

# La Nanotecnología en México.

## SITUACIÓN ACTUAL

Reporte Tomo VI

---

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
DEL ESTADO DE QUERETARO

Santiago de Querétaro, Oro. Mayo de 2008



# La Nanotecnología en México

## SITUACIÓN ACTUAL

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**Alejandro A. Lozano Guzmán (Coordinador)  
Adriana Rojas Molina  
Fernando García Hernández  
José Rivera Mejía  
Luciano Vela Martínez  
Marcela Espinosa Peña**



Santiago de Querétaro, mayo de 2008

## GOBIERNO DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Lic. Francisco Garrido Patrón  
GOBERNADOR CONSTITUCIONAL

Lic. Guadalupe Murguía Gutiérrez  
SECRETARIA DE EDUCACIÓN

## CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Dr. Alejandro Lozano Guzmán  
DIRECTOR GENERAL

D.G. Alicia Arriaga Ramírez  
DIFUSIÓN

Ramón Martínez de Velasco  
CORRECCIÓN DE ESTILO

© Derechos reservados. Se prohíbe la reproducción parcial o total  
de este reporte sin la previa autorización por escrito del autor.

## CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DEL ESTADO DE QUERETARO

### REPORTES CONCYTEQ

**ISBN 968-5402- 21-3 / 978-968-5402- 21-7** (Toda la obra)

**ISBN 968-5402- 22-1 / 978-968-5402- 22-4** Tomo I Encuesta en la Micro y Pequeña Industrias de Autopartes en Querétaro

**ISBN 968-5402- 23-X / 978-968-5402- 23-1** Tomo II Encuesta sobre Aplicación de Tecnología, Innovación y Desarrollo en la Industria de Querétaro.

**ISBN 968-5402- 24-8 / 978-968-5402- 24-8** Tomo III Vinculación, Algunos Aspectos que Ilustran la Problemática para Establecer la Relación Academia-Industria

**ISBN 968-5402- 25-6 / 978-968-5402- 25-5** Tomo IV El Sistema de Innovación de Querétaro

**ISBN 968-5402- 26-4 / 978-968-5402- 26-2** Tomo V Apuntes sobre Educación Superior e Investigación en los últimos 50 años

**ISBN 968-5402- 28-0 / 978-968-5402- 28-6** Tomo VI La Nanotecnología en México. Situación Actual

E-Book

**ISBN 978-607-7710-15-8**

**Mayo de 2008**

Publicación del Consejo de Ciencia  
y Tecnología del Estado de Querétaro  
Luis Pasteur Sur N° 36, Centro Histórico,  
Tel. (442) 212 7266, 214 3685 y 212 2241  
Santiago de Querétaro, CP 76000 Oro., México



# Índice

Introducción .....	1
<b>La nanotecnología. Expectativa mundial .....</b>	<b>3</b>
Conceptos fundamentales.....	3
Convergencia tecnológica .....	4
¿Qué se está haciendo actualmente en nanotecnología? .....	4
Herramientas y técnicas.....	6
Aplicaciones y campos relacionados.....	7
Tendencias .....	11
Implicaciones éticas, legales y sociales de la nanotecnología (NELSI) .....	11
Perspectivas de desarrollo.....	13
Beneficios potenciales y riesgos para países en desarrollo .....	13
<b>Estado actual de la nanotecnología en México, 1999-2007 .....</b>	<b>15</b>
Antecedentes.....	15
Hacia un programa nacional.....	15
Redes de investigación .....	16
Áreas de investigación en México .....	16
Apoyos del CONACYT .....	18
Convenios de cooperación internacional.....	18
Infraestructura científica y tecnológica en la región centro-bajío de México.....	20
Propuesta del megaproyecto en nanotecnología NANOMEX del CIMAV. Un ejemplo de colaboración interinstitucional .....	21
<b>Conclusiones.....</b>	<b>25</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>27</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>30</b>
Educación de la nanotecnología en el mundo.....	30
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>32</b>
Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología, INN.....	32
<b>Anexo 3 .....</b>	<b>35</b>
Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología, REGINA .....	35
<b>Anexo 4 .....</b>	<b>37</b>
Programas académicos y centros de investigación en México .....	37
Centro de Ciencias de la Materia Condensada, CCMC-UNAM .....	38
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C., IPICYT.....	40
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C., CIDETEQ.....	43
Centro de Investigación en Química Aplicada, CIQA.....	46
Instituto de Física, UNAM .....	47
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ.....	48
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, CFATA-UNAM .....	50
Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, INAOE .....	51
Departamento de Química, UAM Iztapalapa, División Ciencias Básicas e Ingeniería .....	53
Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados, CINMA (Universidad Veracruzana).....	55
Instituto de Física, BUAP.....	56
Centros de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV .....	57
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-IPN.....	58
Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV .....	60
División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) de la Sociedad Mexicana de Física (SMF).....	61
Instituto Tecnológico de Tijuana .....	62
Nano Mex'08.....	64
<b>Anexo 5 .....</b>	<b>65</b>
Porcentajes de población mayor de 24 años con al menos un grado académico de educación superior.....	65
INEGI: Estadísticas de educación 2000-2005.....	65
<b>Anexo 6 .....</b>	<b>66</b>
Tecnologías e Instituciones participantes en NANOMEX .....	66
<b>Anexo 7 .....</b>	<b>67</b>
Entrevista con el Dr. Humberto Terrones Maldonado, investigador del IPICYT .....	67







## Introducción

La mayor parte de la ciencia con la que contamos hoy en día, fue desarrollada en el siglo pasado. Sin embargo, dada la globalización de la sociedad humana, actualmente se está cambiando a una nueva forma de hacer ciencia. Ahora se incursiona en el conocimiento científico que involucra una libre interrelación multidisciplinaria entre teoría, experimento y aplicación, en contraste a la forma unidisciplinaria, aislada y con una división entre teoría y experimento con la que se hacía en el pasado. Además, es un hecho que los países desarrollados se han dado cuenta que su crecimiento económico y social está ligado a la inversión en ciencia y tecnología. Uno de los temas multidisciplinarios de actualidad y con mayor perspectiva para lograr esto, es la nanotecnología, que algunos expertos califican como una revolución de gran importancia por sus beneficios potenciales en áreas tales como la salud, materiales, medio ambiente, tecnologías de información y energía.

Países desarrollados como Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, China, Corea y Taiwán cuentan con programas nacionales en nanotecnología, que coordinan esfuerzos orientados a la satisfacción de necesidades específicas a través de nanoproducidos. Por otro lado, algunos países en desarrollo tales como Brasil, Chile, Costa Rica, India, Malasia, Bangladesh y Sudáfrica, están invirtiendo recursos considerables en investigación y desarrollo de nanotecnologías. En el caso de México, se están haciendo esfuerzos para crear un programa nacional de nanotecnología, además de que existen grupos de trabajo y algunas redes de investigación trabajando en nanomateriales, nanotubos, nanopartículas, nanocatalizadores e ingeniería molecular.

En este trabajo, se presenta el panorama general de la nanotecnología a nivel mundial, sus beneficios potenciales e implicaciones en el desarrollo económico y social. También se establece la situación actual de la nanotecnología en México y se hace una revisión de la infraestructura científica y tecnológica de instituciones involucradas en alguna de las ramas de la nanotecnología. El propósito de este trabajo es dar a conocer esta situación, buscando despertar el interés de los sectores gubernamental, académico e industrial sobre los beneficios que tendría la inversión en la investigación y el desarrollo en nanotecnología en nuestro país.



## La nanotecnología. Expectativa mundial

La nanotecnología es el manejo o montaje de átomos individuales, moléculas y conjuntos moleculares dentro de estructuras tan pequeñas como 100 nanómetros (un nanómetro es equivalente a  $10^{-9}$  m), con la cual se pueden crear nuevos materiales y partes con diferentes propiedades<sup>1</sup>.

El término “nanotecnología” fue definido por primera vez en 1974 en el artículo “On Basic Concept of ‘Nano-Technology’”, publicado por el profesor Norio Taniguchi de la Universidad de Ciencias de Tokio<sup>1</sup>. Él describe a la nanotecnología como un proceso de separación, consolidación y deformación de materiales por un átomo o una molécula. La comunidad científica atribuye generalmente los primeros conocimientos de importancia a nivel nanométrico, al físico y premio Nobel Richard Feynman, quien en su famoso discurso del 29 diciembre de 1959: "There's Plenty of Room", proponía que las propiedades de los nanomateriales y componentes en la escala nanométrica podrían presentar oportunidades futuras.<sup>2</sup>

La idea básica de esta definición fue explorada en la década de los años 80 del siglo XX con mucho más profundidad por el Dr. K. Eric Drexler<sup>3</sup>, quien promovió el significado tecnológico del fenómeno de componentes a nanoescala a través de diversas conferencias y libros como *Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*<sup>4</sup> El término alcanzó gran aceptación pública en 1986 con la publicación *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology and Nanosystems*, en donde se presentaron dos desarrollos: el nacimiento de la ciencia de los ‘clusters’ y la invención del microscopio de barrido de tunelaje (STM). Este desarrollo permitió el descubrimiento del Fullerenos en 1986 y los nanotubos de carbono pocos años más tarde. Al mismo tiempo, en otros desarrollos, se estudió la síntesis y propiedades de los semiconductores nanocristalinos, lo cual ha permitido un rápido avance en el reconocimiento de puntos cuánticos (*quantum dots*) y nanopartículas de óxidos metálicos.

### Conceptos fundamentales

La definición de nanotecnología está basada en el prefijo “nano”, que proviene de la palabra griega “enano”. En términos más técnicos, “nano” significa la mil millonésima parte de un metro o igual  $10^{-9}$  metros. Para apreciar esta medida, compárese, por ejemplo, la longitud de un enlace atómico carbono-carbono, donde el espaciado entre estos dos átomos en una molécula se encuentra en el intervalo de 0.12- 0.15 nm, una doble hélice de ADN tiene un diámetro aproximado de 2 nm. Formas de vida celular tan pequeñas como la bacteria del *mycoplasma genus*, mide alrededor de 20 nm de longitud. Como se puede apreciar, se requiere de una nanoescala entre (0.1 a 100 nm) para referirse a ellos. Por lo que estos materiales referidos, como nanomateriales, nanoeléctronicos, nanocompuestos, nanocomponentes, nanopolvos etc., significa simplemente que la actividad del material puede ser medida en nanómetros.

## **Convergencia tecnológica**

Los gobiernos e instituciones privadas están dedicando esfuerzos para identificar desarrollos en nanotecnología, que puedan tener aplicaciones específicas. Debido a esto, se han propuesto conocer qué áreas del saber están evolucionando hacia lo que se ha denominado 'convergencia tecnológica'.

Trabajos recientes publicados por la National Science Foundation<sup>5</sup>, en Estados Unidos, y la Unión Europea<sup>5a</sup> han motivado que diversos grupos de investigadores hagan sus predicciones científico-tecnológicas sobre el desarrollo de algunas áreas del saber, y al parecer es en la escala nanométrica de 1 a 100 diámetros atómicos, donde se observa una confluencia disciplinaria, en un mundo de interacciones entre átomos, genes, bits y neuronas. De esta manera, las principales áreas del saber que parecen estar convergiendo, son la Nanotecnología, la Biotecnología, las Tecnologías de la Información (TICs) y la Neurociencia. Esta convergencia se conoce más comúnmente como NBIC, por los términos: nano-bio-info-cogno.

La nanotecnología, la biotecnología y las TICs se encuentran cada vez más ligadas en aplicaciones muy diversas: nanosistemas para la liberación controlada de fármacos, nuevos microscopios que permiten ver y actuar sobre material biológico vivo, biochips, nanopartículas para diagnóstico y tratamiento de enfermedades, etc<sup>6</sup>. La convergencia con las neurociencias ha sido más lenta, pero es la que quizá tenga más repercusiones sobre el desarrollo del ser humano, puesto que incidirá en la mejora de sus funcionalidades.

Las expectativas sobre la nanotecnología se reflejan en el gasto mundial en su desarrollo, que pasó de 430 millones de dólares en 1997, a 9,600 millones de dólares en el 2005<sup>7</sup>. Estados Unidos se adjudica el 37 % del gasto mundial en nanotecnología, Japón el 28 % y la Unión Europea el 24 %. Contrasta con lo anterior que los recursos para la investigación de riesgos potenciales por el uso de la nanotecnología, sean mínimos. En Estados Unidos solamente se destinan a ese rubro entre 15 y 40 millones de dólares anuales<sup>7</sup>.

## **¿Qué se está haciendo actualmente en nanotecnología?**

Los materiales nanoestructurados ya están siendo utilizados en productos como pelotas de tenis, golf o boliche (a modo de reducir el número de giros que dan las mismas); en la fabricación de neumáticos de alto rendimiento (nanopartículas); la fabricación de telas con propiedades anti-manchas o antiarrugas (nanofibras); en cosméticos, fármacos y nuevos tratamientos terapéuticos (nanoestructuras); en filtros/membranas de agua nanoestructuradas y 'remedios' medioambientales; en la mejora de procesos productivos mediante la introducción de materiales más resistentes o eficientes (tanto industriales como agroindustriales); o en el diseño de nuevos materiales para usos que van desde la electrónica, la aeronáutica y prácticamente toda la industria del transporte, hasta para su uso en armas más sofisticadas y novedosas (explosivos, balística), entre otros. También se están

empleando nanodispositivos integrados a nanoestructuras más grandes para aplicaciones en nanomedicina, nanorobótica y nanobiosensores.

Las nanopartículas, nanopolvos y nanotubos tienen hoy en día una influencia importante y significativa en la industria, la agricultura y, por ende, en la alimentación, la remediación del medio ambiente, la medicina, la ciencia, e inclusive dentro del ámbito doméstico.

Las nanopartículas de tierras raras, las magnéticas de hierro y los nanopolvos de óxidos de tierras raras, así como las magnéticas de óxido de hierro y óxido de cobalto, actualmente tienen una variedad de usos comerciales tales como: amplificadores de fibras ópticas (EDFA), remoción de fosfato en sangre en pacientes con fosfatemia, como almacenes magnéticos, en la obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI), así como en aplicaciones prometedoras en el tratamiento médico del cáncer y tumores malignos<sup>7-9</sup>.

Las nanopartículas de Lantano, Cerio, Manganeso y carbonatos así como los nanopolvos de óxido de Manganeso y óxido de Níquel, se están usando para desarrollo de óxidos sólidos de bajo costo en celdas de combustibles (SOFC) y en las membranas de intercambio de protones para celdas de combustible (PEM)<sup>10</sup>.

Las nanopartículas de Litio, Titanato de Litio y Tántalo estarán presentes en la siguiente generación de 'Baterías de Litio'; las de Silicio ultra puro se utilizarán en la fabricación de 'Celdas de energía solar'; las de Zinc, óxido de Zinc y Plata, por sus propiedades de absorción de luz ultravioleta (UV), se utilizarán para crear pantallas transparentes, antimicrobiales, antibacteriales y antibióticos. Mediante su incorporación en capas, estas nanopartículas se pueden utilizar como agentes fungicidas, fibras, polímeros, vendajes, plásticos, enjabonaduras y textiles<sup>11-13</sup>.

Las nanopartículas de dióxido de Silicio, Cobre, óxido de Cobre e Indio tienen aplicaciones en el desarrollo de: superconductores, partículas semiconductoras o 'puntos cuánticos', conductores eléctricos, computadoras de alta velocidad y telecomunicaciones.<sup>14</sup>

Las nanopartículas de óxido de Cerio, Platino, Paladio, Oro, Molibdeno, Níquel e Iridio tienen una amplia aplicación en: catálisis<sup>15</sup>, como anfitriones de síntesis química<sup>15a</sup>, en tratamientos químicos, en craqueo químico<sup>15b</sup> y como convertidores catalíticos automotrices.

Las nanopartículas de óxido de Tungsteno tienen aplicaciones prácticas en odontología para imágenes dentales, debido a que son opacas al radio y por su alta calidad en la resolución de rayos X<sup>16</sup>. Otras nanopartículas se están empleando en ensayos genéticos de ADN, y otras con propiedades fluorescentes están siendo usadas por los biólogos para estudiar, a niveles sin precedente, el comportamiento de las células.

Los nanocristales de fosfato de Calcio y de Níquel se usan en el campo biomédico para la manufactura de huesos artificiales con resistencia a la compresión, similar a la del acero inoxidable<sup>17-18</sup>.

Los nanotubos de carbono son otro tipo de materiales nanoestructurados cilíndricos de carbón de grafito, con tamaños de 1-2 nm. Existen los de pared simple, de doble pared y de múltiples paredes con propiedades eléctricas únicas y una gran dureza, con un enorme potencial y gran variedad de aplicaciones<sup>19</sup>. Por ejemplo, para pantallas planas, como componentes para microscopios de barrido, en la industria aeroespacial, en la industria automotriz, en escobillas para motores eléctricos comerciales. Otras aplicaciones también han sido exitosas en textiles (fibras para ropa del ejército, camisas resistentes a los líquidos), como componentes electrónicos, en películas plásticas con conductividad eléctrica, en equipo deportivo y nanoalambres y nanofibras para aplicaciones en biociencia. Como superconductores, semiconductores y 'puntos cuánticos'. Los nanotubos de Silicio y nanocompuestos resistentes y ligeros de carburo de Boro, Silicio y Titanio<sup>20</sup>, están siendo usados en la fabricación de componentes de la carrocería de autos, con alta resistencia a la abrasión y al impacto.

## Herramientas y técnicas

Las técnicas de nanofabricación se clasifican, de manera general, en dos categorías: métodos ascendentes (*bottom-up*) y métodos descendentes (*top-down*). Los primeros involucran la manipulación de átomos y moléculas individuales dentro de nanoestructuras. Se usan para la construcción de materiales y partes con componentes moleculares, los cuales son montados químicamente. Una técnica derivada de este método es la de 'puntos cuánticos', con gran alcance en biología por sus aplicaciones como marcadores biológicos que miden la actividad celular, y para la construcción de estructuras definidas de ADN y otros ácidos nucleicos<sup>24-25</sup>. Estas técnicas presentan algunas desventajas, como el hecho de que no pueden producir patrones interconectados y no son aplicables para la construcción de partes electrónicas, como los microchips. Por otro lado, los métodos descendentes se refieren a las técnicas de construir estructuras pequeñas, de escala nanométrica, a partir de instrumentos o equipos más grandes. Estas técnicas usan métodos de litografía, donde hay un agregado externo de moléculas en la superficie, siendo dos las más comunes: 1) Litografía blanda, que a su vez tiene dos métodos de impresión: a) micro contacto y b) micro moldeado de capilares. Con estos métodos se pueden producir patrones a nivel nanoescala de 10-50 nm, y ofrecen la habilidad de controlar la estructura molecular superficial de moléculas complejas con canales apropiados para microfluidos, y manipulación de células<sup>20</sup>. Dentro de sus aplicaciones se encuentra la fabricación de componentes que pueden ser usados en comunicaciones ópticas e investigaciones bioquímicas<sup>26-26a</sup>. 2) Litografía de pluma sumergida (*dip-pen*), en la que se emplea el microscopio de fuerza atómica (AFM) para crear nanoestructuras. Sus principales aplicaciones se encuentran en el campo de la nanoingeniería, para la construcción de nanomicroprocesadores, sistemas nanoelectromecánicos, NEMS y sistemas microelectromecánicos MEMS.<sup>27</sup> La

desventaja de estas técnicas es que no son adecuadas para la fabricación de estructuras de pared múltiple. Sin embargo, estas dos técnicas han hecho posible la construcción de nuevos materiales, dispositivos y productos químicos útiles como los farmacéuticos con propiedades y características innovadoras, competitivas y capaces de revolucionar algunos procesos industriales y tecnológicos, así como la producción de una gran variedad de polímeros comerciales<sup>21-23</sup>.

Las herramientas y técnicas en nanotecnología incluyen la fotolitografía, la litografía de pluma sumergida (*dip-pen*), la litografía ultravioleta, la de rayo de electrones, la de rayo de iones, la litografía de nanoimpresión, depositación atómica de pared, depositación química de vapor, así como técnicas de montaje molecular como las empleadas en di y tribloques de copolímeros.<sup>28-40</sup>

## **Aplicaciones y campos relacionados**

En la actualidad la mayoría de las aplicaciones comerciales de la nanotecnología están concentradas en el uso de nanomateriales. Sin embargo, ya están en desarrollo muchas aplicaciones, para el empleo de nanopartículas. Algunos de los campos del conocimiento, relacionados con la nanotecnología se describen a continuación.

### **Bionanotecnología**

La bionanotecnología o nanotecnología biomolecular, es el término aceptado para la tecnología de síntesis de moléculas orgánicas hechas de acuerdo con necesidades específicas, basada en principios y rutas químicas de organismos vivos, en el rango de los microbios. La bionanotecnología establece la relación entre la biología molecular y la nanotecnología. Uno de sus principales objetivos consiste en modificar nanocomponentes naturales para usos tecnológicos, tales como los nanomotores de sintasa ATP y los nanosomas. Su alcance puede ser visualizado a través de pruebas en tubos de ensayo y/o en organismos vivos modificados y con estructuras moleculares complejas (10 a 100 nm). Con el nuevo siglo, están surgiendo nuevas tecnologías que a nivel nanométrico revolucionarán los campos de la electrónica y la biología. El nuevo campo, al cual nos referimos como nanotecnología biomolecular, abre muchas posibilidades de investigación en biología molecular y biofísica, e importantes aplicaciones en la fabricación de biosensores, biocontrol, bioinformática, genómica, medicina, computación, almacenamiento de información y conversión de energía.

### **Nanotecnología de ADN**

En la identificación del ADN, por lo general se utiliza la técnica de reacción en cadena de la polimerasa o PCR. La acción de esta enzima permite duplicar pequeñas cantidades de ADN para generar muestras de tamaño suficiente para llevar a cabo los análisis. El uso de la nanotecnología, en lugar de la microscopía electrónica, aumenta notablemente la velocidad y la precisión de estos análisis.

Según los especialistas, la nueva tecnología es 10 veces más rápida y 100,000 veces más precisa que la que involucra la PCR. Un nuevo dispositivo que identifica ADN fue desarrollado en la Universidad de Northwestern<sup>42-43</sup>. Este equipo es portátil y puede ser empleado tanto para el diagnóstico instantáneo de enfermedades, como para la detección de atentados bioterroristas. Con una forma sintética de ántrax, se comprobó que este equipo puede detectar con precisión y rapidez el riesgo de contagio mediante la aplicación de una combinación de electrodos y "nanoporos" de oro y plata. Este equipo también se utiliza para identificar pequeñas variaciones genéticas, llamadas polimorfismos de un solo nucleótido, conocidas como SNPs o "snips", por sus siglas en inglés: *single nucleotide polymorphisms*.

Por otro lado, ya se está trabajando en la computación molecular, basada en la capacidad del ADN para almacenar y procesar información. Mediante la codificación de datos en cadenas de ADN, utilizando técnicas de biología molecular, se pueden llevar a cabo operaciones lógicas y aritméticas. Una computadora a base de ADN podría ser miles de veces más rápida que las actuales y con menor consumo energético. La investigación en computación con ADN *in vitro* e *in vivo* que se está realizando hoy en día, nos está proporcionando información relevante acerca de las capacidades computacionales de los seres vivos. La nanotecnología de ADN también ha avanzado en aplicaciones de diagnóstico *in vitro*, con nanodispositivos y biosensores que son capaces de detectar con gran rapidez, precisión y sensibilidad, la presencia de patógenos o defectos en el ADN a partir de muestras de fluidos corporales o de tejidos<sup>44</sup>. Entre ellos, destacan los nanobiosensores fotónicos, basados en nanopartículas de oro o magnéticas; los nanobiosensores tipo FET, basados en nanotubos de carbono; los biosensores nanomecánicos tipo MEMS/NEMS, que han surgido como reemplazo de los biochips de ADN; los biosensores nanofotónicos para detección directa de concentración de proteínas a nivel picomolar, o variaciones de una base única en el ADN en tan sólo unos minutos; nanobiochips genómicos y proteómicos que, a diferencia de los actuales biochips, llevan incorporado un sistema con el que será posible conseguir, en muy poco tiempo, gran cantidad de información genética. Esto permitirá elaborar vacunas, identificar mutaciones indicativas de enfermedades, nuevos fármacos, así como detectar patógenos.<sup>44a</sup>

Otras áreas emergentes importantes, son: la terapia génica, que se basa en utilizar células genéticamente modificadas; la terapia celular, que se basa en usar células madre y la liberación controlada de sustancias activas, citoquinas y factores de crecimiento que propician la reconstrucción de tejido. Entre los materiales que se están utilizando, cabe destacar los nanotubos de carbono, nanopartículas como nanohidroxiapatita o nanozirconia, nanofibras de polímeros biodegradables y nanocompuestos.

