecnológicos. Actualmente cuenta con 295 empleados, de los cuales 153 son personal técnico correspondiente a metrologos y coordinadores científicos.

México no es ajeno al avance tecnológico global, en la última década se ha hecho evidente el uso y la aplicación de tecnologías habilitadoras como la nanotecnología por la industria y las instituciones académicas. Toda nueva tecnología requiere de una infraestructura de medición sólida y uniforme que proporcione la confianza en muchos aspectos de nuestra vida diaria, facilitando el desarrollo y la manufactura de productos innovadores, de alta calidad y confiables, que apoye a la industria a ser competitiva y sustentable en su producción, facilitando la eliminación de barreras técnicas al comercio, garantizando la seguridad y la eficacia de la salud, así como el avance de la investigación básica.

Desde 2005, se inició la oferta de servicios orientados a la atención de la demanda industrial del sector del cartón y papel en cuanto a problemas que ocurren alrededor de los 300 nm, considerados próximos a la nanoescala, 1 nm a 100 nm. Asimismo, ha participado en comparaciones internacionales coordinadas por organismos como el Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC), el Surface Analysis Working Group/ Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology (SAWG/CCQM) y el Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS),

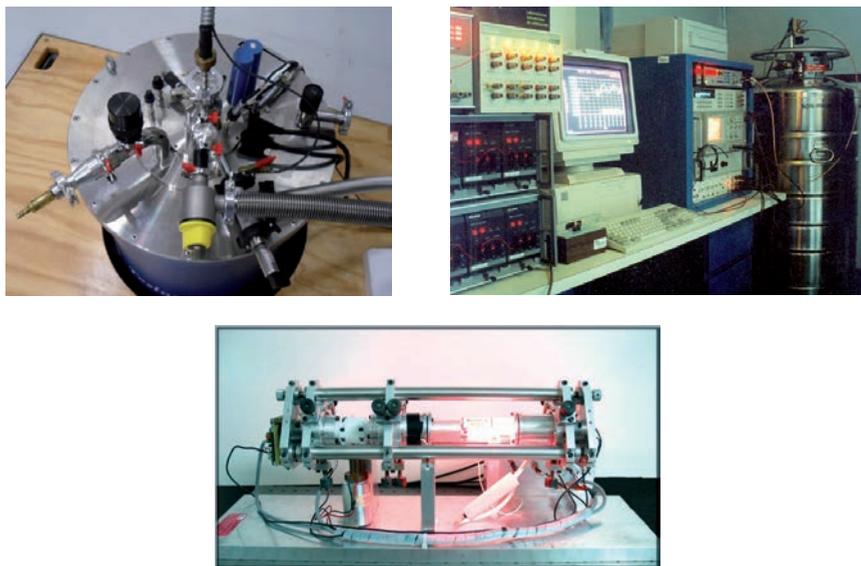
relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN). A partir del 2007, participa en actividades nacionales e internacionales relacionadas con la normalización para las nanotecnologías, interviene en el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías, coordina el Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO/TC 229 *Nanotechnologies*.

En septiembre del 2013, el Consejo Directivo del CENAM aprobó el establecimiento del Programa de Metrología para las Nanotecnologías (ProMetNano) con el objetivo de atender de manera sistemática, las necesidades metroológicas del país, actuales y previsibles, en soporte a las nanociencias y para el aprovechamiento de las nanotecnologías. Este Programa se sitúa como uno de los elementos de un esfuerzo continuo y sinérgico entre las agencias regulatorias del gobierno federal, la industria y la comunidad científica nacional, encaminado al aprovechamiento de las nanociencias y las nanotecnologías en México, observando en todo momento la protección y preservación del ambiente, y de la salud de la población. El ProMetNano está conformado por un grupo de trabajo transversal a las especialidades de las cuatro Direcciones Generales del CENAM y cuenta actualmente con 4 coordinadores científicos y 6 metrologos que realizan actividades relacionadas con NyN.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