En el futuro podríamos estar viendo microchips implantables, que administrarán fármacos en dosis preprogramadas, fármacos que habrán sido elegidos "a la carta" según el perfil genético de cada individuo, gracias al uso de

micro/nanochips de ADN que transmitirán sus datos al hospital, para tener controlado al paciente mientras éste hace su vida normal<sup>44b</sup>.

### **Nanoingeniería**

La nanoingeniería está estrechamente ligada a la nanotecnología, y es la práctica de la ingeniería a nivel nanoescala. Generalmente usa las siguientes técnicas: Fotolitografía, Litografía de rayo de electrones y Microscopio STM.<sup>45-46</sup> Un ejemplo de esta última técnica es el montaje molecular en donde se pueden sintetizar secuencias arbitrarias de ADN a gran escala y a bajo costo, las cuales son usadas para crear proteínas o patrones regulares de aminoácidos comunes.

### **Mecanoquímica**

La mecanoquímica, entendida como la interacción de la mecánica y la química, tiene antecedentes que datan de muchos años, no obstante es hasta 1986 en que Eric Drexler, en su libro *The Engines of Creation*<sup>47</sup>, destaca el estudio de esta interacción a escala molecular. Esto incluye el estudio de la mecanoruptura, que es la degradación de un polímero bajo esquilado, de fenómenos de cavitación (sonoquímica y sonoluminiscencia), de ondas de shock químicas y físicas, y de las máquinas moleculares.

Un experimento típico de mecanoquímica, es el trabajar una molécula a través del filtro de un microscopio AFM para posicionar esta molécula sobre un sustrato. Como los ángulos y distancias pueden ser controlados y la reacción ocurre al vacío, ha sido posible desarrollar nuevos compuestos y arreglos químicos<sup>48-50</sup>. La meta de la investigación en mecanoquímica es la de lograr un ensamblaje molecular calibrado, combinado con una selección de reacciones de síntesis.

### **Mecanosíntesis**

La mecosíntesis en química, es cualquier síntesis que tiene lugar solamente por fricción mecánica. En la síntesis química convencional o quemosíntesis, las moléculas reactivas en un líquido o vapor chocan una contra otra al azar, a través de un movimiento inducido térmicamente. En un proceso de mecosíntesis las moléculas reactivas podrían ser controladas por sistemas mecánicos, y con esto los choques tendrían secuencias, posiciones y orientaciones planeadas. En el futuro la mecosíntesis podría evitar reacciones no deseadas por la separación de reactantes, así como favorecer las reacciones deseadas para sostener reactantes conjuntos en orientaciones óptimas durante muchos ciclos de vibración<sup>51</sup>.

Mientras la mecosíntesis se desarrolla, la “primitiva” mecanoquímica ha sido aplicada a temperaturas criogénicas usando microscopios de barrido de tunelaje. De esta manera se ha probado la posibilidad de fabricar herramientas para el desarrollo de la ingeniería molecular<sup>52-52a</sup>. A partir de aquí, se espera, mediante la mecosíntesis, desarrollar una tecnología más avanzada para ir construyendo máquinas o sistemas moleculares a partir de un ensamblador molecular. K. Eric Drexler,<sup>47</sup> prevé que la mecosíntesis será fundamental para el desarrollo de

nanofábricas capaces de manufacturar objetos microscópicos con precisión atómica.

### **Sistemas microelectromecánicos (MEMS)**

Se denominan MEMS dispositivos que tienen un tamaño que va de un micrómetro (una millonésima parte de un metro) a un milímetro (una milésima parte de un metro). Los MEMS se obtienen empleando una tecnología modificada a partir de la empleada para la fabricación de semiconductores, moldeo y platinado, para grabado al agua fuerte (KOH, TMAH) y grabado seco (RIE y DRIE), maquinado por electro-descarga (EDM), y otras tecnologías capaces de manufacturar partes muy pequeñas.

Existe una gran diversidad de MEMS con diferentes aplicaciones. Algunos ejemplos son los MOEMS o sistemas micro-opto-eléctrico-mecánicos, esto es, MEMS que incluyen elementos ópticos; los micropotenciadores generadores de Hidrógeno, hechos de Silicio; los MEMS Milpies de tecnología IBM, para almacenar datos de más de un terabit por pulgada cuadrada; los MEMS-ST microelectrónicos para acelerómetros; el chip DMD de Texas Instruments para pantallas basado en tecnología DLP, que tiene sobre su superficie varios cientos de miles de micro espejos; el Chip ADI, uno de los primeros para el desarrollo de acelerómetros; MEMS para actuadores térmicos, creados para expansión térmica; MEMS hechos de polímeros para aplicaciones microfluídicas como dispositivos y cartuchos para pruebas en sangre<sup>53</sup>; MEMS para inyectores de impresoras, para giroscopios, acelerómetros y sensores de presión de llantas de vehículos, sin olvidar la aplicación de MEMS en el control del sensor de movimiento del videojuego *Nintendo Wii*.

### **Sistemas nanoelectromecánicos (NEMS)**

Los NEMS o sistemas nanoelectromecánicos, son similares a los MEMS pero más pequeños. Estos sistemas amplían la perspectiva de medir pequeños desplazamientos y fuerzas a escala molecular. Las técnicas de fabricación de NEMS se centran, principalmente, en los dos métodos mencionados antes: el método descendente (*top-down*), y el ascendente (*bottom-up*). En ambos casos se está empleando el montaje molecular, para lograr dispositivos como los nanomotores y los nanotubos de carbono<sup>55</sup>.

## **Tendencias**

La identificación de tendencias en el desarrollo de la nanotecnología, requiere tomar en consideración un gran número de factores, entre los que destacan las implicaciones sociales que puedan tener las diversas aplicaciones a escala nano, además de los detalles técnicos y científicos. En este marco, las tendencias identificadas con mayor claridad por la National Science Foundation (NSF) son las siguientes:

### **Nanotecnología molecular**

La nanotecnología molecular, algunas veces llamada manufactura molecular, es el término con el que se designa a la ingeniería de nanosistemas (o nanomáquinas) operando a escala molecular<sup>55a</sup>. Se detecta gran interés y potencial de desarrollo por el concepto de ensamblaje molecular, lo que permitirá el desarrollo de máquinas con una estructura deseada o componentes átomo por átomo, usando los principios de la mecano-síntesis.

### **Nanorobótica**

La nanorobótica es la tecnología de creación de máquinas o robots, a la escala de un nanómetro. Los nanorobots (nanobots o nanoids), son típicamente partes y componentes moleculares construidos a nanoescala, en el intervalo de 0.1-10 micrómetros. Hay expectativa de construir nanorobots, tanto artificiales como biológicos, que por el momento sólo se tienen a nivel conceptual.

### **Nanomedicina**

La nanomedicina o nanotecnología médica explora la posibilidad de utilizar nanorobots que se inyectarían a los pacientes, para llevar su tratamiento al nivel celular. Los retos científicos y tecnológicos de esta disciplina aún están sin resolver.

## **Implicaciones éticas, legales y sociales de la nanotecnología (NELSI)**

De acuerdo con Eric Drexler, la nanotecnología hará posible contar con computadoras mucho más rápidas, viajes espaciales de bajo costo, con mejores herramientas para el tratamiento de enfermedades, retrasar el envejecimiento, eliminar la contaminación así como la purificación y desalinización del agua, poner fin a las hambrunas, proporcionar educación de calidad en todo el mundo, reintroducir plantas y animales extintos, y un sinnúmero de aplicaciones más que requerirán la consideración de las implicaciones éticas, legales y sociales de su implantación.

Rocco<sup>61</sup> reporta que en The National Nanotechnology Initiative (NNI) se destina alrededor de un 7 % del presupuesto de esta iniciativa, al estudio de las cuestiones éticas, legales y las implicaciones sociales del desarrollo de la nanotecnología, buscando evitar los problemas que ha tenido que enfrentar el

desarrollo de la biotecnología y la ingeniería genética. En este marco, en instituciones como The Foresight Institute, se han tratado de establecer normas y políticas para el uso de la nanotecnología; en The Center for Responsible Nanotechnology (CRN), organización sin fines de lucro, se llevan a cabo estudios orientados al uso seguro, productivo y benéfico de la nanotecnología, así como en The Nanoethics Group<sup>62-63</sup>, organización apolítica e independiente enfocada al estudio de las implicaciones éticas y sociales de la nanotecnología.

Sobre este tema, resaltan las siguientes acciones: en agosto de 2005 The CRN reunió un grupo de más de 50 expertos internacionales para estudiar las implicaciones éticas, legales y sociales de la nanotecnología; en octubre de 2005, The National Science Foundation (NSF) anunció la creación de dos centros de estudios sobre *NESLI*, uno en la Universidad de California (Sta. Bárbara) y otro en la Universidad estatal de Arizona; mientras que en 2006, Geoffrey Hunt y Michael Menta publicaron su libro *Nanotechnology: Risk, Ethics and Law*, en donde ofrecen un panorama general de las implicaciones éticas y la necesidad de reglamentar el uso de la nanotecnología<sup>64</sup>.

Como primer paso para entender los riesgos de la nanotecnología, The CRN ha identificado una serie de factores económicos y sociales, de entre los cuales se destacan los siguientes: la posibilidad de que se produzca un desequilibrio económico mundial, ya sea por la abundancia de productos baratos o por la opresión económica, que pudieran ejercer los países desarrollados sobre algunas regiones al venderles a éstas artículos a precios inflados artificialmente; el terrorismo, las armas químicas, la carrera armamentista, el mercado negro, el daño ambiental por nanocontaminantes y los riesgos a la salud asociados al control y manejo de nanopartículas.

En contraparte, los impulsores de la nanotecnología mencionan una amplia gama de beneficios económicos y sociales, no obstante que en la última década la evidencia del riesgo a la salud, debido a la inhalación de partículas ultra-finas o nanopartículas, se ha incrementado. De la misma manera, el estudio de los efectos toxicológicos y la reacción del cuerpo humano al inhalar partículas del orden de 100 nm, son temas pendientes para las ciencias relacionadas con el medio ambiente. La ética, al considerar la nanotecnología, sugiere que esta tecnología transformativa podría exacerbar la división entre ricos y pobres, no obstante que la nanotecnología hará que la producción de computadoras, teléfonos celulares o la disponibilidad de elementos para el cuidado de la salud sean más accesibles para los pobres. Muchos de los promotores más entusiastas de la nanotecnología, como los transhumanistas, ven en la naciente ciencia mecanismos para cambiar la naturaleza humana, citándose como ejemplo la posibilidad de aplicar implantes de nanosensores a los soldados para aumentar su capacidad militar. Si bien este tipo de aplicaciones todavía pertenecen al campo de la ciencia ficción, se percibe que organismos tales como la Environmental Protection Agency, la Food and Drug Administration en los Estados Unidos, o la Health & Consumer Protection Directorate de la Unión Europea y la Procuraduría

Federal del Medio Ambiente de México, deben estar muy pendientes del desarrollo de la nanotecnología.

## **Perspectivas de desarrollo**

Parece claro que la nanotecnología tendrá un gran impacto en la industria. La National Science Foundation<sup>5b</sup> ha vislumbrado que el mercado global de la nanotecnología alcanzará un trillón de dólares o más, dentro de 20 años, ya que actualmente se desarrollan cientos de aplicaciones relacionadas con nanomateriales, dispositivos nanoeléctronicos y con la bionanotecnología. En términos de aplicaciones de la nanotecnología en materiales, se trabaja en nanocompuestos, nanopartículas, antibacteriales y catalizadores nanoestructurados, que se prevé alcancen su pleno desarrollo en los próximos 15 años.

El importante crecimiento de la nanotecnología en la industria y, en general, en la sociedad, no ha sido acompañado de un entendimiento por parte del público en general sobre las ventajas y riesgos de la aplicación de la nanotecnología. Por su parte, los investigadores sostienen que los esfuerzos realizados por la industria, la academia y el gobierno, en materia de nanotecnología, tendrán un impacto positivo en un gran número de aspectos de la actividad humana.

La convergencia de diversos aspectos entorno al desarrollo de la nanotecnología podría llegar a transformar las relaciones entre ciencia, economía y sociedad. A principios del siglo XXI el conocimiento se está valorando en la medida de que sea capaz de actuar como factor de producción. Consecuentemente, se enfrenta una era en la que ya no se competirá con un enemigo comercial que basa su potencial en mano de obra barata, en la posesión de materias primas o en el tener cuantiosas inversiones en capital, sino más bien en cómo competir aplicando el conocimiento como factor fundamental de producción. Lo anterior requiere impulsar el círculo virtuoso ciencia-tecnología-comercialización, clave para estimular la oportunidad empresarial e incentivar el factor “conocimiento” en la formación de profesionistas del siglo XXI.

Por lo anterior, el incentivar el estudio de la nanotecnología en México, es fundamental. Para esto se requiere integrar a los estudiantes mexicanos a los grupos de trabajo de nivel mundial, donde, bajo una perspectiva interdisciplinaria, se forman científicos con “conocimiento” que puedan convertirse en factor de producción. A manera de guía, en el **Anexo 1** se presentan las principales universidades que están ofreciendo grados de Licenciatura, Maestría y Doctorado en temas relacionados con la nanotecnología.

## **Beneficios potenciales y riesgos para países en desarrollo**

Considerando las áreas de desarrollo en las que actualmente se aplica la nanotecnología, se estima que ésta permitirá contar con soluciones innovadoras para proveer de servicios de suministro de agua, energía, salud y educación a millones de personas en el mundo. La Organización de las Naciones Unidas

(ONU) publicó una lista de metas que contemplan esta posibilidad, de tal manera que países en desarrollo como Costa Rica, Chile, Bangladesh, Tailandia y Malasia, están invirtiendo considerables recursos en investigación y desarrollo de nanotecnologías. De la misma manera, países con economías emergentes como Brasil, China, India y Sudáfrica, están invirtiendo anualmente millones de dólares en investigación y desarrollo (I+D), lo que se ha traducido, entre otras muchas cosas, en una mayor interacción de sus grupos de trabajo con los grupos líderes a nivel mundial. De cualquier forma, los países en vías de desarrollo continuarán requiriendo asistencia financiera para mantener su desarrollo científico, la capacitación institucional, y la instalación y puesta en marcha de laboratorios, al menos, para ser usuarios del desarrollo de la nanotecnología de manera responsable con su población.

## **Estado actual de la nanotecnología en México, 1999-2007**

### **Antecedentes**

El estudio de las nanociencias y la nanotecnología en México, ha ido ganando, en menos de una década, un espacio importante en los centros de investigación e instituciones de educación superior. Sobre esto, los primeros programas se establecieron en 1999 y a partir de 2001 se advierte una producción científica creciente año con año, estando ya en marcha la coordinación interinstitucional. Con esto, se espera, se impulsen y orienten los esfuerzos para el desarrollo de la nanotecnología, tomando en cuenta que México ya cuenta con un importante grupo de especialistas e investigadores de alto nivel<sup>66</sup>. A partir de 2001 se comenzaron a crear grupos de investigación en nanotecnología en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV). Sin embargo, hasta 2005 no se tenía registrada ninguna patente, a pesar de que la UNAM ya figuraba en la posición 71 en productividad de publicaciones relacionadas con las nanociencias y la nanotecnología a nivel mundial<sup>67</sup>. Algunos programas de investigación han surgido a partir de convenios bilaterales con Estados Unidos<sup>68, 69</sup> y la Unión Europea<sup>70</sup>, y se registra una producción científica interinstitucional creciente de publicaciones científicas con arbitraje internacional, destacando trabajos del IPICYT, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), UNAM, CINVESTAV, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), entre otros<sup>77-79</sup>.

### **Hacia un programa nacional**

A partir de 2001, el IPICYT encabezó la iniciativa de establecer un Programa Nacional de Nanotecnología. En 2002, 2003, 2004 y 2005 se llevaron a cabo la I, II, III y IV Reuniones de Nanociencias y Nanotecnología, "Hacia un Programa Nacional"<sup>71</sup>, en las cuales se presentaron trabajos y propuestas por parte de centros de investigación e institutos de educación superior del país. Como resultado de la primera reunión, se elaboró una propuesta de Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología, para desarrollar nuevas bases tecnológicas, el cual fue presentado en septiembre de 2002<sup>72</sup>.

En esta propuesta se identifican las principales áreas de impacto de la nanotecnología, a saber: síntesis de nuevos materiales, materiales y manufactura, nanotecnología y tecnología de cómputo, medicina y salud, medio ambiente y energía, biotecnología y agricultura. En esta propuesta también se establece la necesidad de contar con una iniciativa que apoye el desarrollo de la nanotecnología como área estratégica nacional, puesto que se requiere un impulso sin precedente para establecer la infraestructura y fomentar la generación de recursos humanos que permitirán a México realizar investigación básica y tecnológica que promueva su desarrollo. Para la IV Reunión se contó con la presencia de investigadores extranjeros, como A. de Lozane (Universidad de

Texas) y E. Marinero (Hitachi, San José Research Laboratory). Como resultado final de esta reunión, se formó una comisión para elaborar un programa de colaboración sobre nanotecnología, con el objetivo de fortalecer el trabajo interinstitucional alrededor de temas como: síntesis de materiales, materiales magnéticos nanoestructurados, películas ultradelgadas, catálisis y simulaciones. No obstante, a la fecha de la publicación de este reporte, no se encontró información de alguna reunión posterior.

## **Redes de investigación**

Lo que sí ha sido posible es la creación de redes de investigación en las que participan instituciones nacionales e internacionales. La Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología (RED INN), está conformada por grupos de investigación de diferentes instituciones internacionales interesadas en la investigación, desarrollo y aplicación de materiales nanoestructurados<sup>73</sup>. En la UNAM, diversos grupos se organizaron para configurar la Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología (REGINA), fundada el 29 de abril del 2004<sup>74</sup>. Por otro lado, la formación de los futuros investigadores en nanociencia y nanotecnología se está dando en los programas de Física de centros de investigación y universidades del país. La Sociedad Mexicana de Física<sup>75</sup> agrupa a alrededor de 40 centros de investigación y universidades con casi 50 programas de educación e investigación en Física, Química y Materiales. Además, la Sociedad Mexicana de Física creó la División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) para promover la discusión de ideas y problemas de investigación, mediante reuniones anuales<sup>76</sup>.

En el **Anexo 2** se describe la infraestructura que compone la RED INN, y en el **Anexo 3** se presenta la de la REGINA. Finalmente, en el **Anexo 4** se listan los programas educativos y la infraestructura científica y tecnológica de centros de investigación con programas en nanotecnología en México.

## **Áreas de investigación en México**

El IPICYT<sup>86</sup> es considerado un centro de vanguardia en el estudio de la nanotecnología en México, desde el año 2001. El centro ofrece un programa de posgrado con especialización en cuatro áreas: Nanociencias y nanotecnología, Ciencias Ambientales, Biología molecular y Control y Sistemas Dinámicos. Asimismo, en su División de Materiales Avanzados, se realizan investigaciones teóricas y experimentales de nuevos materiales, principalmente nanoestructurados. El IPICYT mantiene acuerdos de colaboración e intercambio con instituciones nacionales como la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad Iberoamericana (UIA), así como con compañías internacionales como Hitachi, de Japón; Phillips, de Holanda, y Vecco, en Estados Unidos. En el 2005 se reportó una contribución importante en nanotecnología realizada por el científico mexicano Humberto Terrones Maldonado, actual jefe de la División de Materiales Avanzados del IPICYT, quien creó las estructuras nanodopadas, es decir, nanotubos 100 veces más resistentes y seis veces más ligeros que el acero<sup>81</sup>. El Dr. Terrones extendió el trabajo de Harold Kroto, Premio Nobel de

Química 1996, quien inició las primeras investigaciones en nanotubos a principios de 1990. Actualmente, el IPICYT trabaja con nanotubos de carbono para elaborar catalizadores a emplear en la elaboración de diversos materiales. También es importante destacar que el Dr. Mauricio Terrones, hermano de Humberto y actual coordinador de la División de Materiales Avanzados del IPICYT, es considerado como uno de los pioneros de las nanociencias y promotores de la nanotecnología en México.

A principios del 2004 se dio un paso trascendente para el desarrollo de nanoelectrónica en México<sup>82</sup>. La empresa Motorola y el INAOE establecieron, mediante un convenio, las bases para la creación del Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica (LNN), el cual estará orientado al diseño y desarrollo de sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS) y circuitos integrados. El convenio contempla la donación de un equipo valuado en más de un millón de dólares por parte de Motorola. Esta donación forma parte de la iniciativa LatinChip, mediante la cual la empresa transfiere propiedad intelectual, herramientas y soporte técnico a instituciones educativas y de investigación científica en América Latina, a través del Consorcio Iberoamericano de Educación Científica y Tecnológica. El costo total del proyecto del LNN, incluyendo edificación y operación, está estimado en 18 millones de dólares.

El proyecto del LNN está coordinado por el Departamento de Electrónica del INAOE. Dada la magnitud del proyecto, éste se divide en dos fases: Fase 1 o LIMEMS, localizado dentro de las instalaciones del INAOE, con una superficie de 800 metros cuadrados. Éste será un cuarto limpio clase 10 en los puertos de entrada del equipo de fabricación, y clase 100 en el resto del área. La Fase 2 o LNN2 será un laboratorio de 2,000 metros cuadrados, para la fabricación de lotes de dispositivos semiconductores, circuitos integrados, sensores y MEMS. Además, el INAOE trabaja en el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados y técnicas de micromaquinado, y mantiene convenios de colaboración con compañías como Texas Instruments, Star Mega, Intel y Motorola<sup>77, 78</sup>. El INAOE busca --como lo ha manifestado el Dr. Alfonso Torres Jácome, investigador de este centro-- trabajar junto con universidades e institutos regionales, para establecer un polo de desarrollo para la industria nanoelectrónica.

En el tema de ingeniería molecular, que es la manipulación y obtención controlada de materiales, sustancias y dispositivos de escala nanométrica, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) va a la vanguardia con una producción científica importante, encabezada por el Dr. Jorge Antonio Ascencio Gutiérrez. El IMP creó en 1999 el Programa de Ingeniería Molecular, con el propósito de desarrollar nuevas tecnologías o productos para la industria petrolera<sup>84</sup>. Para el 2004 en el IMP ya existían tres campos fundamentales de aplicación de nanotecnología: catálisis, con un amplio liderazgo; sensores, para separación de gas, aspectos de corrosión y presión en piezoeléctricos, y; desarrollo de nuevos métodos de producción de energía, como celdas solares y celdas de combustible<sup>91</sup>.

El Laboratorio de Nanotecnología de la UAM-Iztapalapa, dirigido por el Dr. Nikola Batina, está especializado en el estudio de superficies de nanopartículas<sup>94</sup>. En el 2005 este laboratorio, en colaboración con la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, inició uno de los proyectos considerado de los más ambiciosos para el análisis de células vivas cancerígenas, lo cual se espera represente un avance importante en el estudio de terapias alternativas contra esta enfermedad<sup>83</sup>.

Por su parte, el CINVESTAV<sup>97</sup> cuenta con un programa de investigación vinculado con la nanotecnología en la sección de Física Aplicada de la Unidad Mérida. En su área de Nuevos Materiales se depositan películas delgadas semiconductoras y superconductoras utilizando las técnicas de transporte de vapor en espacio reducido y por plasma (*sputtering*), con el objetivo de estudiar sus propiedades electrónicas y fisicoquímicas.