La primera actividad del CENAM en metrología está orientada al desarrollo, establecimiento, conservación y disseminación de patrones nacionales de las magnitudes eléctricas, físicas, mecánicas químicas y biológicas, que aseguran la confiabilidad metroológica de los servicios de medición y calibración que ofrece a sus usuarios. Su trabajo se ha orientado a conseguir que los patrones nacionales sean del tipo patrón primario, con el propósito de asegurar que el origen de la trazabilidad de los patrones nacionales esté en el CENAM. Actualmente cuenta con 68 patrones nacionales de medida establecidos y se ha logrado la reproducción de las unidades de longitud, el metro (m), de la intensidad luminosa, la candela (cd), y de la temperatura termodinámica, el kelvin (K); así como la adopción del prototipo internacional del kilogramo (kg) para la unidad de masa, además de la realización experimental de la unidad de tiempo, el segundo (s). Todas las anteriores son unidades base del Sistema Internacional (SI). También se logró la reproducción de las unidades derivadas del SI de tensión eléctrica, el volt (V), y de resistencia eléctrica, el ohm (Ω), mediante los efectos cuánticos Josephson y Hall, respectivamente. En la figura 2 se muestran algunos de sus patrones nacionales. El siguiente paso para el CENAM es ampliar la infraestructura metroológica a la escala nanométrica por medio del Programa de Metrología para las Nanotecnologías (ProMetNano). La medición en la nanoescala es un reto tecnológico y científico, pues se tienen que considerar los efectos nuevos y adicionales que

FIGURA 2. Patrones nacionales de resistencia eléctrica mediante el efecto Hall cuántico, de tensión eléctrica en corriente continua basado en el efecto Josephson, de longitud, respectivamente.



se presentan a este nivel, al igual que en el establecimiento de la trazabilidad metrológica y en la estimación de la incertidumbre de medida.

El ProMetNano se enfoca en cuatro actividades principales: mejora y desarrollo de nuevos patrones de medida/materiales de referencia; mejora y desarrollo de nuevos instrumentos/dispositivos de medida; desarrollo de procedimientos de medición, y transferencia de tecnología. Estas actividades se dirigen a: nanobjetos; película delgada, superficies estructuradas y dimensiones críticas; nanobiotecnología; modelamiento y simulación; normalización.

En la actividad de mejora y desarrollo de nuevos patrones de medida/materiales de referencia, se han iniciado las siguientes líneas de investigación:

- Desarrollo de materiales de referencia para caracterización dimensional/física de partículas en la nanoescala.

En la actividad de mejora y desarrollo de nuevos instrumentos/dispositivos de medida, las líneas de investigación iniciadas son:

- Desarrollo de un microscopio de fuerza atómica metrológico.
- Mediciones de desplazamiento nanométrico.

En la actividad de desarrollo de procedimientos de medición, las líneas de investigación son:

- Desarrollo de métodos para caracterizar nanobjetos.

FIGURA 3. Algunas técnicas para la caracterización de nanomateriales.



- Desarrollo técnicas para la medición de propiedades nanomecánicas por nanoindentación.

Colaboraciones y proyectos

Las actividades asociadas con el ProMetNano son alentadas para desarrollarse de manera colaborativa con otras instituciones nacionales o extranjeras con un enfoque sinérgico.

La estrategia científica de este Programa está dividida en aspectos operativos vinculados y temas prioritarios de investigación generales para el futuro. Entre los aspectos operativos, el Programa busca el aporte, asesoramiento y apoyo experto de personal del más alto nivel de la academia, el gobierno y la industria y establecer colaboraciones conjuntas con un esquema Universidad/Industria/Gobierno. El enfoque para proporcionar esta estrategia descansa en tres medidas: trabajar en colaboración con el sector empresarial y académico desarrollando programas comunes de investigación y compartiendo facilidades; fortalecer la investigación básica formando alianzas estratégicas con la academia; impulsar una mayor participación internacional en el desarrollo de las unidades del Sistema Internacional.