## Apoyos del CONACYT

Durante el 2006, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) convocó a la comunidad científica y tecnológica a presentar ideas para la realización de megaproyectos, con el objetivo de detectar áreas estratégicas de desarrollo para el país. Se aprobaron 81 propuestas en la primera etapa, de las cuales cinco están orientadas a nanotecnología<sup>101</sup>:

- Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica – INAOE
- Iniciativa Nacional de Nanotecnología – UNAM
- Nanotecnología en México como catalizador para impulsar la ciencia y la industria con alto impacto en la sociedad – IPICYT
- Iniciativa Nacional de Nanotecnología (NANOMEX) – CIMAV
- Plataforma Integral de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Industria Farmacéutica Mexicana (utilizando herramientas biotecnológicas, nanotecnológicas y de ingeniería farmacéutica) - ITESM Campus Monterrey.

## Convenios de cooperación internacional

Un factor importante en la creación de áreas de investigación y grupos de trabajo en México, así como el desarrollo de proyectos de investigación en nanotecnología, han sido los convenios de cooperación internacional. Durante 2003 se concretó un Acuerdo de Cooperación Científica y Tecnológica entre México y la Unión Europea, con el propósito de aumentar el beneficio económico y social de las partes involucradas. El acuerdo fue firmado por el entonces director general del CONACYT, Jaime Parada; la representante permanente de Irlanda ante la Unión Europea, Anne Anderson; y el comisario de investigación, Philippe Busquin. El objetivo de este acuerdo es estimular, desarrollar y facilitar las actividades de cooperación en áreas de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías. El acuerdo indica que los científicos mexicanos tendrán acceso a los centros de excelencia europeos para constatar los avances en los campos de

biotecnología, nanotecnología, transporte, hidrógenos e investigación espacial. Los temas prioritarios son la salud, la agricultura, el desarrollo industrial y la información<sup>70</sup>.

Otro esquema de cooperación es el establecido por la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia<sup>69</sup>, mediante el cual instituciones como los laboratorios Sandia, la Universidad de Texas, la Universidad de Nuevo México, el Centro de Diseño de MEMS de Sony, en San Antonio, Texas, y las principales proveedoras de software de diseño especializadas en MEMS de los Estados Unidos, han establecido convenios para la colaboración en tecnologías de sistemas micromecánicos (MEMS) y algunos nanomecánicos: 1) los acuerdos entre el Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados (CINMA) de la Universidad Veracruzana y la Universidad de Texas (Austin); 2) el acercamiento entre la Universidad de Guanajuato y la Universidad de Texas (Dallas); 3) el establecimiento de un Laboratorio Nacional de Nanotecnología entre el Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados (CIMAV-Chihuahua) y la Universidad de Nuevo Mexico (Albuquerque)<sup>85</sup>; 4) las colaboraciones entre el Laboratorio de Nanotecnología y Nanociencias de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Nuevo León y el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Texas (Austin) o el Lawrence Berkeley National Laboratory de los Estados Unidos, entre otras<sup>67</sup>.

En el caso del CINMA<sup>95</sup>, fue creado mediante un convenio de colaboración entre el CONACYT y la Universidad de Texas en Austin (UT-Austin). En el marco de este convenio, se publicó la convocatoria CONACYT-UT-AUSTIN 2005, con el fin de promover la colaboración entre investigadores de la UT-Austin e investigadores mexicanos en las áreas de Materiales nano-estructurados, Nanopartículas, Nanomateriales novedosos (nanoalambres, fullerenos, nanotubos), y Modelación y simulación para aplicaciones diversas. Por su parte, el Laboratorio Nacional de Nanotecnología, con sede en el CIMAV<sup>79</sup>, fue creado en octubre de 2006 como resultado de la convocatoria de ese año, publicada por el CONACYT para otorgar apoyos complementarios para el establecimiento de Laboratorios Nacionales de Infraestructura Científica y Desarrollo Tecnológico. La creación de este Laboratorio Nacional requirió de una inversión inicial de 40 millones de pesos, de los cuales 20 millones fueron aportados por el CONACYT, 10 millones provinieron de recursos propios del CIMAV y 10 millones del gobierno del estado de Chihuahua<sup>85</sup>. Se prevé que este laboratorio incrementará sustancialmente los ingresos del CIMAV y de las instituciones participantes, a través de la venta de proyectos y servicios a industrias relacionadas con la genética, el medio ambiente y nuevas tecnologías energéticas. El trabajo del Laboratorio Nacional de Nanotecnología se enfocará hacia siete líneas de investigación: Caracterización, Materiales funcionales, Simulación computacional de estructuras y propiedades, Desarrollo de tecnología para catálisis, Compuestos inteligentes, Aleaciones para la nanotecnología, así como Contaminación y remediación ambiental.

## **Infraestructura científica y tecnológica en la región centro-bajío de México**

Para fines de este reporte, se define como zona bajío a la región central de México, y comprende principalmente los estados de Guanajuato, Querétaro y Michoacán<sup>102</sup>, además de San Luis Potosí, Aguascalientes e Hidalgo.

Las principales actividades económicas de la zona centro-bajío incluyen las industrias automotriz, peletera, alimentos procesados, electrodomésticos, maquinarias y materiales eléctricos. En cuanto a la actividad agropecuaria, ésta es muy importante en los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro. Este último estado destaca en la producción avícola, en la industria turística y comercial, así como en la aeronáutica<sup>103</sup>. En todas estas actividades el potencial de investigación y desarrollo de aplicaciones de la nanotecnología es importante, sin embargo hasta el momento no se ha hecho patente un interés por parte del sector privado y gubernamental sobre este tema en particular.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para esta zona, el porcentaje de población de 24 o más años, con al menos un grado aprobado en educación superior, es de 12.67 %<sup>103</sup> (ver tabla en **Anexo 5**). La población que decide estudiar temas relacionados con la nanotecnología es relativamente bajo, ya que actualmente hay sólo 12 y 20 alumnos inscritos en maestría y doctorado, respectivamente, relacionados con la nanotecnología<sup>104, 105</sup>.

En la zona centro-bajío se reportan 61 instituciones de educación superior y 39 centros de investigación, de los cuales sólo tres reportan alguna línea o proyecto de investigación relacionado con la nanotecnología, y los cuales son:

- IPICYT (Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica)
- CFATA (Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada-UNAM)
- CIDETEQ (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica)

Estos centros cuentan con la infraestructura necesaria para el desarrollo de proyectos relacionados con nanotecnología. Dicha infraestructura y los proyectos que están realizando actualmente en esta área pueden consultarse en la sección correspondiente a estos centros en el **Anexo 5**.

En particular, la zona centro-bajío presenta un potencial de desarrollo en el área de nanotecnología, debido a que al menos se cuenta con tres centros de investigación que dedican parte considerable de su trabajo al estudio e investigación en dicha área. Estos tres centros cuentan al menos con la infraestructura básica y, en algunos casos, con infraestructura bastante especializada, la cual puede fungir como una punta de lanza para incrementar el interés público, empresarial y gubernamental hacia la nanotecnología y sus beneficios.

La zona centro-bajío cuenta, además, con áreas económicas que se verían beneficiadas con la nanotecnología. Por ejemplo, la agricultura se vería beneficiada con plaguicidas nano-encapsulados que combatirían las plagas de manera más eficiente. La manufactura (metal-mecánica, aeroespacial, automotriz, calzado, electrodomésticos) con materiales nanoestructurados. Las nanopartículas se pueden emplear en conductores eléctricos para computadoras de alta velocidad y componentes electrónicos. En el área de alimentos, la nanotecnología tiene aplicación directa en empaques inteligentes, dosificación de conservadores y alimentos que se modifican de acuerdo con las necesidades nutricionales.

La posibilidad de desarrollo de la nanotecnología en la zona centro-bajío, dependerá de la calidad de la educación ofertada en esta zona, la inversión y la conjunción de esfuerzos que puedan hacer tanto el sector gubernamental, como el industrial y el académico. Si estos tres actores se coordinan, será posible generar el apoyo financiero necesario para lograr un avance científico y tecnológico que permita posicionar no sólo a la zona centro-bajío, sino al país, en un nivel competitivo con respecto a otras naciones. De otra forma, se corre el riesgo de que se sólo se realicen esfuerzos aislados con poca incidencia en la economía local y en el avance de México.

### **Propuesta del megaproyecto en nanotecnología NANOMEX del CIMAV. Un ejemplo de colaboración interinstitucional**

En el marco de la “Convocatoria para Presentación de Ideas para la realización de Megaproyectos de Investigación Científica o Tecnológica 2006”, emitida en el 2007 por el CONACYT, se propone conformar la “Iniciativa Nacional en Nanotecnología”. La función sustantiva de esta Iniciativa es la coordinación y el fortalecimiento, en el ámbito nacional, de las actividades de investigación, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos e innovación en el campo de la nanotecnología.

Con este proyecto se pretende contribuir de manera significativa a la generación de conocimiento de frontera, así como al desarrollo de una tecnología nacional propia en este campo, con importantes repercusiones en el desarrollo nacional por su impacto en la industria y en sectores tan sensibles como la salud, la alimentación, la vivienda y el medio ambiente.

La nanotecnología constituye en la actualidad el tema de mayor relevancia científica en el ámbito internacional, con impacto, entre otros, en la medicina, los materiales avanzados, la energía, la electrónica y el medio ambiente<sup>107</sup>. Ante esta perspectiva, el CIMAV, S.C., creó en el 2004 su Programa Académico Institucional de Nanotecnología, que se incorporó al Plan Estratégico Institucional a Mediano Plazo (2005-2010). En forma adicional, en el 2006 el CONACYT aprobó al CIMAV la propuesta para crear en sus instalaciones un Laboratorio Nacional de Nanotecnología<sup>108</sup>.

En este contexto, el CIMAV se ha abocado a la tarea de invitar, concensuar, organizar y proponer este proyecto de integración, en el que inicialmente participan 38 instituciones y 239 investigadores, tanto de centros públicos de investigación como de universidades de diferentes regiones del país, así como 11 empresas del sector privado, con la firme intención de formar una red nacional que permita el avance y el desarrollo del tema de la nanotecnología. De manera colateral, participan en esta organización entidades gubernamentales como el Gobierno del estado de Chihuahua, quien a través del Gobernador ha manifestado su apoyo a este proyecto y que supone futuras adhesiones de esta naturaleza <sup>99</sup>. En el **Anexo 6** se mencionan las instituciones que participan actualmente en el proyecto.

Es significativo señalar la intención de colaboración y apoyo específico a este proyecto de 11 importantes instituciones académicas de Estados Unidos y Europa, que trabajan en esta área. Además, hay unas 67 instituciones de diferentes regiones del mundo, con las cuales ya tienen relaciones de cooperación e intercambio académico los participantes en esta propuesta. En particular, la Universidad de Arizona ha manifestado su interés por escrito, para conformar un *cluster* de nanotecnología en América del Norte, para el desarrollo de proyectos conjuntos de investigación y educación de posgrado en 17 temas específicos en el campo de la nanotecnología.

El logro de resultados y éxito previsible de este proyecto, se fundamenta en la generación de una triple alianza entre academia-empresas-gobierno, así como en el efectivo funcionamiento de la red antes mencionada, cuya organización se establece de la siguiente forma:

- Director de la Iniciativa y Responsable Técnico de la propuesta, personificado en el Dr. Jesús González Hernández, actual Director General del CIMAV.
- Consejo General, integrado por un representante de cada una de las instituciones participantes.
- Consejo Técnico, constituido por cinco directores de las instituciones participantes.
- Secretaría Técnica, que apoyará en las funciones de coordinación y comunicación de la red.
- Coordinadores de las áreas de competencia clave, previamente definidas, en función de capacidades actuales y potenciales de las instituciones que, en principio, han manifestado su adhesión a esta propuesta.

Las temáticas iniciales propuestas, con sus responsables actuales, son <sup>99</sup>:

- Nanopartículas (Dr. Alfredo Aguilar Elguézabal, CIMAV)
- Materiales nanoestructurados inorgánicos (Dr. David Jaramillo Viguera, CIITEC-IPN)
- Materiales poliméricos nanoestructurados (Dr. Oliverio Rodríguez Fernández, CIQA)
- Simulación computacional (Dr. Alberto Vela Amieva, CINVESTAV Zacatenco)
- Bionanotecnología (Dr. Rogerio Sotelo Mundo, CIAD)
- Nanometrología (Dra. Norma González Rojano, CENAM)
- Diseño y desarrollo de equipos y procesos (Dr. Luis del Llano Vizcaya, CIDESI).

Los nodos temáticos anteriores no son excluyentes de otros que, en el futuro, se detecten. Se contará también con 25 líderes de proyectos que serán los

responsables del desarrollo de 25 productos que se obtendrán a partir de la detección de las oportunidades y requerimientos de la industria nacional y del mercado.

Para garantizar la obtención de resultados, la Iniciativa se basa en un modelo orientado hacia el logro de cuatro objetivos principales:

- Desarrollo de investigación científica básica.
- Desarrollo de proyectos con base en las líneas de investigación definidas en cada área temática.
- Desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo identificados a partir de necesidades detectadas en el mercado nacional.
- Formación de recursos humanos, con la creación de un mayor número de programas de doctorado y maestría relacionados con la nanotecnología, así como el fortalecimiento y especialización de los existentes.

La creación de la Iniciativa NANOMEX conlleva múltiples ventajas, siendo la principal el trabajo coordinado entre las diversas instituciones y empresas participantes, lo cual permitirá optimizar el uso de las capacidades humanas y físicas existentes en México. Con esto, se podrán abordar áreas clave, con posibilidades de éxito, tanto en el ámbito académico como en el tecnológico, así como el desarrollo de proyectos y productos para el mercado nacional.

Los resultados esperados en los cinco años de realización del proyecto, son:

- Graduar alrededor de 150 doctores y 450 Maestros en Ciencias, egresados del posgrado de nivel internacional, con una matrícula estimada de 550 estudiantes de doctorado y 1,700 de maestría.
- Publicar alrededor de 1,000 artículos en revistas internacionales indizadas en cinco años (un promedio de 200 artículos por año).
- Obtener unos 200 títulos y/o registros de patente; siete diseños de equipo y proceso asociados a las plataformas tecnológicas detectadas en este proyecto; generar tres programas computacionales para la simulación de nanopartículas y nanoestructuras, y; crear una empresa para ofrecer soluciones de hardware y software en el diseño de materiales y moléculas.
- Celebrar al menos 15 convenios con instituciones de reconocido prestigio internacional, orientados al desarrollo de proyectos conjuntos y actividades de cooperación internacional relativas al tema.
- Pasar de 239 investigadores actuales de las instituciones participantes en la red, a más de 400.
- Establecer al menos dos patrones nacionales de medición para tamaño de partícula, dos procedimientos de calibración y dos métodos para la caracterización de nanomateriales.
- Crear nueva infraestructura de vanguardia en las diferentes instituciones que participan en la red (laboratorios, edificios, talleres).
- Obtener al menos 25 productos agrupados en cinco familias (tecnología fase líquida, tecnología de molienda, tecnología por alta temperatura, materiales a partir de nanoestructuras, y tecnología a partir de nanocompuestos) orientados a necesidades y aplicaciones del mercado industrial mexicano y de exportación, con ventas potenciales a partir del sexto año, de 100 a 150 millones de dólares anuales.
- Generar al menos cinco casos de nuevos negocios, a partir de los productos desarrollados por la Iniciativa Nacional en Nanotecnología.

- Generar 500 productos de divulgación y difusión científica y tecnológica, sobre el impacto social y económico de la nanotecnología (reportes, libros, cápsulas, programas de radio y televisión, etc.).

Con el desarrollo de este proyecto, se alcanzará un fuerte impacto en el ámbito científico, al incrementar notablemente las publicaciones y la investigación en temas de frontera del conocimiento, mediante la mejora en recursos y capacidades en infraestructura científico-tecnológica. En el ámbito económico su impacto es directo, al generar proyectos de inversión aplicados en actividades productivas de alto valor agregado, básicamente del sector industrial. En el ámbito social se obtendrán los beneficios derivados de un mayor nivel educativo alineado a la formación de recursos humanos a nivel de posgrado, en un área de trascendencia mundial, así como los relativos a la salud, vivienda, alimentación y medio ambiente.

Finalmente, el proyecto NANOMEX pretende enfocar, apoyar y consolidar la investigación de nanotecnología, permitiendo a cada institución participante ser autónoma pero, a la vez, participativa del mismo fin: crear tecnología de vanguardia para el desarrollo de México.

## Conclusiones

La nanotecnología se considera una nueva revolución industrial; sin embargo, una percepción errónea de esta tecnología podría impedir el desarrollo adecuado de esta disciplina. Su implementación tecnológica y su comercialización se verán limitadas, si no hay un marco legislativo e informativo que proporcione certeza a sus aplicaciones. Un ejemplo de lo anterior son los alimentos genéticamente modificados, que no han podido comprobar su inocuidad a largo plazo, lo que ha generado controversia y desconfianza entre el público en general. Se espera que la nanotecnología proporcione una mejor calidad de vida a la sociedad, debido a que proveerá nuevas soluciones a servicios básicos como agua, energía, servicios de salud, agricultura, alimentación y educación.

En México la nanotecnología se encuentra en un estado incipiente; sin embargo, los programas de educación e investigación en nanotecnología van en aumento, como lo demuestran las contribuciones de los investigadores y especialistas mexicanos consideradas de alto nivel, a pesar de que no hay un programa nacional que impulse y oriente los esfuerzos de los diversos grupos de investigación hacia las necesidades nacionales. Un factor que ha contribuido de manera importante en la creación de grupos de investigación en nanotecnología, son los convenios de cooperación internacional, principalmente con Estados Unidos y la Unión Europea.

Los investigadores líderes en México, coinciden en que es importante dar prioridad a investigaciones en nanotecnología, ya que de no hacerlo, se generaría un atraso tecnológico debido a que los investigadores mexicanos tendrían que depender de las investigaciones que se realizan en otros países. Lo anterior conlleva la necesidad de un impulso financiero significativo que garantice la continuidad y el futuro de proyectos importantes, así como un cambio de cultura científica para incorporar la nanotecnología como un nuevo campo multidisciplinario vinculado estrechamente con la sociedad

Es un hecho que México no puede sustraerse al debate sobre las implicaciones sociales, éticas, ambientales, médicas y legales que involucra el desarrollo de la nanotecnología. Por ello es importante implementar la regulación de tecnologías emergentes y la manufactura de productos nanotecnológicos en el país.

Es patente la necesidad de establecer un programa nacional de nanotecnología que estructure y organice la investigación, las aplicaciones, el financiamiento y la regulación en esta área, con la finalidad de evitar duplicidad de esfuerzos y de que se fomente el trabajo coordinado y sinérgico mediante proyectos multi-institucionales y multidisciplinarios, orientados a satisfacer las necesidades nacionales.

Finalmente, dada la multidisciplinariedad de esta nueva área del conocimiento, es importante dejar claro que no es posible desarrollar nanotecnología en forma aislada, y que es fundamental unir esfuerzos. La Universidad Autónoma de

Querétaro (UAQ) tiene la oportunidad de sumarse a una de las iniciativas que encabezan actualmente el CIMAV, el IPICYT o la UNAM.

México está a tiempo de aprovechar el auge actual de la nanotecnología a nivel mundial, puesto que cuenta con un buen número de investigadores con preparación en el tema, además de una infraestructura importante. Sin embargo, se requiere de un trabajo multidisciplinario y la unión de capacidades para crear sinergia, de acuerdo con el Dr. Humberto Terrones, investigador del IPICYT, quien está a favor de un posgrado nacional incluyente, cuyos recursos e infraestructura provengan de los centros de investigación e instituciones de educación superior con proyectos y programas en nanotecnología. La propuesta del Dr. Terrones gira en torno a una estrategia de investigación, con un fuerte vínculo industrial, y la solución de problemas con alto impacto social (consultar en **Anexo 7** una síntesis de la entrevista concedida por el Dr. Humberto Terrones, a los autores del presente trabajo).

La creación de un centro regional de nanotecnología autosustentable, a través de la solución de necesidades específicas regionales o nacionales, es un proyecto viable. El primer estado del país que avance en este sentido, contará con el apoyo de la comunidad científica, así como de recursos provenientes del Estado mexicano.

## Referencias bibliográficas

- [1] C. P. Poole; F. J. Owens. "Introduction to Nanotechnology", Wiley-Interscience, 2003.
- [2] Scientific American Authors. "Understanding Nanotechnology", Warner Books, 2002.
- [3] E. Drexler. "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation", New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [4] M. Krummenacker; J. Lewis. "Prospects in Nanotechnology: Toward Molecular Manufacturing", New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [5] National Science Foundation [http://www.nsf.gov/funding/research\\_edu\\_commu.a](http://www.nsf.gov/funding/research_edu_commu.a). Comisión Europea. *Third European Report on Science & Technology Indicators*. Bruselas, 2003: 393.
- [6] R. A. Freitas Jr. "*Nanomedicine*, Volume I: Basic Capabilities", Georgetown: Landes Bioscience, 1999.
- [7] Langdon Winner, en "Science Policy and the Push for Nanotechnology" (revista electrónica Netfuture145, [http://www.netfuture.org/2003/May2003\\_145.html](http://www.netfuture.org/2003/May2003_145.html)).
- [8] Cuadrado, T. R., 1996, "Ciencia y Mercado de Biomateriales, situación actual y perspectivas", *Materiales - Ciencia y Mercado*, 2:47-52.
- [9] T. Yamamuro, L.L. Hench and J. Wilson, CRC Handbook of Bioactive Ceramics. CRC Press, Boca Raton, FL, 1990.
- [10] Hall, J. S. (1999). Architectural Considerations for Self-replicating Manufacturing Systems. *Nanotechnology*, 10, 323-330. Retrieved July 24, 2003 from <http://www foresight.org/Conferences/MNT6/Papers/Hall/index.html>
- [11] Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., Lemons, J. E., (editores), 1996, *BioMaterials Science - An Introduction to Materials in Medicine*. Academic Press.
- [12] Von Recum, A.F., Laberge, M., 1995, "Educational Goals for BioMaterials Science and Engineering: Prospective View". *Journal of Applied BioMaterials*, 6:137-144.
- [13] M. Chasin and R. Langer; *Biodegradable Polymers as Drug Delivery Systems*. Drugs and the Pharmaceutical Sciences, 45. Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [14] S. V. Sreenivasan et. al., *Semiconductor Fabtech*, 25th edition, pp.107-113 (2005). b) Morrison, M. (2002). Breakthrough Compression Technology for the Semiconductor Industry - GDSII and MEBES Formats. *Solution Soft Systems Inc*. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.solution-soft.com/gdsmebes compressors.shtml>
- [15] Burch, R.; Cruise, N.; Gleeson, D.; Tsang, S.C. *Chem. Comun.* 1996, 951. a) Hartman, M.; Pöpl, A.; Kevan, L.; *J. phys. Chem.* 1995, 99, 9, 17494. b)
- [16] D. Williams (ed.), *Concise Encyclopedia of Medical and Dental Materials*. 1st.ed., Pergamon Press, Oxford, UK, 1990. a)
- [17] J. W. Boretos and M. Eden (eds.), *Contemporary Biomaterials - Materials and Host Response, Clinical Applications, New Technology and Legal Aspects*. Noyes Publ., Park Ridge, NJ, 1984
- [18] G. Heimke, *Osseo-Integrated Implants*. CRC Press, Boca Raton, FL, 1990. J.B. Park (ed.), *Biomaterials Science and Engineering*. Plenum Publ., N.Y. 1984.
- [19] Ipe Nanotube Primer. (2001). *Fabrication of single nanotube emitters*. Retrieved July 24, 2003 from [http://ipewww.epfl.ch/gr\\_buttet/Manips/Nanotubes/NTfieldemission3.htm](http://ipewww.epfl.ch/gr_buttet/Manips/Nanotubes/NTfieldemission3.htm)
- [20] Groening, O., Kuttel O. M., Emmenegger, C. H., Groening, P., & Schlapbach, G. L. (2003). *Field emission properties of nanocarbon structures*. Switzerland: University of Fribourg, Physics Department. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.fondazione-elba.org/28.htm>
- [21] B.O. Ratner, A.S. Hoffman, F.J. Schoen and J.E. Lemons (eds.), *Biomaterials Science - An Introduction to Materials in Medicine*. Academic Press, 1996.
- [22] M. Szycher (ed.), *High Performance Biomaterials - A comprehensive Guide to Medical and Pharmaceutical Applications*. Technomic, 1991.
- [23] S. Dumitriu (ed.), *Polymeric Biomaterials*. Marcel Dekker, Inc. 1994. C.W. Patrick, A.G. Mikos, L.V. McIntire, *Frontiers in Tissue Engineering*. Elsevier Science, New York, 1998.
- [24] Berry, C. C. Cutis, A. S. G. (2003) "*Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine*", *Journal of Physics* 36 R198.
- [25] Technology Platform on NanoMedicine: Nanotechnology for Health (2005) Vision Paper and Basis for a Strategic Research Agenda for NanoMedicine.
- [26] Moghimi, S. M.; Hunter, A. C.; Murray, J. C. (2005) "*Nanomedicine: current status and future prospects*". The FASEB Journal 19, 311. a) Optics.org. (2001). *Diamond LED Sparks Laser Hopes*. Retrieved July 24, 2003 from <http://optics.org/articles/news/7/6/15/1>
- [27] Sullivan, J. P. (2002). Amorphous Diamond for MEMS. *Paper presented at the American Physical Society, Indiana Convention Center*. Abstract retrieved July 25, 2003 from <http://www.eps.org/aps/meet/MAR02/baps/abs/S3280005.html>
- [28] Stephen Y. Chou Joseph C. Elgin Professor of Engineering, Professor of Electrical Engineering Ph.D. 1986, Massachusetts Institute of Technology. a) NIH Roadmap: Nanomedicine (2004), NIH, USA ([nihroadmap.nih.gov](http://nihroadmap.nih.gov), [www.ee.princeton.edu/people/Chou.php](http://www.capconcorp.com/roadmap04/http://www.ee.princeton.edu/people/Chou.php))
- [29] Cheng and L. J. Guo, *Microelectronic Eng.* vol. 71, pp. 277-282 (2004). a) Step and Flash Imprint Lithography Templates for the 32nm Node and Beyond Gerard Schmid, Ecron Thompson, Douglas Resnick, Deidre Olynick, Alexander Liddle, *MNE*, September 2006. b) Imprinting Technique Offers Low-Cost Photonic Crystal LEDs Robert Hershey. *Compound Semiconductor*, October 2006.
- [30] McCord, M. A.; M. J. Rooks (2000). "2", *SPIE Handbook of Microlithography, Micromachining and Microfabrication*.
- [31] Algor, Inc. (2003). *Professional MEMS Simulation*. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.algor.com/products/Profes1511/default.asp>
- [32] Min Feng, Y., Mark J. D., Skidmore, G. D., Henry W. R., Xue Kun, L., Ausman, K. D., Von Ehr, J. R., & Ruoff, R. S. (1998). 3 Dimensional Manipulation of Carbon Nanotubes under a Scanning Electron Microscope. *Draft paper for a talk at the Sixth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology*. November 12-15, Santa Clara, CA. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.zyvx.com/Research/Publications/papers/Foresight98.htm>
- [33] Oyabu, N., Custance, O., Yi, I., Sugawara, Y., & Morita, S. (2003). Mechanical vertical manipulation of selected single atoms by soft nanoindentation using a near contact atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.*, 90, 176102. Summary retrieved July 24, 2003 from <http://focus.aps.org/story/v11/st19>.
- [34] G. Meyer, K.H. Rieder, "Controlled manipulation of single atoms and small molecules with the scanning tunneling microscope," *Surf. Sci.* 377-9(1997):1087-1093.
- [35] Noriaki Oyabu, Oscar Custance, Insook Yi, Yasuhiro Sugawara, Seizo Morita, "Mechanical vertical manipulation of selected single atoms by soft nanoindentation using near contact atomic force microscopy," *Phys. Rev. Lett.* 90(2 May 2003):176102; <http://link.aps.org/abstract/PRL/v90/e176102>.
- [36] Dr. Marvin Minsky MIT Media Lab and MIT AI Lab Professor of Media Arts and Sciences, MIT Professor of E.E.C.S., M.I.T. Memoir on Inventing the Confocal Scanning Microscope," Published in *Scanning*, vol.10 pp128-138, 1988 <http://www.minsky.at.media.mit.edu> a) Dr. Calvin F. Quate. Leland T. Edwards Emeritus Professor in the School of .S. R.

- Manalis, S. C. Minne, and C. F. Quate, "Atomic force microscopy for http://www.ieee.org/web/aboutus/history\_center/biography/quate.html
- [ 37] Bottom-up approach is molecular beam epitaxy or MBE. Researchers at Bell Telephone Laboratories like John R. Arthur, Alfred Y. Cho, and Art C. Gossard ... peswiki.com/index.php/PowerPedia: Nanotechnology.
- [ 38] R.S. Becker, J.A. Golovchenko, B.S. Swartzentruber, "Atomic-scale surface modifications using a tunneling microscope," *Nature* 325(1987):419-421.
- [ 39] Hao, Jianjun; Palmieri, Frank; Stewart, Michael D.; Nishimura, Yukio; Chao, Huang-Lin; Collins, Austin; Willson, C. Grant. Octa(hydridotetramethylidisiloxanyl) silsesquioxane as a synthetic template for patternable dielectric materials. *Polymer Preprints (American Chemical Society, Division of Polymer Chemistry)* (2006), 47(2), 1158-1159.
- [ 40] S.N.Patankar and tang Ming yen, *ASME Journal of Engineering Materials and technology*, 123 (2001),144-147.
- [ 41] Whitesides, G. M. (2003) "The right size in nanobiotechnology" *Nature Biotechnology* 21, 1161.
- [ 42] <http://www.nanotechnology.northwestern.edu/>
- [ 43] <http://www.nanosphere.com/homePage.htm>
- [ 44] "Functionalisation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine", *Journal of Physics* 36 R198.
- [ 45] Tabata, Y. (2005) "Nanomaterials of drug delivery systems for tissue regeneration". *Methods in Molecular Biology* 300, 81.
- [ 46] H. Ohnishi, Y. Kondo and K. Takayanagi (1998). "Nature" 395: 780. V. Rodrigues, T. Fuhrer and D. Ugarte (2000). "Physical Review Letters" 85: 4124. K. Eric Drexler, "Molecular nanomachines: physical principles and implementation strategies," *Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct.* 23(1994):377-405.
- [ 47] E. T. Foley, A.F. Kam, J.W. Lyding, P.H. Avouris, "Cryogenic UHV-STM study of hydrogen and deuterium desorption from Si(100)," *Phys. Rev. Lett.* 80(1998):1336-1339.
- [ 48] Saw-Wai Hla, Karl-Heinz Rieder, "STM control of chemical reactions: single-molecule synthesis," *Annu. Rev. Phys. Chem.* 54(2003):307-330.
- [ 49] Wolfgang T. Muller, David L. Klein, Thomas Lee, John Clarke, Paul L. McEuen, Peter G. Schultz, "A strategy for the chemical synthesis of nanostructures," *Science* 268(14 April 1995):272-273.
- [ 50] Molecular Manipulation for Mechanosynthesis (Experimental Wilson Ho, Hyojune Lee, "Single bond formation and characterization with a scanning tunneling microscope," *Science* 286(26 November 1999):1719-1722: <http://www.physics.uci.edu/~wilsonho/stm-iets.html>
- [ 51] Silicon/Germanium Mechanosynthesis Tools (Experimental)
- [ 52] Ralph C. Merkle, "Molecular manufacturing: adding positional control to chemical synthesis," *Chem. Design Automation News* 8 (September-October 1993):1; <http://www.zyvex.com/nanotech/CDAarticle.html>. a) Merkle, R. C. (1997). A New Family of Six Degree of Freedom Positional Devices. *Nanotechnology*, 8 (2), 47-52. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.zyvex.com/nanotech/6dof.html>.
- [ 53] Mathieu JB, Martel S, Yahia L, Soulez G, Beaudoin G. MRI systems as a mean of propulsion for a microdevice in blood vessels. In: Proceedings of 25th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology. 2003 Sep 17e21, Cancun, Mexico; 2003. Also available from: <http://www.nano.polymtl.ca/Articles/2003/MRI%20Syst%20Mea n%20Prop%20Microdev%20Blood%20Vess%20proceedings %20P3419.pdf>.
- [ 54] Merkle, R. C. (1999). Casing an assembler. *Nanotechnology*, 10, 315-322. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.zyvex.com/nanotech/casing.html>. b) Merkle, R. C. (1997b). Binding sites for use in a simple assembler. *Nanotechnology*, 8(1), 23-28. Retrieved July 24, 2003 from <http://www.zyvex.com/nanotech/bindingSites.html>
- [ 55] Ralph C. Merkle, "Molecular manufacturing: adding positional control to chemical synthesis," *Chem. Design Automation News* 8(September-October 1993):1;<http://www.zyvex.com/nanotech/CDAarticle.html>. a) Fedor N. Dzegilenko, Deepak Srivastava, Subhash Saini, "Simulations of carbon nanotube tip assisted mechano-chemical reactions on a diamond surface," *Nanotechnology* 9 (December 1998):325-330
- [ 56] Waldron M. A. *Journal of nanoparticles research* (2006), 8: 569-575
- [ 57] Rocco M.C. (2003a) Broader societal issues of nanotechnology *J. Nanoparticle Res.* 5 (3-4), 181-189. Rocco M.C. (2003b) Public affairs forum- national nanotechnology initiative to advance broad societal goals. *MRS Bull.* 28(6), 416-417.
- [ 58] Mehta M.D. (2004), from biotechnology to nanotechnology what can we learn from earlier technologies. *Bull. Sci. Technol, SOC.* 24(1), 34-39. a) PARDO, Mercedes La Evaluación del Impacto Ambiental y social para el siglo XXI. Teorías, Procesos, Metodologías. Madrid, Editorial Fundamentos, 2002
- [ 59] Nanotechnology <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>.
- [ 60] ESF 2005 ESF forward look on Nanomedicina, European Science Foundation Policy Briefings. <http://www.ESF.org/newrelease/83/SPB23> Nanomedicine.pdf. [http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology\\_education](http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology_education) College, University, and General Nanoscale Science, Technology and Engineering Programs <http://www.nanotech-now.com/academic.htm>.and [www.cla.sc.edu/cpecs/nirt/papers.html](http://www.cla.sc.edu/cpecs/nirt/papers.html).
- [ 61] Rocco, M. C. National Nanotechnology Initiative – Past, Present, Future; Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology; 2nd edition, Taylor and Francis, 2007 (Preprint)
- [ 62] The Ethics of Nanotechnology - Center for Responsible Technology, <http://crnano.org>
- [ 63] The Ethics of nanotechnology - Foresight Institute, <http://www.foresight.org/>
- [ 64] The Ethics of nanotechnology – Nanotechnology Now, [http://www.nanotech-now.com/nano\\_intro.htm](http://www.nanotech-now.com/nano_intro.htm)
- [ 65] Hunt, G., Mentra, M.: *Nanotechnology: Risk, Ethics and Law*; London; 2006
- [ 66] Poy, Laura: "México, con científicos de alto nivel en nanotecnología, pese a falta de impulso", *La Jornada*, 18 de agosto de 2005, <http://www.jornada.unam.mx/2005/08/18/a02n1cie.php>
- [ 67] Delgado Ramos, G. C.: "Nanotecnología, paradigma tecnológico de vanguardia" en *Contribuciones a la Economía*, febrero 2007, <http://www.eumed.net/ce/>
- [ 68] Delgado Ramos, Gian Carlo: "Nanotecnología: Avances y retos"; *Revista Ciencia y Desarrollo CONACYT*; Abril 2007; <http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Revista/Index.html>
- [ 69] Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia, The United States-Mexico Foundation for Science; <http://www.fumec.org.mx/espanol/programas/especiales/nanociencia.html>
- [ 70] CONACYT; Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología en México; 2004
- [ 71] IV Reunión de Nanociencias y Nanotecnología. Hacia un programa nacional. [http://www.smf.mx/boletin/2005/Abr-05/Resena\\_de\\_actividades-RNN.html](http://www.smf.mx/boletin/2005/Abr-05/Resena_de_actividades-RNN.html)
- [ 72] IV Reunión de Nanociencias y Nanotecnología. Hacia un programa nacional; Programa Nacional de Nanociencia y Nanotecnología Para Desarrollar Nuevas Bases Tecnológicas; Sep. 2002; <http://materials.ipicyt.edu.mx/nano2005/antecedentes/index.html>
- [ 73] Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología, RED INN; <http://www.viep.buap.mx/redinn.htm>
- [ 74] Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología, REGINA; <http://www.nano.unam.mx/>
- [ 75] Sociedad Mexicana de Física; <http://www.smf.mx/>

- [ 76] División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) de la Sociedad Mexicana de Física (SMF); <http://www.smf.mx/dinano/DINANO.php>
- [ 77] CONACYT; Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, INAOE, Anuario 2003.
- [ 78] CONACYT; Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, INAOE, Anuario 2005
- [ 79] CONACYT; Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV, Anuario 2004.
- [ 80] CONACYT; Capítulo IV; 2006
- [ 81] Cruz de Jesús, Raúl; "Mexicano mejora el trabajo de un Nobel en nanotecnología"; La Crónica de Hoy; 10 de octubre de 2005; [http://www.cronica.com.mx/nota.php?id\\_nota=206421](http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_nota=206421)
- [ 82] CONACYT, "INAOE y Motorola trabajarán para establecer el laboratorio nacional de nanotecnología", Comunicado de Prensa 02/04, 21 de enero de 2004; <http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Comunicados/02-04.html>
- [ 83] Galán, José; "Llaman a impulsar en México la micro y nanotecnología"; 13 de febrero de 2005; <http://www.jornada.unam.mx/2005/08/18/a02n1cie.php>
- [ 84] Valdiosera, Cuauhtémoc, "Ingeniería molecular: la transformación del espacio interior", La Jornada, 23 de febrero de 2006, <http://www.jornada.unam.mx/2005/02/23/033altec.php>
- [ 85] Mireles Lenia, "Se Crea el Laboratorio Nacional de Nanotecnología", Heraldo de Chihuahua, 25 de enero de 2007
- [ 86] Centro de Ciencias de la Materia Condensada, CCMC-UNAM; <http://www.ccmc.unam.mx/>
- [ 87] Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C., IPICYT; <http://www.ipicyt.edu.mx>
- [ 88] Centro de Investigación en Química Aplicada, CIQA; <http://www.ciqa.mx/index0.php>
- [ 89] Instituto de Física, UNAM; <http://www.fisica.unam.mx/>
- [ 90] Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ; <http://www.inin.mx>
- [ 91] Instituto Mexicano del Petróleo, IMP; <http://www.imp.mx/>
- [ 92] Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, CFATA-UNAM; <http://www.fata.unam.mx/>
- [ 93] Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, INAOE;: <http://www.inaoep.mx/>
- [ 94] Departamento de Química, UAM Iztaapalapa División de Ciencias Básicas e Ingeniería; <http://quimica.izt.uam.mx/>
- [ 95] Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados, CINMA (Universidad Veracruzana); [http://148.207.1.2/Cooperacion/Convocatorias/UT-AUSTIN/2005/UT-AUSTIN\\_ConvocatoriaCerrada2005.html](http://148.207.1.2/Cooperacion/Convocatorias/UT-AUSTIN/2005/UT-AUSTIN_ConvocatoriaCerrada2005.html)
- [ 96] Instituto de Física, BUAP; <http://www.ifuap.buap.mx/>
- [ 97] Centros de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV; <http://www.cinvestav.mx/info/>
- [ 98] Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-IPN; <http://www.cicata.ipn.mx>
- [ 99] Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV; <http://www.cimav.edu.mx/>
- [ 100] División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) de la Sociedad Mexicana de Física (SMF); <http://www.smf.mx/dinano/DINANO.php>
- [ 101] Convocatoria megaproyectos CONACYT 2006. <http://www.conacyt.mx/Fondos/institucional/megaproyectos/resultados-convocatoria-megaproyectos-2006.pdf>
- [ 102] 2007 Enciclopedia Británica, <http://www.britannica.com>
- [ 103] Estadísticas de Educación, <http://www.inegi.gob.mx/est>
- [ 104] Alumnos IPICYT, <http://www.ipicyt.edu.mx/Divisiones/Materiales/PosgradoMateriales/AlumnosDD.htm>
- [ 105] CIDETEQ Anuario 2004, <http://www.cicese.mx/conacyt/anuario/pdf/cideteq.pdf>
- [ 106] Centros CONACYT, Dirección Regional Bajío, [http://conacyt.ciateq.mx/index/hmta\\_02](http://conacyt.ciateq.mx/index/hmta_02)
- [ 107] Ion Stharu, "Micro and nano systems- the state of the art, present trends and future perspectives", 3er Congreso Internacional de Ingeniería. UAQ, abril del 2007.
- [ 108] Mireles Lenia, "Se Crea el Laboratorio Nacional de Nanotecnología", Heraldo de Chihuahua, 25 de enero del 2007.
- [ 109] Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada, "Universidad Autónoma de Cd. Juárez", [www.uacj.mx/MEMS/default.htm](http://www.uacj.mx/MEMS/default.htm).
- [ 110] Nanotechnology... <http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology>
- [ 111] Nanotechnology Education ["http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology\\_education"](http://en.wikipedia.org/wiki/Nanotechnology_education)

## Anexo 1 Educación de la nanotecnología en el mundo

Actualmente hay más de 800 programas académicos y laboratorios de nanotecnología registrados en el mundo <sup>110,111</sup>. Algunas de las áreas de especialización son:

<b>Micro y nanoinstrumentos</b>	Diseño de instrumentos miniatura para su uso en química, bioquímica, medicina clínica, detección de agentes bioquímicos o análisis ambiental.
<b>Nanoelectrónica</b>	Diseño de sistemas y materiales para mejorar circuitos o microprocesadores de alto desempeño, materiales plásticos para tarjetas inteligentes y computadoras.
<b>Nano-biosistemas</b>	Procesos de diseño y miniaturización de dispositivos para la medición y manipulación de fragmentos de ADN, péptidos, proteínas o células.
<b>Materiales nano-ingenierizados</b>	Diseño avanzado de materiales como nano-cristales o nano-polvos para su uso en electrónica y fotónica, catalizadores en automóviles, industria farmacéutica y alimenticia, membranas para celdas de combustible, etc.
<b>Nano-manufactura o nano-fabricación</b>	Desarrollo de técnicas para la manipulación atómica o molecular de la materia como nanolitografía, nanolitografía de punta húmeda, litografía de rayo de electrones, litografía de nanoimpresión. Los primeros aparatos que detonaron el desarrollo de la nanotecnología fueron el microscopio de fuerza atómica (AFP) y el microscopio de barrido tunelado (STM).

Un programa de nanotecnología requiere de equipo altamente especializado y una sólida formación de recursos humanos en áreas de matemáticas, biología, química, ciencia de materiales y física cuántica. Buscando dar una muestra de la calidad e importancia que tienen los estudios sobre nanotecnología, a continuación se presentan algunos de los programas que, sobre este tema, se ofrecen a nivel mundial.

País	Universidad	Licenciatura	Maestría	Doctorado
Dinamarca	Universidad de Aalborg	✓	✓	✓
	Universidad de Aarhus	✓	✓	✓
	Universidad de Copenhague	✓	✓	✓
	Universidad técnica de Dinamarca	✓	✓	✓
Italia	Universidad de Venecia	-----	✓	✓
Francia	Universite de Rouen	-----	✓	✓
Holanda	Universidad de Leiden	-----	✓	-----
	Universidad de Tecnología de Delft	-----	-----	✓
Alemania	Universidad de Würzburg	✓	✓	✓
	Universidad de Munich de Ciencias Aplicadas	-----	✓	-----
	Universidad de Saarland	-----	-----	-----
Noruega	Universidad de Ciencia y Tecnología	-----	✓	-----
Suecia	Universidad de Luna	-----	✓	✓
	Universidad de Tecnológica de Chalmers	-----	✓	✓
Inglaterra	Universidad de Sussex	✓	-----	-----
	Universidad de Leeds	✓	✓	-----
	Universidad de Cambridge	-----	✓	✓
	Universidad de Cranfield	-----	✓	✓
	Colegio Imperial de Londres	-----	✓	-----
	Universidad de Oxford	-----	✓	-----

Estados Unidos	Universidad de Rice-Maestría y Doctorado	-----	✓	✓
	Universidad de Albany	-----	✓	✓
	Universidad del estado de Nueva York	-----	✓	✓
	Colegio Técnico de Dakota County-Grado asociado	-----	-----	-----
	Colegio Técnico de Chipewa Valley-Grado asociado	-----	-----	-----
	Universidad Central de Florida- Licenciatura en Nanociencia y Nanotecnología	✓		
	Colegio de Ciencias del Estado de Dakota del Norte-Grado asociado	-----	-----	-----
	Universidad del estado de Oklahoma Okmulgee-Asociado de tecnología	-----	-----	-----
Australia	Universidad de Alberta-Licenciatura en Ingeniería física con Nanoingeniería	✓	-----	-----
	Universidad de Toronto-Licenciatura en Ciencias de Ingeniería con Nanoingeniería	✓	-----	-----
	Universidad de Waterloo-Licenciatura en Ingeniería de Nanotecnología	✓	-----	-----
India	Universidad de Punjab Chandigarh-Maestría técnica en Nanociencia y Nanotecnología	-----	✓	-----
	Universidad de Madras-Maestría en Ciencia, Maestría técnica dual, grado en Nanociencia y Nanotecnología	-----	✓	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Madras	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Kapur	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Bombay	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Kharagpur	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Dheli	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Tecnología Guwahati	-----	-----	-----
	Instituto Hindú de Ciencias	-----	✓	✓
	Universidad de Jadvapur Kolkata-Maestrías y Doctorados	-----	✓	✓
	Universidad de Amity Noida-Licenciatura y Maestría integrada, Doctorado	✓	✓	✓
	Instituto de Tecnología Vellore Tamilnadu	-----	✓	-----
Singapur	Universidad Nacional de Singapur-Licenciatura en Ciencias de Ingeniería con Nanociencia y Nanotecnología opcional	✓	-----	-----

## **Anexo 2** Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología, INN

En este anexo se describe la infraestructura de la RED INN, que promueve programas de investigación en nanotecnología. (Fuente: <http://www.viep.buap.mx/redinn.htm>, abril de 2007.)

### **Antecedentes**

La Red Internacional de Nanociencia y Nanotecnología (RED INN), está conformada por grupos de investigación de diferentes instituciones internacionales interesadas en la investigación, desarrollo y aplicación de materiales nanoestructurados. La estrategia de la RED INN está basada en su motivación, misión y visión.

### **Motivación**

El desarrollo tecnológico actual, que se basa en nanociencia y nanotecnología, se lleva a cabo de manera óptima con grupos consolidados de investigación que interactúan entre sí, logrando la creación de nuevos materiales que brinden un mayor rendimiento y efectividad al momento de su aplicación en áreas como medio ambiente, salud y energía.

### **Misión**

Generar, transmitir y aplicar el conocimiento científico y tecnológico en nanociencia y nanotecnología. Facilitar el acceso a la infraestructura existente de las instituciones participantes. Generar la formación de recursos humanos especializados en estas áreas.

### **Visión**

Que los grupos que integren la RED INN sean líderes en investigación y desarrollo en el área de Nanociencia y Nanotecnología, para conformar una red con presencia y prestigio internacional que permita diseñar y desarrollar prototipos con aplicación a nivel industrial en el área.