El CENAM tiene colaboración con institutos nacionales de metrología como el National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados

Unidos, el Physikalish-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, el Institute for National Measurement Standards (INMS-NRC) de Canadá, el National Metrology Institute of Japan (NMIJ) de Japón, el Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS) de Corea del Sur, el National Institute of Metrology (NMI) de China, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina, el Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) de Brasil. El vínculo nacional en NyN tiene establecidas colaboraciones con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Querétaro, el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y con la empresa Lotto Bio Nano Laboratories S.A. de C.V.

El personal técnico que participa en el ProMetNano forma parte de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT.

En el tema de normalización para NyN, se ha participado en comparaciones internacionales en colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y el CINVESTAV Unidad Querétaro.

Infraestructura

El laboratorio de caracterización de materiales avanzados cuenta con un equipo de microscopía de barrido por sonda, un microscopio de barrido con electrones y la técnica de difracción de rayos X. Cuenta además con equipo de apoyo para la preparación de muestras, campana de extracción, material de vidrio y plástico al cual se le aplica un procedimiento especial de limpieza, también con un sistema *spin coating* para la aplicación de películas delgadas a sustratos. El ProMetNano también cuenta con el soporte del laboratorio de fabricación y pruebas de microdispositivos, el cual dispone de un módulo limpio clase ISO-5, con equipos como perfilómetro óptico para superficies, sistema para depósito por pulverización catódica con magnetrón y sistemas de procesamiento húmedo.

El CENAM tiene 144 laboratorios especializados en metrología para magnitudes físicas, eléctricas, químicas, biológicas y mecánicas a los cuales el ProMetNano tiene acceso. Los laboratorios de la Dirección General de Metrología de Materiales disponen de equipos de caracterización como espectroscopía infrarroja, UV-Vis-NIR, Micro-Raman, microsonda de barrido con electrones, analizadores de partículas, espectrómetro de fluorescencia de rayos X y espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total. También se realizan técnicas de cromatografía de líquidos y cromatografía de gases ambas con diferentes detectores y también acopladas a espectrometría de masas de un cuadrupolo y triple cuadrupolo y con fuentes de ionización por ionización química a presión atmosférica y por *electrospray*, además de espectrometría de masas de alta resolución. Para la medición de materiales inorgánicos, esta Dirección General cuenta con el soporte instrumental que incluye espectrometría de masas de alta resolución con plasma acoplado inductivamente y un cuarto limpio para la preparación de muestras a niveles

FIGURA 4. Parte de la infraestructura de medición del CENAM.



de concentración de trazas elementales, espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, espectrofotómetro de absorción atómica flama / horno de grafito / sistema de inyección en flujo con generador de vapor frío, determinadores de oxígeno-nitrógeno y carbono-azufre, y sistemas de titulación potenciométrica gravimétrica. Para la medición de propiedades térmicas de los materiales se dispone de un calorímetro diferencial de barrido y un analizador termogravimétrico. La figura 4 muestra algunos equipos que son parte de la infraestructura de medición.

La Dirección de Metrología Dimensional de la Dirección General de Metrología Mecánica posee láseres estabilizados en frecuencia, interferómetros láser y mesas ópticas antivibraciones, entre otros. La infraestructura de la Dirección de Óptica y Fotometría de la Dirección General de Metrología Física está habilitada con fuentes de emisión altamente estables, detectores ópticos de diversos tipos, sistemas de caracterización y transferencia automatizados, entre otros.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

El ProMetNano en el CENAM se encuentra en una etapa germinal y en el proceso de establecer la infraestructura de medición para NyN se harán desarrollos que deriven en patentes y/o modelos de utilidad.

Docencia y formación de recursos humanos

El CENAM tiene también como una actividad importante, la transferencia de conocimientos en metrología a todos los niveles y sectores, con el fin de fortalecer el capital humano en investigación y desarrollo tecnológico mediante la realización de estancias profesionales, tesis de grado y posgrado en colaboración con instituciones académicas. Asimismo, mediante cursos especializados y brindando asesorías. El ProMetNano está abierto a contribuir en esta tarea fundamental y colaborar con las instituciones formadoras de recursos humanos para las NyN, a fin de incorporar en sus planes y programas los elementos de metrología requeridos.