### **Líneas de investigación**

Las líneas de investigación de la RED INN se clasifican de la siguiente manera:

- Síntesis de nanopartículas metálicas y bimetálicas.
- Síntesis de nanobiomateriales.
- Nanomateriales para catálisis, fotocatalisis.
- Nanosensores ópticos y nanosensores de radiación.
- Crecimiento de películas delgadas, cristales y cuasicristales.
- Polímeros.
- Simulación molecular.

### **Objetivos de la Red**

- Propiciar el intercambio de experiencias entre los diferentes investigadores que conforman la Red, con la finalidad de estimular, promover y desarrollar proyectos multinacionales, interinstitucionales e interdisciplinarios.
- Impulsar proyectos conjuntos de investigación en el área de Nanociencia y Nanotecnología.
- Fomentar la formación de recursos humanos en el área.
- Promover y apoyar la divulgación de resultados obtenidos de Nanociencia y Nanotecnología.

### Objetivos de la investigación

- Diseño de nuevos nanomateriales con propiedades catalíticas, fotocatalíticas, ópticas, dosimétricas, magnéticas y eléctricas, que permitan el desarrollo de innovaciones tecnológicas.
- Obtención de materiales nanoestructurados por diferentes métodos de síntesis, para la eliminación de contaminantes.
- Síntesis de nanomateriales para biotecnología.
- Estudios teóricos por simulación molecular de nanoestructuras.

### Investigadores

A abril del 2007, los investigadores miembros de la RED INN son:

Institución	Investigador	Correo electrónico
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (CUV)	Ventura Rodríguez Lugo	lugo.ventura@cuv.buap.mx
	Sonia Recillas Gispert	sonia.recillas@cuv.buap.mx
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (VIEP)	Pedro Hugo Hernández Tejeda	pedro@sirio.ifuap.buap.mx
	Salvador Viquez Cano	salvador.viquez@viep.buap.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	Claudia Elizabeth Gutiérrez Wing	cegw@yahoo.com
	Demetrio Mendoza Anaya	dma@nuclear.inin.mx
	Gilberto Mondragón Galicia	gimg@nuclear.inin.mx
	María Eufemia Fernández García	mefg@nuclear.inin.mx
	Manuel Eduardo Espinosa Pesqueira	meep@nuclear.inin.mx
	Raúl Pérez Hernández	pehr@nuclear.inin.mx
	Mario Pérez Álvarez	mpa@nuclear.inin.mx
	Luis González Tovany	lgt@nuclear.inin.mx
Instituto de Física, UNAM	Jesús Ángel Arenas Alatorre	jarenas@fisica.unam.mx
	José Reyes Gasca	jreyes@fisica.unam.mx
	Octavio Novaro Peñalosa	novaro@fisica.unam.mx
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA-UNAM)	Efraín Rubio Rosas	efrainrubio@yahoo.com
	Víctor Manuel Castaño Meneses	castano@fata.unam.mx
CINVESTAV-Mérida	Daniel Aguilar	daguilar@mda.cinvestav.mx
	Patricia Quintana Owen	pquint@kin.mda.cinvestav.mx
	Gerko Oskam	oskam@mda.cinvestav.mx
	Juan José Alvarado Gil	jjag09@yahoo.com
CINVESTAV- Zacatenco	Arturo Ortega	arortega@mail.cinvestav.mx
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Iztapalapa	Tessy María López Goerne	tesy@xanum.uam.mx
	Michel Picquart	mp@xanum.uam.mx
	Martha Gisela Aguirre Gil	gisela_aguirre@hotmail.com
	Liliana Marisol Moreno Vargas	lilithe_lv@yahoo.com.mx
	Mayra Angélica Álvarez Lemus	Mayra_great@hotmail.com
	Javier Barrios	jbg@xanum.uam.mx
	Javier Velásquez Moctezuma	jvm@xanum.uam.mx
	Gerardo Muñoz	gmh@xanum.uam.mx
	Maximiliano Asomoza	mjap@xanum.uam.mx
	Armando Vázquez	avz@xanum.uam.mx
Roberto Alexander Katz	rakk@xanum.uam.mx	
SEPI-ESIME, Instituto Politécnico Nacional (IPN)	Alexander Balankin	abalankin@sin.conacyt.mx

Istanbul Technical University	Gültekin Göll	goller@itu.edu.tr
Universidad Iberoamericana, Santa Fe	Rodolfo Fabián Estrada Guerrero	rodolfo.estrada@uia.mx
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía	Carlos Raúl Castillo Montoya	
	Joaquín Manjarrez Marmolejo	joaquinmanjarrez@hotmail.com
	Mario Arturo Alonso Vanegas	alonsomario@hotmail.com
	Juana Villeda	Villeda_2606@yahoo.com.mx
	Laura Osorio Rico	lau_rico@yahoo.com
University of Texas at Austin	Miguel José Yacaman	yacaman@che.utexas.edu
Institut für Neue Materialien, Alemania	Michel Aegerter	aegerter@inm.gmbh.de
Instituto Superior Técnico de Portugal	Laura Ilharco	Pcd951@alfa.ist.utl.pt
Universidad de Chile	Raúl Quijada	raquijad@ing.uchile.cl
Universidad de Parma, Italia	Daniilo Bersani	Daniilo.bersani@fis.unipr.it
	Pier Paolo Lottici	Pierpaolo.lottici@fis.unipr.it
Universidad Pablo de Olavide, España	Juan Antonio Anta Montalvo	jaantmon@dex.upo.es
Johns Hopkins University, Estados Unidos	Gerard J. Meyer	meyer@jhu.edu
	Peter C. Searson	searson@jhu.edu

### Instituciones participantes

A la Red INN la conforman investigadores de las siguientes universidades e institutos:

Universidad Autónoma Metropolitana	(México)
Instituto Mexicano del Petróleo	(México)
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	(México)
Universidad Iberoamericana	(México)
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	(México)
Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía	(México)
Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados	(México)
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN	(México)
Universidad de California	(Estados Unidos)
Universidad de Texas	(Estados Unidos)
Universidad de Chile	(Chile)
Universidad de Concepción	(Chile)
Universidad de Parma	(Italia)
Instituto Superior Técnico	(Portugal)
Institut für Neue Materialien	(Alemania)
Universidad Técnica de Estambul	(Turquía)
Universidad Pablo de Olavide	(España)

Para mayor información contactar a:

*Dr. Ventura Rodríguez Lugo*  
lugo.ventura@cuv.buap.mx  
*Dra. Tessa María López Goerne*  
tesy@xanum.uam.mx  
*Dr. Manuel E. Espinosa Pesqueira*  
meep@nuclear.inin.mx

En este anexo se describe la infraestructura de la red de centros de la UNAM con programas de investigación en nanotecnología. (Fuente: <http://www.nano.unam.mx/>, a abril de 2007.)

### Antecedentes

En la UNAM hay diversos grupos de investigación en las áreas de nanociencia y nanotecnología. Estos grupos de investigación se han organizado para configurar la Red de Grupos de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología. El 29 de abril del año 2004, se realizó la primera reunión de investigadores y directivos de Institutos y Centros de Investigación, en donde se acordó extender la red para todos aquellos grupos de la UNAM interesados en formar parte de REGINA-UNAM.

### Objetivos

Los objetivos de REGINA son:

- Promover la colaboración entre grupos de investigación de la UNAM en el tema de Nanociencia, con el fin de generar proyectos interdisciplinarios y optimizar el uso de equipo experimental y sistemas de cómputo.
- Organizar eventos académicos (coloquios, conferencias, seminarios, cursos, etc.) en el tema de Nanociencia, de manera coordinada, tomando en cuenta los intereses de los grupos de investigación participantes.
- Realizar la difusión del trabajo de investigación, de manera organizada.
- Representar a la UNAM en redes equivalentes, a nivel nacional e internacional.

### Áreas de investigación

Actualmente, REGINA cubre cuatro áreas básicas de investigación:

- Síntesis.
- Caracterización.
- Modelado.
- Aplicaciones.

### Investigadores

Los investigadores, así como los temas de investigación de REGINA, son:

Área de investigación	Investigador
Síntesis y caracterización	David Díaz
	Gabriela Díaz
	Alejandro Crespo Sosa
	Alicia Oliver
Teoría y simulación	Cecilia Noguez
	Jorge Alejandro Reyes Esqueda
	Ignacio L. Garzón Sada
	Raúl Esquivel Sirvent
	Denis Boyer

### Infraestructura

La infraestructura de REGINA está conformada por el siguiente equipo:

Equipo	Descripción				
Acelerador Peletrón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acelerador electrostático tipo tándem con 3 MV en la terminal.</li> <li>• Dos fuentes de iones: una para gases y otra para sólidos.</li> <li>• Se pueden acelerar una gran cantidad de iones, con energías entre 2 y 30 MeV dependiendo del tipo de ion y de su carga.</li> <li>• Se cuentan con detectores de partículas de barrera superficial para identificar partículas de diferentes energías y detectores Si(Li) y de Ge hiperpuro para la ubicar fotones, en una amplia región de energías.</li> </ul>				
Microscopios electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JEM-2010F FASTEM</li> <li>• JEM-4000 EX</li> <li>• JEM-100 CX</li> <li>• JSM 5600-LV</li> <li>• JSM 5200 CX</li> </ul>				
Microscopio de Fuerza Atómica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JSPM-4210</li> <li>• Laboratorio de Nanopartículas Catalíticas</li> <li>• Espectrofotómetro FTIR</li> <li>• Espectrómetro de Masas</li> <li>• Equipo de Dispersión de Rayos X a Bajo Ángulo (SAXS)</li> <li>• Sistema multitareas para caracterización integral de catalizadores</li> <li>• Cromatógrafos de gases.</li> <li>• Sistemas dinámicos para evaluación de propiedades catalíticas.</li> </ul>				
Laboratorios de apoyo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación de muestras</li> <li>• Simulación y procesamiento de imágenes</li> <li>• Fotografía</li> </ul>				
Cluster de Alphas	<p>4 máquinas Alpha Microway con procesador dual cada una con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Microway UP2000+ Dual Alpha 667 MHz/21264-EV67</li> <li>• 4 MB Cache por CPU</li> <li>• Full Tower (6 Bays) 600Watt Power Supply</li> <li>• 256 SDRAM (4 ea. 8x72-100MHz DIMMs)</li> <li>• Controlador Ultra2 SCSI (AIC7891)</li> <li>• Disco Duro de 10 GB Ultra2 Wide SCSI 10,000 RPM</li> <li>• Fast Ethernet PCI-RJ45</li> <li>• 8 MB PCI Video Card</li> <li>• 2 GB de memoria RAM</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">TOTAL:</td> <td style="width: 35%;">8 Procesadores Alpha EV67 a 667 Mhz</td> <td style="width: 15%;">8Gb RAM</td> <td style="width: 10%;">40Gb HD</td> </tr> </table>	TOTAL:	8 Procesadores Alpha EV67 a 667 Mhz	8Gb RAM	40Gb HD
TOTAL:	8 Procesadores Alpha EV67 a 667 Mhz	8Gb RAM	40Gb HD		
Esquema de interconexión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Ethernet con Switch 3Com SuperStack II (100Mbs)</li> <li>• Fast Ethernet para la conexión a la red exterior</li> </ul>				
Cluster de computadoras personales	<p>16 máquinas SMP Atipa cada una con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Procesadores Intel Pentium III (Coppermine) a 600 Mhz</li> <li>• Cache de 256 Kb</li> <li>• 128 MB en memoria RAM</li> <li>• Disco Duro de 10 GB Ultra2 Wide SCSI 10,000 RPM</li> <li>• Fast Ethernet PCI-RJ45</li> <li>• 8 MB PCI Video Card</li> </ul> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">TOTAL:</td> <td style="width: 35%;">32 Procesadores Pentium III a 600 Mhz</td> <td style="width: 15%;">2GB RAM</td> <td style="width: 10%;">0.16 TB HD</td> </tr> </table>	TOTAL:	32 Procesadores Pentium III a 600 Mhz	2GB RAM	0.16 TB HD
TOTAL:	32 Procesadores Pentium III a 600 Mhz	2GB RAM	0.16 TB HD		
Esquema de interconexión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Ethernet con Switch 3Com SuperStack II (100Mbs)</li> <li>• Fast Ethernet para la conexión a la red exterior</li> <li>• Switch Raritan para interconexión de video e I/O</li> </ul>				

Para mayor información referente a REGINA, se puede consultar a:

*Cecilia Noguez*

Instituto de Física, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria. 04510 México, D. F.  
 nano@fisica.unam.mx / Tel 56225106, Fax 56161535

En este anexo se describe la infraestructura tecnológica y científica de los siguientes centros de investigación e instituciones de educación superior con programas relevantes en nanotecnología. (Fuente: datos de páginas electrónicas de las instituciones, disponibles en Internet a junio de 2007):

Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC-UNAM)

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C. (IPICYT)

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

Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)

Instituto de Física, UNAM

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)

Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA-UNAM)

Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica (INAOE)

Departamento de Química, UAM- Iztapalapa

Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados (CINMA)

Instituto de Física de la BUAP

Centros de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV)

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN)

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA-V)

División de Nanociencia y Nanotecnología, DINANO, de la Sociedad Mexicana de Física (SMF)

Instituto Tecnológico de Tijuana

## Centro de Ciencias de la Materia Condensada, CCMC-UNAM

<http://www.ccmc.unam.mx/>

Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Apdo. Postal, 2681, CP. 22800, Ensenada, B. C. México.

Tel: 01 (646) 174 46 02, 01 (55) 56 22 61 53; Fax: 01 (646) 174 46 03

### Antecedentes

El Centro de Ciencias de la Materia Condensada, Laboratorio de Ensenada, se encuentra localizado en esta ciudad bajacaliforniana y fue anteriormente una sub-dependencia del Instituto de Física de la UNAM. El antiguo Laboratorio inició sus actividades académicas el 20 de agosto de 1981. El actual Centro fue creado el 2 de diciembre de 1997, y sus actividades principales están dirigidas a la investigación teórica y experimental en Física de Materiales, y a la formación de recursos humanos.

### Objetivo

Hacer investigación científica del más alto nivel, tanto teórica como experimental, básica y orientada a la aplicación tecnológica, en temas de frontera en el campo de la materia condensada, que contribuya al desarrollo regional y nacional.

### Investigación y posgrado

El Centro ofrece posgrados en Física de materiales, Ciencias Físicas, e Ingeniería de Materiales, con las siguientes líneas de investigación:

- -Física teórica
- -Físicoquímica
- -Propiedades ópticas
- -Nanoestructuras
- -Catálisis

### Nanoestructuras

Algunos de los temas de investigación del Departamento de Nanoestructuras son: caracterización estructural de partículas pequeñas con propiedades catalíticas; defectos en partículas pequeñas; materiales superconductores y semiconductores, y; aleaciones metálicas.

### Investigadores

Investigador	Correo electrónico
Dr. Miguel Ávalos Borja	miguel@ccmc.unam.mx
Dr. Gabriel I. Canto Santana	gcanto@ccmc.unam.mx
Dr. Oscar E. Contreras López	edel@ccmc.unam.mx
Dr. Manuel Herrera Zaldivar	zaldivar@ccmc.unam.mx
Dr. Leonardo Morales de la Garza	leonardo@ccmc.unam.mx
Dra. Ma. Guadalupe Moreno Armenta	moreno@ccmc.unam.mx
Dr. José Valenzuela Benavides	valenzue@ccmc.unam.mx
Dr. Noboru Takeuchi Tan	takeuchi@ccmc.unam.mx

## Infraestructura

- Microscopio Electrónico de Transmisión (TEM) JEOL 2010, equipado con Espectrómetro de Pérdidas de Energía EELS, (mod. Gatan, 666).
- Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) JEOL-5300, equipado con las técnicas de EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) para análisis cualitativo y semicuantitativos de la composición en una muestra.
- Microscopio de Efecto Túnel (STM) para electroquímica in situ, en aire y ultra alto vacío.
- Sistema de Ultra Alto Vacío con técnicas de LEED, AES, STM, RGA.
- Difractómetro de Rayos X (Philips X'PERT).
- Laboratorio de preparación de muestras: pulido, erosión iónica, etc.
- Laboratorio de fotografía.
- Estaciones de trabajo ALPHA-DEC y ALPHA-Aspen.
- Seis computadoras PC con sistema operativo LINUX.
- Software para cálculos ab-initio: CPMD, SIESTA, AB-INIT, PWSCF y WIEN97.
- Ultramicrotron marca Boecker, equipado con cuchillas de vidrio y soportado en mesa neumática antivibratoria.

## Proyectos vigentes

Actualmente se desarrollan varias líneas de investigación, algunas en colaboración con otros departamentos e instituciones nacionales y extranjeras. Se tiene financiamiento a través de proyectos del CONACYT y de la UNAM.

- Estudios de las propiedades electrónicas y estructurales de semiconductores (Si, Ge): efectos de la adsorción de metales y moléculas orgánicas usando métodos de cálculo de primeros principios y semi-empíricos.
- Estudios de las propiedades electrónicas y estructurales de materiales luminiscentes: caracterización por microscopía electrónica de alta resolución con el objeto de encontrar los mecanismos de crecimiento que ayuden a mejorar su eficiencia luminiscente (nitruros: AlN, GaN, InN) para su uso en diodos láser y diodos emisores de luz.
- Estudios de la estructura y los mecanismos de adsorción de halógenos sobre superficies metálicas: estudios para entender el proceso de adsorción y las estructuras atómicas que forman los halógenos y metales sobre superficies cristalinas metálicas, tanto en ultra alto vacío, como en la interfase sólido/líquido en ambientes electroquímicos.
- Desarrollo de posicionadores y manipuladores con resolución nanométrica utilizando cerámicas piezoeléctricas: dispositivos mecánicos de movimientos ultra-finos para posicionar, modificar y manipular nano y microestructuras.
- Estudios de carburos y fosfuros de interés catalítico.
- Mecanismos de formación de nanofilamentos de carbón y su importancia en la reacción de combustión del metano.

## Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C., IPICyT

http://www.ipicyt.edu.mx  
Camino a la Presa San José No. 2055. Col. Lomas 4ª. Sección; San Luis Potosí, S. L. P.  
Tel. (444) 834 2000; Fax (444) 834 2010

### Antecedentes

El IPICyT fue fundado el 24 de noviembre del año 2000. Es actualmente un Centro Público de investigación del Sistema CONACyT y representa un esfuerzo importante en pro de la descentralización de las actividades científicas y tecnológicas en el país. El IPICyT cuenta con grupos de investigación de alta calidad, que además de generar conocimientos de frontera y formar recursos humanos a nivel licenciatura y posgrado, interacciona con los diversos sectores de la sociedad para apoyar la consolidación del San Luis Potosí del siglo XXI. Las áreas de interés científico y tecnológico del Instituto, son:

- Matemáticas aplicadas.
- Biología molecular.
- Geociencias aplicadas.
- Ciencias ambientales.
- Materiales avanzados.

### Posgrado

Los programas de Posgrado tienen como propósito fundamental la formación de recursos humanos a nivel de maestría y doctorado, que contribuyan al desarrollo de la nación a través de la investigación científica y la innovación tecnológica, en un ambiente de excelencia académica y trabajo multi e interdisciplinario. Los programas de posgrado son:

- Nanociencias y nanotecnología.
- Ciencias ambientales.
- Biología molecular.
- Control y sistemas dinámicos.

En el programa de Nanociencias y Nanotecnología, los estudios se centran en las siguientes áreas de investigación:

- Estructura atómica de materiales complejos.
- Nuevos materiales nanoestructurados.
- Propiedades magnéticas de nuevos materiales nanoestructurados.

### Red de Investigadores en Materiales Avanzados

En la División de Materiales Avanzados, se realizan investigaciones teóricas y experimentales de nuevos materiales, principalmente nanoestructurados, con el objetivo de entender sus propiedades mecánicas, electrónicas y magnéticas, y con esta información aplicarlos en tecnologías novedosas. El trabajo en la División está conformado por las colaboraciones de una red de investigadores nacionales e internacionales.

Colaboradores Nacionales		
Investigador	Tema	Procedencia
Sofía E. Acosta	Aplicaciones industriales de la espectroscopía Raman	CIO-Aguascalientes
Faustino Aguilera Granja	Superficies de aleaciones binarias	Instituto de Física (UASLP)
José Luis Aragón Vera	Defectos en nanoestructuras	FATA (UNAM Juriquilla)
Romeo de Coss	Dopaje en nuevos superconductores (MgB2)	CINVESTAV-Mérida
Jesús Dorantes-Dávila	Magnetismo en sistemas de baja dimensionalidad	Instituto de Física (UASLP)
Jesús González	Recubrimientos industriales por el método sol-gel	CINVESTAV-Querétaro
Roberto Escudero	Caracterización de nanoestructuras magnéticas	IIM (UNAM)
Juan Martín Montejano Carrizales	Magnetismo en nanoestructuras	Instituto de Física (UASLP)
Salvador Meza Aguilar	Magnetismo en superficies	Universidad Autónoma de Sinaloa
José Mustre de León	Propiedades electrónicas de nanoestructuras	CINVESTAV-Mérida

Colaboradores Internacionales	
P.M. Ajayan	Rensselaer Poltechnic Institute, EU
F. Banhart	Ulm University, Alemania
D. L. Carroll	Clemson University, EU
J. C. Charlier	UCLN, Louvain-la-Neuve, Bélgica
A. K. Cheetham	Material Research Lab., UCSB, EU
R. Drautz	Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart
H. Dosch	Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart
M.S. Dresselhaus	MIT, EU
M. Endo	Sinshu University, Japón
Michael Feld	MIT, EU
M. Fähnle	Max-Planck-Institut für Metallforschung, Alemania
H.W. Kroto	University of Sussex, Reino Unido
J. A. Mydosh	U. de Leiden, Holanda
G. Pastor	U. de Toulouse, Francia
M. Rühle	Max-Planck-Institut für Metallforschung, Alemania
J.M. Sánchez	Texas Materials Institute, The University of Texas at Austin
G. Seifert	Paderborn University, Alemania
J. Sloan	Oxford University, Reino Unido
R. Tenne	Weizmann Institute, Israel

Investigadores	
Dr. Humberto Terrones Maldonado. Jefe de División Birkbeck College de la Universidad de Londres Nanociencia y nanotecnología.	Dr. Román López Sandoval. Investigador Titular A Universidad Paul Sabatier, Toulouse. Nanociencia y nanotecnología / Biomatemáticas/física teórica. / materiales magnéticos / Superficies.
Dr. Mauricio Terrones Maldonado. Coordinador de División University of Sussex. Nanociencia y nanotecnología.	Dr. Fernando Jaime Rodríguez Macías. Investigador Asociado C Universidad de Rice Nanociencia y nanotecnología.
Dr. José Luis Rodríguez López. Investigador Titular B Instituto de física, UASLP Nanociencia y nanotecnología.	Dra. Yadira Itzel Vega Cantú. Investigador Asociado C Universidad de Rice. Houston, TX Nanociencia y nanotecnología.
<i>Nanociencia y nanotecnología.</i> Dr. Florentino López Urías. Investigador Titular B Universidad Paul Sabatier Toulouse. Materiales magnéticos.	Dr. José Luis Morán López. Coordinador Académico Institut für theoretische Physik Freie Universität Berlin Nanociencia y nanotecnología. Materiales magnéticos.
Dr. Haret-Codratian Rosu Barbus. Investigador Titular C Institute of Atomic Physics, Magurele-Bucharest, Romania Biomatemáticas/física teórica.	M. en C. Grisel Ramírez Manzanares. Técnico Titular A Facultad de Química, UNAM
Dr. Emilio Muñoz Sandoval. Investigador Titular B Facultad de Ciencias, UASLP	Dra. María Magdalena Martínez Mondragón. Técnico Titular C UNAM
	Dr. Juan Andrés Reyes Nava. Posdoctorante

Infraestructura		
Síntesis	Simulación	Equipo especializado
-Laboratorio de Nanoestructuras -Laboratorio de Películas delgadas -Laboratorio de Polímeros -Laboratorio de Caracterización -Centro de Microscopía Electrónica y Fuerza Atómica -Laboratorio de Espectroscopia y Propiedades ópticas -Laboratorio de Propiedades magnéticas -Laboratorio de Rayos X	-HPC BEOEWULF INTEL 10 nodos duales Intel 2Ghz -UP2000 Procesador Alpha EV6 a 833 MHz (4 Mb de cache por procesador) -Workstation Quad Xeon, cuatro procesadores Xeon 700MHz -Silicon Graphics Octane II	-Philips TECNAI-F30 HRTEM 300 kV -Philips FEG-XL30 MEB, Emisión de campo -JEOL 200CX TEM 200kV. Donación Max-Planck Institute -Difractómetro de rayos X Brucker D8

### Proyectos vigentes en nanotecnología

*Desarrollo de polvos y láminas delgadas ferromagnéticas con partículas nanométricas y elevado campo coercitivo*  
 Dr. Emilio Muñoz Sandoval  
 Bilateral CONACYT (2005-2006) ref: J110.352/2005

*Síntesis y caracterización de nanomateriales porosos de carbono y nitruro de boro*  
 Dr. Humberto Terrones Maldonado  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SEP/2004-45762 Dr. Humberto Terrones Maldonado

*Propiedades morfológicas y eléctricas de copolímeros bloques PS-b PEO dopados selectivamente con nanotubos de carbono*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 Bilateral CONACYT (2005-2006) ref: J110.314/2005

*Síntesis masiva y caracterización de nanomateriales de aleaciones ferromagnéticas para la fabricación de nuevos nanocompuestos poliméricos*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SEP-2004-45772 Dr. M Terrones

*Materiales compuestos integrados con nanotubos de carbón y termoplásticos mediante polimerización interfacial*  
 Dr. Fernando Jaime Rodríguez Macías  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SEP-2004-47337 Dr. Fernando Rodríguez

*Preparación y caracterización de materiales compuestos de nanotubos de carbón directamente funcionalizados con materiales poliméricos*  
 Dra. Yadira Itzel Vega Cantú  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SEP-2004-47338  
 Dra. Yadira Vega

*Fabricación y caracterización de nanotubos de carbono dopados con fósforo y silicio*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 Fondos Mixtos-CONACYT Puebla (2005-2007) ref: PUE-2004-C02-9  
 Mauricio T.