Principales logros en el área de NyN

El ProMetNano, de reciente establecimiento en el CENAM, ha realizado los siguientes logros:

1. En la línea de desarrollo de materiales de referencia para la caracterización dimensional/física de partículas en la nanoescala se ha logrado formalizar una colaboración con la industria y la academia para obtener un material de referencia para el uso de los laboratorios públicos y privados.
2. Formalizar una colaboración con centros de investigación para impulsar el desarrollo de patrones e instrumentos de medida para la escala nanométrica.
3. Impulsar la participación del sector académico, industrial y de gobierno en actividades de normalización por medio de la contribución en diferentes foros.
4. Contribuir con las normas mexicanas voluntarias sobre nanotecnología vigentes, elaboradas por medio del Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías y del Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO TC 229.

Perspectivas sobre el estudio de las NyN

El ProMetNano considera que el progreso tecnológico en los próximos años estará dirigido e impulsado por la necesidad de una economía sostenible de baja emisión de carbono, de un crecimiento intensivo en avances científicos, innovación e investigación y desarrollo, y del bienestar y la seguridad de los ciudadanos, en donde la nanotecnología podría tener un potencial significativo en el cambio social, económico y tecnológico para México. El cumplimiento de estas necesidades demandará la evolución continua, así como cambios decisivos en la ciencia de la medición y sus aplicaciones. Este proceso necesitará progresos en toda la infraestructura de medición que facilite la

comparabilidad de los resultados requeridos para demostrar el cumplimiento de especificaciones contractuales en el ámbito industrial, o de las regulaciones normativas en el ámbito social. Esta infraestructura incluye al Instituto Nacional de Metrología y sus organismos públicos de financiación asociados, proveedores de equipos y dispositivos, organismos de normalización, proveedores de servicios y calibración, usuarios académicos y universidades, la partes interesadas del sector industrial y regulatorio.

En la actualidad, México cuenta con un sistema de metrología, normalización y evaluación de la conformidad en apoyo a la competitividad de los sectores productivos nacionales y a su consolidación en los mercados internacionales, y con ello, al igual que otros países industrializados, dispone de uno de los instrumentos básicos para su desarrollo. Este sistema, además de favorecer la competitividad del país, brinda apoyo a los programas gubernamentales orientados a vigilar los intereses de la sociedad, entre los que se encuentran la protección al consumidor, de la salud, y del ambiente. Adicionalmente, este sistema constituye un elemento de soporte a la innovación y el desarrollo tecnológico del país. La efectividad de este sistema, así como la coherencia entre los elementos que lo conforman, se consiguen a partir de la confiabilidad y uniformidad de las mediciones que se realizan en estos elementos.

En particular, la componente metroológica de este sistema enfrenta el desafío del desarrollo de nuevas tecnologías de medición para la nanoescala, dados el tamaño y la complejidad de las estructuras en dicha escala. Las principales perspectivas del ProMetNano para NyN se resumen a continuación:

- En el avance actual de las NyN hay una necesidad significativa por instrumentos de medición apropiados a esta nueva demanda, que una vez desarrollados necesitarán de su calificación y calibración.
- Las técnicas de medición exactas, los patrones de medida y los modelos físicos para las estructuras a escala nanométrica requerirán también desarrollarse.
- La disponibilidad de métodos armonizados para la caracterización de nanomateriales utilizando técnicas de medición convencionales se vuelve una necesidad de generarlos, entre ellos los que utilizan técnicas de microscopía con electrones.
- Es necesario un entendimiento del estado del arte de la nanotecnología en las diferentes áreas de la metrología y el potencial de avance adicional que pueda tener, para establecer el vínculo a las unidades del Sistema Internacional.
- Se requiere tomar en cuenta la redefinición de las unidades del SI, pues se demandarán nuevos métodos de disseminación. Asimismo, es muy importante considerar los avances de la metrología cuántica. Esto proporcionará nuevas oportunidades para realizar las unidades base mucho más cerca de su punto de uso permitiendo acortar