*Producción controlada de nanotubos de carbono dopados con nitrógeno para la fabricación sensores de solventes cancerígenos y gases tóxicos*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SALUD-2004-C01-13 - Mauricio T.

*Estudio de materiales nanoestructurados metálicos monoatómicos, binarios y ternarios*  
 Dr. José Luis Rodríguez López  
 CONACYT-Investigación Básica (2004-2007) ref: 42645/A-1

*Synthesis Processing Atomic-Scale Characterization of Particles, Nanostructures and Nanostructured Materials*  
 Dr. Humberto Terrones Maldonado  
 CONACYT-InterAmerican Collaboration Materials (CIAM) (2003-2006) ref: C02-42428

*Inter-American Materials Collaboration : Large scale synthesis of N-doped carbon nanotubes for the fabrication of novel polymer composites an related w dimensional*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 CONACYT-InterAmerican Collaboration Materials (CIAM) (2003-2006) ref: C02-41464

*Nanoalambres ferromagnéticos: producción controlada, caracterización y estudios teóricos*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 CONACYT-UC Mexus (2002-2003) ref: UC MEXUS-114  
 Recursos propios

*Síntesis masiva y caracterización de nanomateriales de aleaciones ferromagnéticas para la fabricación de nuevos nanocompuestos poliméricos*  
 Dr. Mauricio Terrones Maldonado  
 CONACYT-Fondos Sectoriales (2005-2008) ref: SEP-2004-45772 Dr. M Terrones

*Materiales nanoestructurados consorcio MABE-CONACYT*  
 Dr. Humberto Terrones Maldonado  
 Ingresos propios-Proyectos(2006-2006)

### Contacto

**Dr. Humberto Terrones Maldonado.**  
 Jefe de la División de Materiales Avanzados  
**Gabriela Pérez Assaf**  
 Asistente de la división, ext. 2085  
 gap-assaf@ipicyt.edu.mx

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

<http://www.cideteq.mx>

Parque Tecnológico Querétaro Sanfandilla; 76704 Pedro Escobedo, Querétaro  
Tel (442) 211 6000; Fax (442) 211 6001

## Antecedentes

El CIDETEQ fue creado el 26 de septiembre de 1991 como S.C., con el propósito de ser un Centro Público de Investigación y el de responder a la necesidad de vinculación entre industriales e investigadores. Desde sus inicios, el Centro ha sido líder en la investigación y el desarrollo de tecnología en electroquímica. Además, proporciona diversos servicios a la industria, 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.

La formación de recursos humanos es una actividad importante, y forma parte de los objetivos desde su creación. En 1998 se iniciaron los trabajos para que, en abril de 1999, se atendiera a la primera generación de Maestros en Ciencias y Doctores en Electroquímica. 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. El capital humano del CIDETEQ está conformado por 92 investigadores, de los cuales 16 son doctores, 19 maestros, 34 licenciados y 17 técnicos, dedicados a la investigación y al desarrollo de tecnología en electroquímica.

## Misión

Lograr el liderazgo en investigación y conocimientos tecnológicos, así como en la formación de talento humano en electroquímica y medio ambiente, para incrementar la competitividad y productividad de nuestros clientes, dirigiendo nuestros esfuerzos a los sectores público, privado y académico, con presencia a nivel nacional.

## Visión

Ser un Centro Público de Investigación reconocido por la pertinencia de sus soluciones tecnológicas y la formación de sus egresados, motivado por la vanguardia en las investigaciones y mezcla de productos rentables, y el crecimiento y mejora de sus procesos de manera continua, que permiten cumplir totalmente con los requisitos de nuestros clientes.

## Objetivos estratégicos

- Realizar investigaciones y desarrollos tecnológicos en los campos de electroquímica y tecnología ambiental, pertinentes a las necesidades del país y acordes con los planes nacionales y estatales de desarrollo.
- Apoyar al desarrollo científico y tecnológico del sector productivo y la vinculación de los empresarios, investigadores, tecnólogos e instituciones de educación superior.
- Formar cuadros de áreas estratégicas para el país, acordes a los grandes avances en los campos tecnológicos de electroquímica y tecnología ambiental, que contribuyan a impulsar y acelerar la mejora de la competitividad de la planta industrial y del nivel de calidad de vida.

## Posgrados

El CIDETEQ ofrece los programas de maestría y doctorado en ciencia y tecnología con orientación en electroquímica o ingeniería ambiental.

Nombre del programa	Objetivo	Líneas de investigación
Maestría y Doctorado en Electroquímica	Este programa tiene como objetivo generar recursos humanos de alto nivel para cubrir las necesidades de investigación y docencia que la industria y las universidades del país demandan. Los programas están diseñados para preparar doctores en un plazo de cuatro años y medio, y Maestros en Ciencias en dos años.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tratamiento de aguas residuales.</li><li>• Potabilización de agua.</li><li>• Recubrimientos.</li><li>• Electrodo modificados.</li><li>• Celdas de membranas.</li><li>• Corrosión.</li><li>• Celdas de combustible.</li><li>• Fotoelectroquímica.</li></ul>
Maestría y doctorado en ciencia y tecnología con orientación en ingeniería ambiental	El objetivo de este programa es el de formar recursos humanos altamente calificados, para solucionar los problemas relacionados con la contaminación del ambiente, con una visión hacia el desarrollo sustentable del país.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proceso de tratamiento de aguas residuales.</li><li>• Manejo y tratamiento de residuos.</li><li>• Tratamiento de suelos contaminados.</li></ul>

## Líneas estratégicas de investigación

El CIDETEQ cuenta con una gama de productos y servicios, resultado de una estrategia de investigación aplicada con vinculación industrial, mediante la cual ofrecen soluciones a sus clientes en:

Ingeniería de procesos electroquímicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Electrodos (titanio, rutenio, etc.).</li><li>• Celdas de electrodiálisis (síntesis y tratamiento de agua).</li><li>• Celdas de cloro.</li><li>• Descontaminación fotoelectroquímica.</li><li>• Generadores electroquímicos de biocida (hipoclorador, clorador, percarbonato).</li><li>• Medidor de cargas superficial (para optimizar procesos de floculación y coagulación).</li><li>• Dispositivos portátiles de tratamientos de aguas.</li><li>• Plantas de galvanoplastia.</li></ul>
Recubrimientos y tratamiento superficial	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formulaciones de recubrimientos de conversión.</li><li>• Formulaciones de baños de electro-depósito de galvanoplastia.</li><li>• Evaluación de recubrimientos orgánicos e inorgánicos.</li></ul>
Pilas de combustible Corrosión Materiales funcionales y nanomateriales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pilas de combustible de pequeña potencia.</li><li>• Formulaciones de nuevos inhibidores.</li><li>• Formulaciones de electrocatalizadores.</li></ul>
Tratamiento de aguas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Proyectos de ingeniería de tratamiento de agua.</li><li>• Plantas de tratamiento de aguas residuales.</li><li>• Plantas purificadoras de agua potable.</li><li>• Remedación de suelos.</li></ul>
Tratamiento de residuos y remediación de suelos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis químico de sólidos y líquidos.</li><li>• Minimización de la generación de residuos peligrosos y diseño de sistemas de tratamiento.</li><li>• Auditoría ambiental.</li></ul>
Gestión ambiental	<ul style="list-style-type: none"><li>• Auditoría ISO 14000.</li><li>• Impacto ambiental.</li><li>• Riesgo ambiental.</li><li>• Descontaminación fotoelectroquímica.</li></ul>
Ingeniería de procesos electroquímicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Generadores electroquímicos de biocida (hipoclorador, clorador, percarbonato).</li><li>• Medidor de cargas superficial (para optimizar procesos de floculación y coagulación).</li><li>• Dispositivos portátiles de tratamiento de aguas.</li><li>• Análisis de agua natural potable y residual (aq).</li><li>• Análisis químicos de residuos (CRETIB) (aq).</li><li>• Análisis químicos de sólidos y líquidos (aq).</li><li>• Difracción de rayos X (eq).</li></ul>
Caracterización de materiales	<ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis por GDS (eq).</li><li>• Microscopio de fuerza atómica (eq).</li><li>• Análisis de fallas (me).</li><li>• SEM y microanálisis (me).</li><li>• Análisis metalográficos (me).</li></ul>
Corrosión	<p><b>Recubrimientos orgánicos anticorrosivos</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pruebas mecánicas.</li><li>• Pruebas de intemperismo (CNS, UV, etc.).</li><li>• Análisis de fallas.</li><li>• Corrosión atmosférica.</li></ul> <p>•</p> <p><b>Inhibidores de corrosión</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pruebas electroquímicas.</li><li>• Evaluación de inhibidores.</li><li>• Formulaciones de nuevos inhibidores.</li></ul>
Tribología	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pruebas de desgaste.</li><li>• Evaluación de lubricantes.</li></ul>

## Investigación en nanotecnología

Debido al contexto de este trabajo, se destaca la línea de materiales funcionales y nanomateriales. En esta área de trabajo se enfocan esfuerzos hacia el diseño y construcción de superficies modificadas con polímeros dendríticos. Estas moléculas confieren a la superficie modificada una serie de propiedades novedosas que dependen de la estructura molecular del polímero, que han encontrado diversas aplicaciones en electroquímica. Así, ha sido posible preparar electrodos modificados que funcionan como sensores de cationes, como electrocatalizadores de reacciones importantes, y para la preparación de membranas de intercambio iónico. La modificación de superficies con polímeros dendríticos ha sido explotada también para el diseño y construcción de películas foto-activas, orientadas al desarrollo de dispositivos de conversión de energía solar en energía eléctrica.

En el CIDETEQ se están sintetizando y caracterizando electrocatalizadores basados en metales de transición para las siguientes aplicaciones:

- Ánodos y cátodos para celdas combustible de electrolito polimérico.
- Ánodos y cátodos para celdas combustible de oxidación directa de metanol.
- Ánodos y cátodos para celdas de electrólisis que producen hipoclorito de sodio.
- Electrodos de difusión de gas para la industria cloro álcali.
- Electrodos para el tratamiento de efluentes.

## Infraestructura

- Microscopía de fuerza atómica.
- Microscopía electrónica de barrido.
- Analizador de energía dispersiva.
- Analizador y digitalizador de imágenes.
- Microscopio óptico metalográfico y estereoscópico.
- Potenciostato para pruebas de corrosión.
- Cámara de niebla salina.
- Equipos de pruebas en campo y laboratorio: ultrasonido, dureza, metalografía, inspección visual.
- Durómetro y microdurómetro.
- Espectrofotómetro: de absorción atómica, infrarrojo, visible UV y de emisión atómica (ICP).
- Cromatógrafo de gases con espectrofotómetro con detector de ionización de flama y con captura de electrones.
- Cromatógrafo de líquidos.
- Analizador elemental de carbono y azufre para aceros.
- Equipo y material para pruebas CRETIB, vía húmeda y microbiológicas.

## Proyectos vigentes en nanotecnología

*Desarrollo de nuevos materiales con micro y nanoestructura a partir de ópalos inversos para nanotecnología aplicada a la protección contra corrosión en la industria.*

Fondo Mixto Veracruz 2006, \$288,750 / año durante dos años. Vigencia: 29/01/2007 a 26/01/2009. Proyecto CIDETEQ No. 3033  
Dr. José de Jesús Pérez Bueno

*Nanotecnología de recubrimientos con materiales compósitos para la protección del deterioro en concretos de varillas de acero o fibra de vidrio.*

Fondo Mixto Michoacán, \$300,000/año, durante un año. Vigencia: 02/05/2007 a 31/10/2008. Proyecto CIDETEQ No. 3037  
Dr. José de Jesús Pérez Bueno

*La nanotecnología aplicada a través de nuevos materiales compósitos como elementos constructivos alternativos de bajo costo para vivienda popular extrapolables a prácticas de auto-construcción.*

Fondo Mixto Coahuila, \$525,833/año, durante tres años. Vigencia: 04/06/2007 a 03/06/2010. Proyecto CIDETEQ No. 3036  
Dr. José de Jesús Pérez Bueno

*La nanotecnología en la protección de monumentos y piezas históricas de metal o piedra con la aplicación por aerosol, brocha y/o permeación electroforética de materiales híbridos polímero-vidrio inertes y de gran adaptabilidad.*

Fondo Mixto Guanajuato 2004, \$159,000 por año durante tres años. Vigencia: 01/03/2004 a 28/07/2006. Proyecto CIDETEQ No. 3002  
Dr. José de Jesús Pérez Bueno

## Contacto

**Ing. Alejandro Espriú Manrique de Lara**  
Subdirector de Comercialización  
Tel (442) 211 6029 / 211 6000  
Fax (442) 211 6000 ext. 7817  
[aespriu@cideteq.mx](mailto:aespriu@cideteq.mx)

## Centro de Investigación en Química Aplicada, CIQA

<http://www.ciqa.mx/index0.php>  
Blvd. Enrique Reyna Herosillo # 140, Saltillo, Coahuila México  
Tel: 01(844) 4389830; Fax: 01(844) 4389839

### Antecedentes

Es un organismo público descentralizado, creado por Decreto Presidencial el 2 de noviembre de 1976, y reestructurado mediante decreto de fecha 30 de agosto del año 2000. El CIQA es un Centro Público de Investigación del Sistema CONACYT, que tiene por objeto realizar investigación básica y aplicada en los campos de química y polímeros, orientada a la solución de problemas nacionales. Asimismo, contribuye a la formación de recursos humanos en ambas áreas de la ciencia, a nivel de licenciatura, maestría, doctorado y posdoctorado.

La investigación, vinculación y formación de recursos humanos, se realizan principalmente en las áreas de Síntesis de polímeros, Procesos de polimerización, Procesos de transformación de plásticos, Materiales avanzados y Plásticos en la agricultura.

El CIQA cuenta con tres laboratorios de servicios acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. (EMA) y certificados por ISO-9002, que soportan la confiabilidad de los análisis y pruebas que en ellos se realizan.

El CIQA ofrece la Maestría y Doctorado en Tecnología de Polímeros y la Especialización en Química Aplicada. Además, ofrece programas de educación continua, el Diplomado en Polímeros, así como seminarios y cursos teórico-prácticos, dirigidos al personal de la industria.

La Misión del CIQA es realizar actividades de investigación, docencia y servicios tecnológicos en el área de química, polímeros y disciplinas afines, para contribuir al progreso del sector industrial, educativo y social mediante la creación y transferencia de conocimiento científico y tecnológico, y la formación de capital humano especializado. Su Visión es la de llegar a ser líder nacional en el área de polímeros, con reconocimiento internacional, en investigación, desarrollo tecnológico y formación de capital humano, y ser una institución confiable para apoyar el sector industrial, educativo y social, así como una institución con suficiencia económica.

### Departamentos y laboratorios

- Síntesis de polímeros.
- Procesos de polimerización.
- Procesos de transformación de plásticos.
- Materiales avanzados.
- Plásticos en la agricultura.
- Laboratorio Central de Instrumentación Analítica.
- Servicios de laboratorio.

### Departamento de Materiales Avanzados

Este Departamento se basa en la investigación interdisciplinaria, en donde se conjuntan dominios del conocimiento de la química, física y biología para el desarrollo de polímeros, cerámicos, partículas metálicas y materiales compuestos, obtenidos a través de la aplicación de tecnologías avanzadas, principalmente aquellas derivadas del conocimiento de la nanociencia y la nanotecnología.

Entre sus líneas de investigación básica, se incluyen procesos de síntesis para la obtención de nanomateriales (magnéticos, optoelectrónicos, nanocompuestos de matriz polimérica y biomateriales).

Investigadores	
Dr. Arias Marín Eduardo	Dr. Romero García Jorge
Dr. Ávila Orta Carlos Alberto	Dr. Ziolo Ronald
Dr. García Cerda Luis Alfonso	M.C. Betancourt Galindo Rebeca
Dr. Méndez Nonell Juan	M.C. Ledezma Pérez Antonio
Dra. Moggio Ivana	M. C. Padrón Gamboa Gabriela
Dr. Moya Sergio	Ing. Tec. Medellín Banda Diana Iris
Dr. Rodríguez Fernández Oliverio	Ing. Cerda Ramírez Federico
	Ing. De la Peña Solís José

## Instituto de Física, UNAM

<http://www.fisica.unam.mx/>

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, 04510 México, D. F.

### Antecedentes

El Instituto de Física fue creado en 1938. En seis décadas ha crecido y madurado como institución académica, para convertirse en uno de los centros de investigación en física más importantes del país, adquiriendo un sólido prestigio a nivel nacional e internacional.

Los objetivos del Instituto son: realizar investigación científica de frontera en las diversas especialidades de la física contemporánea y áreas afines, difundir el conocimiento de esta ciencia, formar recursos humanos a través de la docencia y la preparación de investigadores y especialistas de alto nivel.

### Investigación y posgrado

La investigación cubre un amplio espectro de la física contemporánea, estudiando fenómenos que abarcan la totalidad de las escalas observadas en el universo.

Las áreas de trabajo cubren entre otros los siguientes temas: física atómica y molecular, física aplicada, física experimental, física de la materia condensada, física matemática, física médica, física nuclear, partículas elementales y teoría de campos, física química, física teórica, sistemas complejos, mecánica estadística, etc.

El posgrado en Ciencias físicas ofrece estudios de maestría (Ciencias físicas y Física médica), así como de Doctorado en Ciencias físicas. Las instituciones que participan en el programa ponen a la disposición de los estudiantes, una extraordinaria infraestructura de laboratorios, bibliotecas y facilidades de cómputo.

### Áreas del conocimiento

Maestría y Doctorado en Ciencias (Física):

Acústica, astrofísica, física atómica y molecular, física de plasmas, física de partículas elementales y campos, física de materiales, física del estado sólido, física nuclear, física experimental, física médica, geofísica, mecánica cuántica, física estadística, óptica, gravitación y cosmología, sistemas complejos, física no-lineal, instrumentación, física de fluidos, física matemática.

Maestría en Ciencias (Física médica):

Aplicaciones de la física en medicina, interacción de la radiación ionizante con la materia, dosimetría en radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia, protección radiológica, resonancia magnética en medicina, imágenes médicas, aplicaciones biológicas y médicas de la óptica, biofísica, biomecánica, biomateriales y efectos biológicos de la radiación.

## Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ININ

www.inin.mx

Carretera México-Toluca S/N, (Km. 36.5), La Marquesa, 52750Ocoyoacac Estado de México

Conmutador: 53-29-72-00 al 10

### Antecedentes

Los orígenes del ININ datan del 1 de enero de 1956, cuando se fundó la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), con dos campos de interés: las aplicaciones energéticas y no energéticas, y los estudios en ciencias nucleares. Los programas con los que inició la CNEN fueron nueve: Física nuclear, Educación y capacitación, seminarios, Reactores, Radioisótopos, Aplicaciones industriales de la radiación, Agronomía, Genética y Protección radiológica. Durante los años 60 el proyecto científico más importante de México fue la construcción del Centro Nuclear en Salazar, Estado de México, en 1964. Tan sólo dos años después, se contaba ya con un acelerador de iones positivos Tandem Van de Graaff y en 1968 con un reactor TRIGA Mark III, lo que, aunado a otros laboratorios, dotó al Centro Nuclear de instalaciones únicas en el país. En 1972, la CNEN cambió su nombre a Instituto Nacional de Energía Nuclear y en 1979, con la emisión de la Ley Nuclear (reglamentaria del artículo 27 constitucional sobre la materia), se transformó para crear la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Uranio Mexicano (ya desaparecida) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (que nunca entró en función).

### Misión

Coadyuvar al progreso económico y social del país, mediante investigación y desarrollo de excelencia en ciencia y tecnología nucleares y en temas afines, vinculados con la comunidad académica y el sector productivo.

### Visión

Ser un centro de investigación y desarrollo en el ámbito de la ciencia y tecnología nucleares, reconocido por el liderazgo de su personal y por la capacidad de aportar soluciones a problemas prioritarios del país, con una generación de ingresos propios que fortalezcan su autonomía y desarrollo

### Líneas de desarrollo

- Ciencias nucleares.
- Fuentes energéticas.
- Tecnología de reactores nucleares.
- Materiales nucleares y radiactivos.
- Seguridad nuclear y radiológica.
- Gestión de desechos radiactivos.
- Ecología y protección del medio ambiente.
- Aplicaciones de los aceleradores de partículas.
- Aplicaciones de las radiaciones a los sectores industrial, salud y agropecuario.
- Química y radioquímica.
- Radiobiología y genética.

### Nanotecnología

Algunos proyectos relacionados con nanotecnología, elaborados por investigadores del ININ, son:

*Síntesis y caracterización de estructuras metálicas unidimensionales para la generación de nanocables.*

Dra. Claudia Elizabeth Gutiérrez Wing

cegw@nuclear.inin.mx

*Producción de nanoestructuras de carbono por descarga de plasma a alta frecuencia y mínimo consumo energético. Tercera etapa.*

Dr. Joel Osvaldo Pacheco Sotelo

jps@nuclear.inin.mx

**Contacto:** webmastr@nuclear.inin.mx

## Instituto Mexicano del Petróleo, IMP

<http://www.imp.mx/>

Eje Central Norte Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México D. F. Apartado Postal 14-805  
Conmutador (55) 9175 6000; Fax (55) 9175 8000

### Antecedentes

El IMP, creado el 23 de agosto de 1965, es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera, cuyos objetivos principales son: realizar investigación y desarrollo tecnológico, así como servicios especializados orientados a las necesidades estratégicas y operativas de Petróleos Mexicanos (Pemex). El IMP entrega soluciones integrales innovadoras y desarrolla recursos humanos especializados con un enfoque de calidad, oportunidad y precios competitivos.

Como centro público de investigación, el Instituto tiene la Misión de transformar el conocimiento en aplicaciones industriales innovadoras para las prioridades estratégicas de Pemex, y la Visión de ser reconocido por su calidad, competitividad y excelencia técnica, como socio estratégico de Pemex para el aprovisionamiento y despliegue de tecnologías y productos, así como por su contribución al desarrollo humano, que requiere para alcanzar sus objetivos estratégicos.

### Programas de investigación

El IMP cuenta con nueve programas de investigación, en los que destacados científicos se ocupan de la investigación básica y su aplicación en la industria en áreas como: administración del desarrollo en aguas profundas; estudio integral de yacimientos; aseguramiento de flujo; evaluación de cuencas/plays; control de agua; combustibles limpios; procesamiento de crudo pesado; evaluación integral de ecosistemas; evaluación integral de riesgos e ingeniería concurrente:

- Aseguramiento de la producción de hidrocarburos.
- Ductos, corrosión y materiales.
- Exploración petrolera.
- Explotación de campos en aguas profundas.
- Ingeniería.
- Ingeniería molecular.
- Matemáticas aplicadas y computación.
- Procesos y reactores.
- Recuperación de hidrocarburos.

### Ingeniería molecular

El IMP creó, en 1999, el Programa de Ingeniería Molecular, con el propósito de desarrollar nuevas tecnologías o productos que requiere la industria petrolera, mediante la combinación de herramientas y disciplinas teóricas y experimentales. El programa diseña, sintetiza y caracteriza nuevas moléculas para el desarrollo de materiales que tengan impacto en tecnologías para el mantenimiento de flujo, recuperación secundaria y mejorada, refinación y ambiente y seguridad, para lo cual cuenta con laboratorios de supercómputo, síntesis química y caracterización molecular con equipos modernos, e incorpora y desarrolla las teorías necesarias para el diseño molecular.

### Las líneas de investigación del programa son:

- Diseño, síntesis y desarrollo de nanomateriales (catalizadores, anticorrosivos, antiespumantes, detergentes, recubrimientos).
- Mecanismos de adsorción, agregación y dispersión de coloides (mantenimiento de flujo, recuperación secundaria y mejorada, fluidos de perforación).
- Fisicoquímica de mezclas y soluciones (endulzamiento de gas, separación de nitrógeno y limpieza de lodos).

### Investigadores

Dr. Marcelo Lozada y Cassou.  
Coordinador del Programa de Ingeniería Molecular.  
[marcelo@imp.mx](mailto:marcelo@imp.mx)

Dr. Jorge Ascencio Gutiérrez.  
[ascencio@imp.mx](mailto:ascencio@imp.mx)

## Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, CFATA-UNAM

<http://www.fata.unam.mx/>

UNAM Campus Juriquilla; Juriquilla, Querétaro; Apartado Postal 1-1010; 76000 Querétaro, Qro.

Tel (442) 2381 150-51

### Antecedentes

El CFATA es un centro multidisciplinario perteneciente a la UNAM, con líneas de investigación agrupadas en los departamentos de Nanotecnología e Ingeniería Molecular de Materiales. Se cuenta con la Licenciatura en Tecnología y Maestría y Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales. La Unidad de Gestión del Conocimiento e Innovación Tecnológica imparte diplomados de dirección estratégica y gestión gerencial.

Este centro fue creado con la intención de resolver problemas de carácter tecnológico, pero con fundamento en ciencia básica. La Misión del CFATA es contribuir activamente al enriquecimiento de la ciencia y la tecnología en el ámbito de la UNAM. Otro reto importante es promover el desarrollo regional y nacional a través de formación de recursos humanos, difusión del conocimiento científico y tecnológico, así como la colaboración con centros educativos de la localidad. La Visión incluye: desarrollar investigaciones que sean útiles y trascendentes, que merezcan el reconocimiento nacional e internacional, instrumentar programas de formación y capacitación de recursos humanos de alta calidad, así como contar con laboratorios certificados y equipos especializados de alta tecnología

### Posgrado

Doctorado y Maestría en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

El CFATA participa en el Posgrado en Ciencia e Ingeniería de materiales de la UNAM, en sus programas de Maestría y Doctorado. Este posgrado ofrece cinco áreas del conocimiento (de concentración): Materiales cerámicos, Materiales complejos, Materiales electrónicos, Materiales metálicos y Materiales poliméricos.

La Ciencia e Ingeniería de Materiales es interdisciplinaria y multidisciplinaria y se fundamenta en conocimientos de física, química e ingeniería, así como en técnicas inherentes a estas disciplinas. Tiene que ver con la generación y aplicación del conocimiento que relaciona la composición, la estructura y el procesamiento de los materiales con sus propiedades y desempeño.

### Las otras entidades participantes en este posgrado son:

- Facultad de Ciencias.
- Facultad de Ingeniería.
- Facultad de Química.
- Instituto de Investigaciones en Materiales.
- Centro de Materia Condensada.
- Centro de Investigación en Energía.

### Maestría en Ingeniería

El CFATA también participa en la Maestría en Ingeniería de la UNAM, impartiendo cursos en: Ingeniería química e Ingeniería mecánica, en las áreas de Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Procesos e Ingeniería Metalmeccánica.

### Infraestructura

- Laboratorio de Propiedades Físicoquímicas de Alimentos.
- Laboratorio de Materiales Termoelectrónicas.
- Laboratorio de Películas Delgadas.

#### Laboratorios certificados en ISO 9000:2001

- Laboratorio de Difracción de Rayos X.
- Laboratorio de Dispersión de Luz.
- Laboratorio de Espectrometría Infrarrojo y Raman.
- Laboratorio de Pruebas Mecánicas.

### Proyectos vigentes en nanotecnología

- *Síntesis de un material compuesto nanoestructurado polímero-hidroxiapatita empleando polímeros acrílicos para aplicaciones en odontología.*

Dr. Rodrigo Rafael Velázquez Castillo

UNAM-PAPIIT Proyecto No. IN108307-3

Enero 2007 a diciembre 2009

- *Desarrollo de catalizadores de hidrosulfuración soportados en sílices mesoporosas modificadas con titanio y fósforo.*

Dr. Rufino Nava Mendoza

Proyecto CONACYT S52262

Enero 2007 a diciembre 2007

- *Nanocatalizadores para el mejoramiento del medio ambiente*

Dr. Rufino Nava Mendoza

Proyecto Impulsa 01. Proyecto Universitario de Nanotecnología-UNAM / Febrero del 2005 a la fecha

## Instituto Nacional de Astrofísica, Electrónica y Óptica, INAOE

<http://www.inaoep.mx/>

Calle Luis Enrique Erro No. 1, Santa María Tonanzintla, Puebla. Apdo. Postal 51 y 216; 72000 Puebla, México

Tel: +52 (222) 266-31-00; Fax: +52 (222) 247-05-17

### Antecedentes

El INAOE fue creado por Decreto Presidencial el 11 de noviembre de 1971, como un organismo descentralizado, de interés público, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Está ubicado en Tonanzintla, Puebla. Con ese decreto tiene la facultad de impartir cursos y otorgar grados de maestría y doctorado en disciplinas como astrofísica, óptica, electrónica y áreas afines. En 1972 se fundó el Departamento de Óptica, y dos años después inició sus actividades el Departamento de Electrónica. En 1984 se inició el programa de doctorado en Óptica y en 1993 los programas de doctorado en Electrónica, así como la maestría y doctorado en astrofísica. Finalmente, en agosto de 1998 se inició el programa de maestría y doctorado en ciencias computacionales.

La Misión del INAOE es contribuir, como centro público de Investigación, a la generación, avance y difusión del conocimiento para el desarrollo del país, por medio de la identificación y solución de problemas científicos y tecnológicos y de la formación de especialistas en las áreas descritas abajo. Como Visión, se ha trazado el ser un centro público de investigación con alto liderazgo a nivel internacional, en el ámbito de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la formación de recursos humanos comprometidos con el desarrollo nacional a través de la promoción de valores sociales de solidaridad, creatividad y alta competitividad.

### Áreas de investigación

- Astrofísica.
- Ciencias computacionales.
- Electrónica.
- Óptica.

### Laboratorio Nacional de Nanotecnología

El Departamento de Electrónica fue creado en 1972, a la vez que fue fundado el propio Instituto. Es hasta 1974 cuando da inicio el posgrado en electrónica, con la creación del Laboratorio de Microelectrónica.

En este departamento se realizan actividades de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos en las áreas de dispositivos electrónicos, tecnología de fabricación de dispositivos y circuitos integrados en silicio, diseño de circuitos integrados, desarrollo de CAD, verificación de circuitos y sistemas electrónicos VLSI.

El departamento cuenta, a la fecha, con 26 Investigadores, organizados en cuatro grupos de investigación, así como 10 técnicos asignados a los diferentes laboratorios, quienes dan apoyo a los proyectos de investigación que se realizan. Actualmente, el proyecto más importante de la coordinación es la puesta en marcha del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LNN), que ha iniciado con una línea de fabricación de circuitos integrados, donado por Motorola Inc., con un costo aproximado de un millón de dólares.

### Grupo de sistemas VLSI

Este grupo inició en 1993 sus actividades, relacionadas con desarrollo de sistemas electrónicos integrados. El grupo cuenta con un Laboratorio de Simulación para el diseño, y un Laboratorio de Caracterización Experimental de circuitos y sistemas electrónicos. El grupo cuenta con 10 investigadores y un técnico de soporte. Dentro de este grupo se desarrollan las siguientes actividades:

- Diseño de CIs.
- Prueba de CIs.
- CAD.

**Investigadores**

Área	Investigador	Correo electrónico
Microelectrónica	Aceves Mijares Mariano	maceves@inaoep.mx
	Calleja Arriaga Wilfrido	wcalleja@inaoep.mx
	Gutiérrez Domínguez Edmundo	edmundo@inaoep.mx
	Halevi Peter	halevi@inaoep.mx
	Hidalga Wade Javier de la	jhidalga@inaoep.mx
	Kosarev Andrey	akosarev@inaoep.mx
	Linares Aranda Mónico	mlinares@inaoep.mx
	Malik Alexander	amalik@inaoep.mx
	Murphy Arteaga Roberto	rmurphy@inaoep.mx
	Reyes Betanzo Claudia	creyes@inaoep.mx
	Torres Jacome Alfonso	atorres@inaoep.mx
	Torres Torres Reydezel	reydezel@inaoep.mx
	Yu Zhenrui	zyu@inaoep.mx
Diseño de circuitos	Zurita Sánchez Jorge Roberto	jrzurita@inaoep.mx
	Champac Vilela Victor	champac@inaoep.mx
	Díaz Méndez Alejandro	ajdiaz@inaoep.mx
	Díaz Sánchez Alejandro	adiazsan@inaoep.mx
	Espinosa Flores-V Guillermo	gespino@inaoep.mx
	García Andrade Miguel	mgarcia@inaoep.mx
	Hernández Martínez Luis	luish@inaoep.mx
	Sarmiento Reyes Arturo	jarcho@inaoep.mx
	Tlelo Cuautle Esteban	ettlelo@inaoep.mx
Zenteno Ramírez Antonio	azenteno@inaoep.mx	
Instrumentación	Enriquez Caldera Rogerio	rogerio@inaoep.mx
	Escudero Uribe Apolo Zeus	aescuder@inaoep.mx
	Pedraza Chávez Jorge	jpch@inaoep.mx
Comunicaciones	Jovanovic Dolecek Gordana	gordana@inaoep.mx
	Zaldivar Huerta Ignacio	zaldivar@inaoep.mx
	Grimaslky Volodimir	vgrim@inaoep.mx

## Departamento de Química, UAM Iztapalapa, División Ciencias Básicas e Ingeniería

<http://quimica.izt.uam.mx/>

<http://www.iztapalapa.uam.mx/>

[http://www.iztapalapa.uam.mx/la\\_uami/historia.htm](http://www.iztapalapa.uam.mx/la_uami/historia.htm)

San Rafael Atlixco 186. Colonia Vicentina. Apartado Postal: 55-534. 09340 México, D. F. México. Edificio R. Oficina: R-118

### Antecedentes

La Universidad Autónoma Metropolitana surge en un momento crucial para el país, recogiendo los esfuerzos que a finales de los años 60 y principios de los 70, se dieron en materia de organización de la educación, revisión de las currículas y de los métodos de enseñanza. Todo esto, producto del movimiento estudiantil de 1968 y de los subsecuentes movimientos en favor de la educación y de reclamos de mejoras sociales. De manera concreta, es durante el sexenio de Luis Echeverría Álvarez cuando se llevan a cabo reformas a la Ley Federal de Educación y se crea la Ley Nacional para la Educación de los Adultos. Se organiza la educación superior en semestres y horarios establecidos, y se determina valorar las asignaturas por medio de créditos. También se funda el CONACYT y los centros de investigación especializados fuera de las universidades. Los rasgos pretendidos de la nueva universidad eran los siguientes: que fuera pública, metropolitana, autónoma, innovadora en lo educativo y en lo organizacional.

La Unidad Iztapalapa fue la primera en iniciar los trabajos de construcción de edificios e instalaciones, y hoy se considera la unidad más completa de acuerdo al diseño original de la misma, que a pesar de haberse modificado ha conseguido adaptarse a las necesidades cambiantes de los nuevos acontecimientos científicos, sociales y culturales. Se seleccionó un predio de 177,955 metros cuadrados al oriente del Distrito Federal, en la delegación Iztapalapa, para iniciar los trabajos. Este lugar resultaba idóneo por su creciente urbanización y por el asentamiento de pequeñas y medianas empresas.

La Unidad Iztapalapa inicia formalmente actividades el 30 de septiembre de 1974, bajo la rectoría del Dr. Alonso Fernández González. En julio de ese año se designa como primer director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería al Dr. Carlos Graef Fernández, quien obtuvo el doctorado en el prestigiado MIT (Massachusetts Institute of Technology) y el Premio Nacional en Ciencias, entre las distinciones más importantes. En la División de Ciencias Sociales y Humanidades se designa como director al Dr. Luis Villoro Toranzo, el 16 de junio de 1974. El mismo día se nombra director de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud al Dr. Carlos Beyer Flores, un eminente investigador. La Secretaría de Unidad la ocupó el físico Sergio Reyes Luján, quien fungía como director del Centro de Instrumentos de la UNAM, tomando posesión el 1 de marzo de 1974.

	Áreas de investigación
Biofísicoquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura y estabilidad de las proteínas.</li> </ul>
Catálisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacciones catalíticas de hidrogenación y oxidación en metales de transición y óxidos metálicos.</li> <li>• Propiedades catalíticas de nuevos materiales.</li> <li>• Hidrogenación selectiva en catalizadores metálicos.</li> <li>• Síntesis y caracterización de materiales catalíticos obtenidos por el método sol-gel.</li> <li>• Membranas inorgánicas amorfas obtenidas a partir de polímeros inorgánicos.</li> </ul>
Electroquímica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio físicoquímico de los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación cementación y separación electroquímica de minerales.</li> <li>• Electrodeposición de metales y aleaciones.</li> <li>• Electroodos modificados.</li> <li>• Aplicación de los procesos electroquímicos al tratamiento de aguas.</li> <li>• Fenómenos de adsorción molecular en la interfase electrodo/electrolito: un estudio de microscopía por sonda.</li> </ul>
Físicoquímica de superficies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medios porosos y superficies: modelos, simulación, adsorción y fenomenología capilar.</li> <li>• Medios porosos y superficies: Preparación y caracterización de estructuras porosas.</li> </ul>
Físicoquímica teórica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teoría de funcionales de la densidad en átomos y moléculas.</li> <li>• Estudios teóricos ab-initio en bioinorgánica y catálisis.</li> </ul>
Química analítica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de constantes de equilibrio por métodos gráficos y computacionales.</li> </ul>
Química cuántica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio teórico de reacciones de la química atmosférica.</li> <li>• Densidad electrónica de átomos y moléculas.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento mecánico cuántico de estructura molecular y reactividad química de sistemas de interés tecnológico.</li> <li>• Simulación de fluidos complejos.</li> <li>• Espectroscopia rotacional y vibracional.</li> <li>• Modelos teóricos de la estructura atómica y molecular.</li> </ul>
Química inorgánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especies activas en sólidos cristalinos y amorfos.</li> <li>• Química y física de nuevos materiales.</li> <li>• Magnetoquímica.</li> <li>• Determinación de la estabilidad de complejos olefinicos y aromáticos de Ag(I) y Cu(I) y sus aplicaciones.</li> </ul>

### Investigadores

Investigador	Especialidad	Correo electrónico
Dr. Nikola Batina	Microscopías de fuerza atómica y de efecto túnel	bani@xanum.uam.mx
Dra. Laura Galicia Luis	Electroquímica	lgl@xanum.uam.mx
Dr. Ignacio González Martínez	Química Analítica	igm@xanum.uam.mx
M. en C. Ulises Morales Ortiz	Electroquímica	ulis@xanum.uam.mx
Dr. Hugo Sánchez Soriano	Electroquímica	huss@xanum.uam.mx
Dr. R. Leonardo Salgado Juárez	Electroquímica	lsj@xanum.uam.mx

## **Centro Internacional de Nanotecnología y Materiales Avanzados, CINMA (Universidad Veracruzana)**

[http://148.207.1.2/Cooperacion/Convocatorias/UT-AUSTIN/2005/UT-Austin\\_ConvocatoriaCerrada2005.html](http://148.207.1.2/Cooperacion/Convocatorias/UT-AUSTIN/2005/UT-Austin_ConvocatoriaCerrada2005.html)

### **Antecedentes**

El CINMA fue creado mediante una colaboración entre el CONACYT y la Universidad de Texas en Austin (UT-Austin), a través de la Convocatoria CONACYT-UT-Austin 2005, con el fin de promover la colaboración entre investigadores de la UT-Austin e investigadores mexicanos, en las siguientes áreas:

- Materiales nanoestructurados.
- Nanopartículas.
- Nanomateriales novedosos (nanoalambres, fullerenos, nanotubos, etc.).
- Modelación y simulación para aplicaciones de energía limpia, biosensores, electrónica, fotónica, máquinas moleculares, ambiental, así como otros impactos de la nanotecnología en humanos.

El objetivo del programa es proporcionar fondos-semilla para la redacción de las propuestas de colaboración en las siguientes áreas (incluyendo la generación de resultados preliminares y la preparación de propuestas):

- Propuestas de investigación bilateral.
- Programas de cooperación educacional.
- Reuniones enfocadas a los temas relacionados con la misión científica del CINMA.

Estos fondos-semilla deberán generar propuestas definitivas que permitan la obtención de financiamiento de instituciones mexicanas y estadounidenses, como: National Science Foundation (NSF), National Institute of Health (NIH), Department of Energy (DOE), CONACYT, Fondos Sectoriales, Mixtos y Consorcios, así como de fundaciones industriales y privadas.

## **Instituto de Física, BUAP**

<http://www.ifuap.buap.mx/>

Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas", Av. San Claudio y Blvd. 18 Sur, Col. San Manuel, Edificios 14 'A' y 'B', Ciudad Universitaria; 72570 Puebla, Pue.

Tel.: (52 222) 229 56 10; Fax: (52 222) 229 56 11

### **Posgrado**

El Instituto de Física de la Universidad Autónoma de Puebla, ofrece los Programas de posgrado de Maestría y Doctorado en Ciencias, con dos orientaciones:

- Maestría y Doctorado en Ciencias (Física)
- Maestría y Doctorado en Ciencias (Ciencia de materiales)

Los estudios están orientados hacia la investigación experimental y teórica de las siguientes áreas:

- Física.
- Física atómica y molecular.
- Física matemática, cosmología y altas energías.
- Superconductividad y magnetismo.
- Sistemas complejos.
- Física de superficies e interfaces.
- Ciencia de materiales.
- Química de materiales.
- Materiales complejos e inteligentes.
- Nanopartículas y nanocompositos.
- Propiedades ópticas y electrónicas de superficies e interfaces de materiales.

El objetivo de estos programas es formar recursos humanos de alto nivel, para la docencia e investigación teórica y experimental.

En sus programas de posgrado, el Instituto acepta solamente estudiantes de tiempo completo, entendiéndose por ello que deben cumplir con la carga normal total de su programa respectivo.

### **Contacto**

*Dr. Cristóbal Tabares Muñoz*

Coordinador del Área de Ciencia de Materiales

tabares@sirio.ifuap.buap.mx

## Centros de Investigación y Estudios Avanzados, CINVESTAV

<http://www.cinvestav.mx/info/>

Av. Instituto Politécnico Nacional 2508 Col. San Pedro Zacatenco, 07360 México, D. F. Apartado postal 14-740, 07000 México, D. F.  
Tel: 01 (55) 5061 3800

### Antecedentes

El CINVESTAV fue creado por un Decreto Presidencial que expidió el Lic. Adolfo López Mateos, el 17 de abril de 1961, y que modificó también por Decreto el Lic. José López Portillo, el 17 de septiembre de 1982. Los objetivos fundamentales que persigue, son: preparar investigadores y profesores especializados que promuevan la constante superación de la enseñanza y generen las condiciones para realizar investigaciones originales en diversas áreas científicas y tecnológicas, que permitan elevar los niveles de vida e impulsar el desarrollo del país.

En la actualidad, el Centro cuenta con 28 departamentos académicos, organizados en ocho unidades: tres localizadas en la Ciudad de México y cinco en el interior de la República mexicana. En el CINVESTAV se imparten cursos para graduados y posgraduados, a quienes se otorgan los grados académicos de Maestro o Doctor en Ciencias, en la disciplina que hayan cultivado.

### Departamentos y secciones

Los departamentos académicos se agrupan en cuatro áreas del conocimiento:

- Ciencias exactas y naturales.
- Ciencias biológicas y de la salud.
- Tecnología y ciencias de la ingeniería.
- Ciencias sociales y humanidades.

### Investigación en nanotecnología, CINVESTAV-Unidad Mérida

Unidad Mérida Km. 6 Antigua carretera a Progreso Apdo. Postal 73, Cordemex, 97310, Mérida, Yuc., Méx. / [info@mda.cinvestav.mx](mailto:info@mda.cinvestav.mx) / Tels. (999) 124-21-00 / Fax: (999) 981-29-23

El departamento de Ciencias Exactas y Naturales se divide en secciones como: Física, Física aplicada, Matemáticas, Química y Química de productos naturales orgánicos. La sección de Física aplicada se encuentra en la Unidad Mérida del CINVESTAV, la cual cuenta con ocho áreas de investigación:

- Corrosión.
- Electroquímica.
- Física no-lineal.
- Nuevos materiales.
- Química del estado sólido.
- Física de sistemas granulares.
- Física de la materia condensada.
- Física de partículas elementales.

### Área de nuevos materiales

En esta área de investigación se depositan películas delgadas semiconductoras y superconductoras, utilizando las técnicas de transporte de vapor en espacio reducido y por plasma (*sputtering*). Las películas delgadas son estudiadas en sus propiedades electrónicas y fisicoquímicas. Para ello, se cuenta con una infraestructura de equipo de mediciones eléctricas. La caracterización fisicoquímica y morfológica es realizada mediante técnicas de análisis de superficies, como Espectroscopía Electrónica de análisis químico, ESCA por sus siglas en inglés (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis), o XPS (X-ray Spectroscopy); la Espectrometría de masas de iones secundarios, SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry); Microanálisis Auger de barrido, SAM (Scanning Auger Microprobe). Además, para este tipo de análisis se ha construido un microscopio de tunelamiento electrónico de barrido de resolución atómica, STM (Scanning Tunneling Microscopy). Ya se hacen las primeras pruebas.