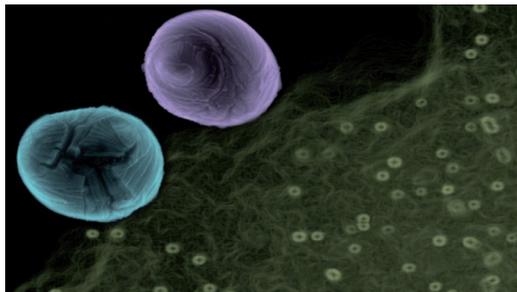
sustancialmente las cadenas de trazabilidad, apoyar la investigación en las fronteras del desarrollo científico y tecnológico, y proporcionar una plataforma estable para el avance en los estudios básicos para probar las constantes y leyes de la física.

- Es deseable realizar la proyección de las nanotecnologías que estarán disponibles para los próximos diez años en México y entender cómo éstas facilitarán la metrología.
- Desarrollar una estrategia sinérgica con el sector académico, industrial y de gobierno para atender las necesidades y las expectativas de los usuarios en tanto las nuevas capacidades en nanometrología se vuelven disponibles.
- En el desarrollo y el aprovechamiento de nuevas tecnologías de medición para nanomateriales, se necesita impulsar el que sean más coordinados e incluyentes.
- El CENAM requiere desarrollar una estrategia sistemática para involucrarse más con la comunidad internacional en investigación en nanometrología.
- Para impulsar el vínculo de la academia con la metrología se buscará establecer una red de colaboradores para atraer y desarrollar recursos humanos.
- En el tema de normalización se continuará colaborando en la elaboración de normas obligatorias y voluntarias como apoyo sustentable y responsable del desarrollo de las NyN, buscando la participación del sector académico e industrial.

Sitios de interés relacionados con el CENAM

- Página institucional: <<http://www.gob.mx/cenam>>.
- Google maps: <<https://goo.gl/maps/vGTMz9A3Jvn>>.
- Página del ProMetNano: <<http://www.nanomet.mx>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/CENTRONACIONALDEMETROLOGIA/>>.
- Twitter: <https://twitter.com/CENAM_Mexico>.

- ▶ 5-7 de septiembre de 2016
IV Congreso Nacional de Nanotecnología 2016
Rosa Agustina Conference Resort. Santiago, Chile
<www.facebook.com/IVCNN>



- ▶ 10-13 de octubre de 2016
Asia NANO 2016
Sapporo, Japón
<<http://asianano2016.org/>>



- ▶ 12-13 de octubre de 2016
Nanoforum. Micro, Nano & Advanced Technologies
MiCo Milano Centro Congressi. Milán, Italia
<<http://www.nanoforum.it>>



OCTOBER 12 > 13, 2016

Mi.Co Milano congressi

- ▶ 26-28 de octubre de 2016
BIT's 6th Annual World Congress of NanoScience & Technology – 2016
Holiday Inn, Singapur
<<http://www.bitcongress.com/nano2016/>>



- ▶ 5-7 de diciembre de 2016
Nanotech Dubai 2016
Dubai, Emiratos Árabes Unidos
<<http://www.setcor.org/conferences/Nanotech-Dubai-2016>>



- ▶ 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: 19th 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>



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.

Los artículos deberán ser enviados por correo electrónico 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 cual deberá ser corto y atractivo; el nombre del autor o autores; el de sus instituciones de adscripción con las direcciones postales y electrónicas, así como los números telefónicos. Indicar el autor para dirigir correspondencia.
- 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*. CEIICH, 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>.
 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).
 5. Las notas serán sólo explicativas, o para ampliar cierta información.
- e) Se recomienda la inclusión de gráficas y figuras. Éstas deberán ser enviadas por correo electrónico, en un archivo separado al del texto, en formatos tif o jpg, con un mínimo de resolución de 300 pixeles por pulgada, y estar acompañadas por su respectiva explicación o título y fuente.