### Investigadores

Investigador	Procedencia	SNI y Miembro de la AMC	Correo electrónico
Dr. Román Castro Rodríguez	CINVESTAV (1994)	Miembro del SNI: Nivel 2	<a href="mailto:romano@mda.cinvestv.mx">romano@mda.cinvestv.mx</a>
Dr. Victor Sosa Villanueva	CINVESTAV (1993)	Miembro del SNI: Nivel 1	<a href="mailto:vic@mda.cinvestv.mx">vic@mda.cinvestv.mx</a>
Dr. Juan Luis Peña Chapa	CINVESTAV (1978)	Miembro del SNI: Nivel 3	<a href="mailto:jlpena@mda.cinvestv.mx">jlpena@mda.cinvestv.mx</a>
Dr. Andrés Iván Oliva Arias	CICESE (1994)	Miembro del SNI: Nivel 2	<a href="mailto:oliva@mda.cinvestv.mx">oliva@mda.cinvestv.mx</a>
Dr. Pascual Bartolo Pérez	CICESE (1997)	Miembro del SNI: Nivel 2	<a href="mailto:pascual@mda.cinvestav.mx">pascual@mda.cinvestav.mx</a>
Dra. Patricia Quintana Owen	UNAM (1992)	Miembro del SNI: Nivel 3	<a href="mailto:pquint@mda.cinvestav.mx">pquint@mda.cinvestav.mx</a>

**Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada,  
CICATA-IPN**

http://www.cicata.ipn.mx  
Legaría No. 694, Col. Irrigación; 11500 México, D. F.  
Tel. 5557 6577, 5729 6000 ext. 67785, 67729; Fax 5395 4147

**Antecedentes**

El CICATA Unidad Legaría, perteneciente al Instituto Politécnico Nacional, fue creado como institución educativa por Acuerdo del 2 de septiembre de 1996, con un solo propósito: contribuir al desarrollo y difusión del conocimiento científico y tecnológico, de conformidad con los compromisos establecidos por el Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Nacional de Educación y los Programas Sectoriales, en condiciones que exigen una mejor capacidad de respuesta de las instituciones dedicadas a la enseñanza, la investigación y la innovación. Su Misión es formar recursos humanos del más alto nivel en los posgrados de Tecnología avanzada y Matemática educativa, buscando la vinculación con el sector productivo para contribuir a su transformación mediante la aplicación de la investigación científica, la innovación y el desarrollo tecnológico, usando eficientemente los recursos humanos, financieros y materiales con que cuenta, en beneficio de la sociedad mexicana. Su Visión es ser un centro con liderazgo en la producción y aplicación de investigación científica, tecnología avanzada y matemática educativa, que forma y cuenta con científicos y tecnólogos de alto nivel comprometidos para contribuir en la solución de problemas que afecten a los sectores productivos del país y que sea reconocido a nivel nacional e internacional, como una entidad autosuficiente, que opera a niveles de excelencia, creativa e innovadora, en la generación y difusión del conocimiento científico y tecnológico.

**Objetivos**

- Impartir cursos de formación de recursos humanos, actualización y superación académicas a nivel de posgrado.
- Formar, actualizar y desarrollar recursos humanos de alta especialidad científica y tecnológica.
- Desarrollar y participar, con un enfoque multidisciplinario, en proyectos de investigación científica y tecnológica que se generen tanto en el Instituto como en otras Instituciones.
- Impulsar y coordinar las políticas de investigación tecnológica mediante la aplicación de tecnología de punta.
- Actuar como fuente de información sobre la investigación científica y tecnológica.
- Participar con instituciones e individuos interesados en el impulso de actividades de investigación científica y tecnológica.
- Servir como enlace de la comunidad científica del Instituto Politécnico Nacional con comunidades afines, así como con los sectores productivos de bienes y servicios, público, social y privado, y convertirse en catalizador para actualizar planes y programas de estudio.

**Posgrado en tecnología avanzada**

El CICATA-IPN cuenta con un programa de Maestría y Doctorado incluido en el Padrón Nacional de Posgrado por el CONACYT, por su alta calidad académica y de investigación, con las siguientes líneas de investigación:

- Nanotecnología.
- Física médica.
- Física de materiales.
- Caracterización de materiales.
- Películas delgadas.
- Instrumentación.
- Control automático.
- Tecnología de alimentos.
- Procesos industriales.

	Investigadores
Dr. Miguel Angel Aguilar Frutis	Profesor Titular. Doctor por el CINVESTAV-IPN en la especialidad de física. Líneas de investigación: fabricación por rocío pirolítico de materiales en películas delgadas; caracterización óptica, estructural y eléctrica. Cursos que imparte: Introducción a las películas delgadas, fenómenos electromagnéticos. Investigador Nacional Nivel II.
Dr. José Antonio Calderón Arenas	Profesor Titular. Doctor por el CINVESTAV-IPN en la especialidad en física. Líneas de investigación: Técnicas fototérmicas; propiedades termofísicas de la materia; física del estado sólido. Cursos que imparte: Radiometría, técnicas fototérmicas, métodos matemáticos. Coordinador Académico del Posgrado en Tecnología Avanzada. Investigador Nacional Nivel II.
Dr. José Antonio I. Díaz Góngora	Profesor Titular. Doctor por la ESFM-IPN en la especialidad de física.

	<p>Director de la ESFM (1985-1989); Secretario Académico del IPN (1989-1995); Director del CICATA Legaria (2002 a la fecha).  Líneas de investigación: Granulometría; propiedades ópticas de materiales; metrología.  Cursos que imparte: Física del estado sólido; métodos matemáticos; fenómenos electromagnéticos.</p>
Dr. José Luis Fernández Muñoz	<p>Profesor Titular.  Doctor en Tecnología Avanzada por el CICATA Unidad Legaria.  Líneas de Investigación: Modelación matemática de procesos de difusión; cambios fisicoquímicos en procesos de nixtamalización, análisis de deshidratación en harinas.  Cursos que imparte: Interacción de la radiación con la materia; fenómenos de transporte.  Investigador Nacional Nivel I.</p>
Dr. José Luis Herrera Pérez	<p>Profesor Titular.  Doctor en ciencias por la Universidad de Campinas, Brasil, en la especialidad de Física.  Líneas de investigación: Propiedades ópticas y estructurales de películas semiconductoras III-V; fabricación y caracterización de detectores sensibles al IR; fabricación de microarreglos de DNA.  Cursos que imparte: Técnicas de caracterización óptica, interacción de la radiación con la materia.  Investigador Nacional Nivel I.</p>
Dr. Ernesto Marín Moares	<p>Profesor Titular.  Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de La Habana, Cuba  Líneas de investigación: Fenómenos y líneas fototérmicas y sus aplicaciones.  Cursos que imparte: Técnicas fototérmicas.  Investigador Nacional Nivel II.</p>
Dr. Eduardo San Martín Martínez	<p>Profesor Titular.  Doctor en ciencias por la Universidade Estadual de Campinas, Brasil, en la especialidad de Alimentos.  Líneas de investigación: Almidón y modificaciones; procesos de extrusión de biopolímeros; procesos alternativos en tratamientos de aguas.  Cursos que imparte: Diseño de experimentos y análisis estadístico, operaciones unitarias.  Investigador Nacional Nivel I.</p>
Dr. Francisco Sánchez Ramírez	<p>Profesor Titular.  Doctor por la Facultad de Química de la BUAP, en la especialidad de físico-química.  Líneas de investigación: Síntesis de materiales nanoestructurados, metales y semiconductores; propiedades ópticas, estructurales y eléctricas; catálisis y sensores.  Cursos que imparte: Física del estado sólido; métodos matemáticos; fenómenos electromagnéticos.  Investigador Nacional Nivel Candidato.</p>
Dr. Edilso Reguera Ruiz	<p>Profesor Titular.  Doctor en Ciencias Químicas por el Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba.  Líneas de investigación: Síntesis y caracterización de materiales moleculares; Ensamblaje de bloques moleculares.  Cursos que imparte: Materiales moleculares: síntesis y caracterización; estructura electrónica y cristalina de materiales moleculares.  Investigador Nacional Nivel III.</p>
Dr. Teodoro Rivera Montalvo	<p>Profesor Titular.  Doctor por la UAM con especialidad en física.  Líneas de investigación: Dosimetría de estado sólido; propiedades luminiscentes, ciencia de materiales.  Cursos que imparte: Física del estado sólido, protección radiológica, mecánica cuántica.  Investigador Nacional Nivel I.</p>
Dr. Juan Azorin Nieto	<p>Profesor en Año Sabático.  Doctorado en Ciencias (Física) por la Universidad Autónoma Metropolitana.  Líneas de investigación: Seguridad Radiológica, Dosimetría, Determinación de los niveles de radiación ambiental. Física médica, Dosimetría en radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear. Dosimetría de radiaciones no ionizantes.  Investigador Nacional Nivel III</p>

## Infraestructura

- Laboratorio de Reología.
- Laboratorio de Microbiología.
- Laboratorio de Fisicoquímica.
- Laboratorio de Pruebas Físicas.
- Laboratorio de Películas Delgadas.
- Laboratorio de Pruebas Dieléctricas.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Laboratorio de Técnicas Fototérmicas.
- Laboratorio de Propiedades Termofísicas.
- Laboratorio de Biochips y Nanoestructuras.
- Laboratorio de Resonancia Magnética Nuclear.
- Talleres mecánico y eléctrico.
- Áreas de plantas piloto.
- Centro de telemática.
- Aulas de cómputo.

## **Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV**

<http://www.cimav.edu.mx/>

Calle Miguel de Cervantes No. 120, Complejo Industrial de Chihuahua; 31109 Chihuahua, Chih.

Tel 01 (614) 439 4806; Fax 01 (614) 439 1112

### **Antecedentes**

El CIMAV es una institución integrada al Sistema CONACYT. Fue fundado en la ciudad de Chihuahua, en octubre de 1994, y su creación se origina por acuerdo entre los Gobiernos federal, estatal, y la Canacindra delegación Chihuahua, lo que le ha conferido características particulares que han modulado, de manera afortunada, el proceso de su desarrollo.

Su Misión es la de realizar investigación científica, desarrollo tecnológico y formar recursos humanos en Ciencia de materiales y Medio ambiente, con criterios de excelencia para impulsar el desarrollo sustentable regional y nacional de los sectores productivo y social. Su Visión es ser un líder nacional, con reconocimiento internacional, en investigación, educación, ciencia y tecnología de materiales y ambiental.

### **Posgrado**

El CIMAV ofrece los grados de maestría y doctorado con especialidad en Ciencia de materiales y Ciencia y tecnología ambiental. Los programas de posgrado del CIMAV pertenecen al padrón de excelencia del CONACYT.

### **Investigación**

Las líneas de investigación del CIMAV, son:

- Física de materiales.
- Química de materiales.
- Medio ambiente y energía.

### **Infraestructura**

- Laboratorio de Análisis Térmicos.
- Laboratorio de Beneficio de Minerales.
- Laboratorio de Biohidrometalurgia.
- Laboratorio de Carbón Activado.
- Laboratorio de Catálisis.
- Laboratorio de Química Computacional.
- Laboratorio de Polímeros.
- Laboratorio de Cementos, Mortero y Concretos.

## División de Nanociencia y Nanotecnología (DINANO) de la Sociedad Mexicana de Física (SMF)

<http://www.smf.mx/dinano/DINANO.php>

Sociedad Mexicana de Física, A. C.

<http://www.smf.mx/>

Departamento de Física 2do. piso, Facultad de Ciencias, UNAM; Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México D. F. Tels:/Fax (52-55) 5622-4946, 5622-4848

### Antecedentes

La Sociedad Mexicana de Física, a través de la DINANO, promueve la discusión de ideas y problemas de investigación actuales, haciendo énfasis en el estudio de la nanociencia y la nanotecnología en reuniones anuales. De hecho, la DINANO organizó su II Reunión Nacional en el 2007, en Boca del Río, Veracruz, con los siguientes objetivos:

- Discusión de ideas y problemas de investigación.
- Buscar la proyección de la investigación en nanociencia y nanotecnología, a nivel nacional.
- Iniciar la construcción de una base de datos de recursos humanos e infraestructura de investigación, para colaboraciones interinstitucionales y entre grupos.
- Buscar el estrechamiento de relaciones académicas entre los diferentes grupos de investigación del país, por medio de problemas de interés común.
- Que esta ocasión marque el inicio de más Reuniones Nacionales de Nanociencia y Nanotecnología (al menos una al año), entre investigadores de estas disciplinas en México, con la participación de invitados extranjeros.
- Discusión de objetivos y metas comunes, como comunidad.
- Discusión de la factibilidad de una Iniciativa Nacional de Investigación en Nanociencia y Nanotecnología.
- En esta ocasión, celebrar y difundir la creación del Centro de Micro y Nanotecnología (MICRONA) de la Universidad Veracruzana (UV).

### Invitados

- Faustino Aguilera Granja (IFUASLP)
- Paul Barbara, (UT-Texas)\*
- Alipio G. Calles Martínez (FC-UNAM)
- Gerardo Contreras Puente (ESFMIPN)\*
- Romeo de Coss (CINVESTAV-Mérida)
- Richard Crooks (UT-Texas)\*
- Sergio Fuentes Moyado (CCMC-UNAM)\*
- Ignacio L. Garzón (IF-UNAM)
- Miguel José Yacamán (UT-Texas)
- Román López Sandoval (DMAV-IPICYT)
- Alejandro de Lozanne (UT-Texas)\*
- José Luis Morán López (UT-Texas)
- Cecilia Noguez Garrido (IF-UNAM)
- Umapada Pal (IF-BUAP)
- Eduardo Pérez Tijerina (FC-UANL)
- Aldo H. Romero Castro (CINVESTAV-Querétaro)
- José M. Saniger Blesa (CCADET-UNAM)
- Ángel Saucedo Carvajal (MICRONA-UV)

### Temas de investigación

- Nanocatálisis.
- Síntesis y caracterización de nanopartículas y alambres.
- Nanoaplicaciones en medicina y energía.
- Fenómenos de transporte a nanoescala.
- Propiedades ópticas, electrónicas y magnéticas de NPs.
- Espectroscopia e imagenología de nanomateriales.
- Pozos cuánticos.
- Avances recientes en nanotubos de carbono.
- Física computacional de materiales.
- Electroquímica de nanomateriales.

### Contacto

*Dr. Pedro J. García Ramírez*, (MICRONAUV)

*Dr. Leandro García González*, (MICRONAUV)

*Dr. Juan Martín Montejano Carrizales*, (IFUASLP)

[jmmc@ifisica.uaslp.mx](mailto:jmmc@ifisica.uaslp.mx)

*Dr. José Luis Rodríguez López*, (DMAV-IPICYT)

[jlrz@ipicyt.edu.mx](mailto:jlrz@ipicyt.edu.mx)

## Instituto Tecnológico de Tijuana

www.ittijuana.edu.mx

### Antecedentes

La investigación en nanotecnología en el Instituto Tecnológico de Tijuana se desarrolla en el Centro de Graduados e Investigación en Química, ubicado en la Unidad Otay, cuya construcción se inició en 1982. Actualmente se ofrecen los siguientes programas:

- Doctorado en Ciencias en Química.
- Maestría en Ciencias en Química.
- Ingeniería en Nanotecnología.

Es importante resaltar que el Instituto es una de las primeras instituciones del país en ofrecer un programa en nanotecnología a nivel licenciatura.

### Objetivos

- Desarrollar investigación de competencia internacional en nanotecnología.
- Formar profesionistas a nivel Doctorado, Maestría e Ingeniería.

Investigadores	
Dr. Gerardo Aguirre	Hernandezgaguirre@tectijuana.mx
Dr. Daniel Chávez Velasco	dchavez@tectijuana.mx
Dra. María Félix Navarro	Rosarmfelix@tectijuana.mx
M.C. David García Zavala José	m-quim@tectijuana.mx
M.C. José Guerrero Guerrero	jpgrogro@yahoo.com.mx
Dr. Harry Hellberg Lars	lhellber@sciences.sdsu.edu
Dr. Ángel Licea Claverie	aliceac@tectijuana.mx
Dr. Wai Lin Ho Shui	sl388@aol.com
Dr. Domingo Madrigal Peralta	madrigal@tectijuana.mx
Dra. Mercedes Teresita Oropeza Guzmán	oropeza1@yahoo.com
Dr. Miguel Parra Hake	mparra@tectijuana.mx
Dra. Esther Pina Luis Georgina	gpinaluis@yahoo.com
M.C. Reveriano Reynoso Márquez	rreynoso@tectijuana.mx
Dr. Ignacio A. Rivero Espejel	irivero@tectijuana.mx
M.C. Pilar Sánchez Méndez	psanchez@tectijuana.mx
Dr. Ratnasamy R. Somanathan.	somanathan@tectijuana.mx
Dr. Arturo Zizumbo López	azizumbo@tectijuana.mx
Dr. Rodolfo Salgado Delgado	

### Infraestructura

- Espectrómetro de masas.
- Espectrómetro de masas con trampa de iones acoplado a cromatógrafo de líquidos con electrospray.
- Cromatógrafo de líquidos con colector de fracciones.
- Análisis térmico diferencial-infrarrojo.
- Resonancia magnética nuclear 200 y 60 MHz.
- Equipos para química combinatoria.
- Difractómetro de rayos X.
- Microscopio de fuerza atómica.
- Cromatógrafos de gases.
- Equipos ultravioleta-visible.
- Analizador simultáneo DSC-TGA acoplado a infrarrojo.
- Analizador térmico DSC modulado.
- Electrodo de gota de mercurio.
- Polarógrafo.

## Proyectos

- Desarrollo y evaluación de materiales novedosos para la administración de fármacos antineoplásicos: micelas poliméricas de tamaño controlado.
- Síntesis y caracterización de materiales bien definidos, sensibles a la temperatura y al pH para aplicaciones biotecnológicas.
- Copolímeros en dibloques mediante polimerización radicalica controlada un paso hacia materiales nanométricos para nuevas tecnologías.
- Desarrollo de sistemas de liberación sostenida para fármacos en base a una nueva clase de poliácidos hidrofóbicos.
- Obtención electroquímica de copolímeros de silicio en celdas divididas.
- Aplicaciones de dendrímeros quirales soportados en fase sólida.
- Síntesis de moléculas antena.
- Síntesis orgánica en fase sólida y su aplicación en química analítica
- Síntesis de bibliotecas de péptidos: evaluación de afinidades a iones metálicos, receptores de histamina, análogos de DNA y comosensores químico.
- Remoción de Pb(EDTA)<sub>2</sub>- por nanoelectrofiltración de flujo cruzado.
- Desarrollo de un nuevo concepto de electromembranas que controlen su tamaño de poro en función del voltaje aplicado.

## Programa de Ingeniería en Nanotecnología

### Objetivo

Desde el año 2008, en que dio inicio, formar profesionistas para obtener, caracterizar y manipular la materia y dispositivos a nanoescala, para desarrollar productos y sistemas nanotecnológicos sustentables, cumpliendo con las normas y estándares internacionales.

### Perfil de egreso

Un ingeniero en nanotecnología realiza investigación, analiza, caracteriza, interpreta y diseña materiales y dispositivos nanoestructurados que se aplican en los sectores industriales, de servicios y de investigación, para responder a las necesidades de desarrollo económico, social y tecnológico.

### Competencias específicas

- Caracterizar las propiedades de los materiales y dispositivos nanoestructurados en el laboratorio, cumpliendo con los estándares internacionales de calidad.
- Desarrollar metodologías para obtener diferentes nanoestructuras y dispositivos que apliquen en un campo específico de los sectores industriales, de servicios y de investigación, cumpliendo con normas internacionales.
- Interpretar los distintos fenómenos físicos, químicos y biológicos que fundamentan los desarrollos nanotecnológicos a nivel nanoescala con base en las teorías de la nanociencia.
- Determinar las aplicaciones potenciales de los materiales y dispositivos nanoestructurados en un campo específico de los sectores industriales, de servicios y de investigación cumpliendo con normas internacionales y de desarrollo sustentable.
- Simular modelos de sistemas nanotecnológicos que permitan predecir sus posibles propiedades fisicoquímicas y sus aplicaciones en el proceso de investigación utilizando plataformas computacionales.
- Solucionar problemas mediante la nanotecnología en un campo específico de los sectores industriales, de servicios e investigación, cumpliendo con los estándares internacionales de calidad
- Proponer protocolos para desarrollos nanotecnológicos en la industria y las instituciones de investigación que respondan a las necesidades económicas, sociales y políticas nacionales e internacionales.
- Participar en el desarrollo de investigaciones en el área de nanotecnología, bajo la tutoría de un profesor investigador.
- Formar recursos humanos (capital humano, capital intelectual) en el área de nanotecnología, que participen en la industria, certificados profesionalmente por organismos acreditados.
- Desarrollar productos nanotecnológicos en las distintas industrias bajo los estándares internacionales de calidad.

### Contacto.

M.C. Pilar Sánchez Méndez  
sanchez@tectijuana.mx

## **Nano Mex'08**

En la UNAM se conformó la Red de Grupos e Investigación en Nanociencias (REGINA) en el año de 2003; se lanzó el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental (PUNTA) en 2005, y se inauguró, en marzo de 2008, en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM en Ensenada, Baja California.

En tal contexto, Nano Mex'08 es un encuentro internacional que surge de la necesidad de impulsar un diálogo interdisciplinario, de alta calidad, sobre los avances reales, promesas e implicaciones de la nanotecnología, para 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 indeseados.

Nano Mex'08 es una iniciativa del programa "El mundo en el siglo XXI", del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología, y del Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental, todos de la UNAM.

### **Contacto:**

Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM,  
Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM.  
Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental, UNAM.  
Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM.  
UNIVERSUM, Museo de las Ciencias, UNAM.

**Anexo 5****Porcentajes de población mayor de 24 años con al menos un grado académico de educación superior**

INEGI: Estadísticas de educación 2000-2005.

Entidad federativa	2000			2005		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Estados Unidos Mexicanos	12	14.5	9.8	14.5	16.5	12.7
Aguascalientes	13.3	16.2	10.7	16.1	18.5	14
Baja California	12.9	14.7	11.1	15.1	16.2	13.9
Baja California Sur	12.8	15.3	10.3	15.8	17.4	14.3
Campeche	11.3	13.7	8.9	14.5	16.6	12.6
Coahuila	14.8	17.3	12.4	17	19.1	14.9
Colima	12.4	15.1	9.8	15.4	17.6	13.4
Chiapas	6.7	8.5	4.9	8.6	10.4	7
Chihuahua	11.6	13.4	9.8	13.4	15	11.9
Distrito Federal	22.1	27.2	17.6	25.2	29.1	21.8
Durango	10.4	12.6	8.5	12.6	14.3	11
Guanajuato	7.4	9.1	5.9	10	11.6	8.7
Guerrero	8.9	10.6	7.4	11.1	12.3	10.1
Hidalgo	8	9.5	6.6	10.4	11.7	9.2
Jalisco	12.4	15.1	10	15.2	17.5	13.2
México	11.5	14.3	9	13.8	15.9	11.9
Michoacán	8.2	10.3	6.5	10.3	12.1	8.8
Morelos	12.4	14.8	10.3	14.6	16.5	13
Nayarit	11	12.2	9.8	13.6	14.2	12.9
Nuevo León	16.9	20.5	13.5	19.1	22	16.3
Oaxaca	6.5	8	5.1	8.7	10.1	7.5
Puebla	10.1	12	8.4	12.5	14	11.1
Querétaro	12.7	15.6	10.2	16.3	18.7	14.1
Quintana Roo	12	14.1	9.9	14.3	15.7	12.8
San Luis Potosí	10.1	11.6	8.6	12.9	14.1	11.8
Sinaloa	13.3	15.5	11.1	16.8	18.4	15.3
Sonora	12.9	15.2	10.6	15.6	17.4	13.8
Tabasco	10.4	12.8	8.1	13.1	14.9	11.3
Tamaulipas	13.8	15.9	11.8	16.2	17.8	14.8
Tlaxcala	10	11.5	8.6	12.3	13.6	11.2
Veracruz	9.4	10.8	8	12.2	13.4	11.1
Yucatán	9.7	11.9	7.6	12	13.9	10.2
Zacatecas	8	9.8	6.5	10.2	11.5	8.9

Fuente: INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

INEGI. II Censo de Población y Vivienda, 2005.

## Anexo 6

## Tecnologías e Instituciones participantes en NANOMEX

Tecnologías-Competencias clave	Institución participante
Síntesis de nanopartículas	CIMAV, CIDETEQ, UANL, UASPL
Auto ensamble de nanoestructuras	CIMAV, IPN, UAG, UASPL, CIDETEQ
Nanomateriales, funcionalización y aplicaciones	CIMAV, CIQA, CIAD, CINVESTAV Saltillo, CIDETEQ,
Metódos mecánicos químicos de síntesis	UASPL, CIMAV, CINVESTAV Querétaro, COMIMSA, CIDESI
Estructuras poliméricas	CIQA, CIATEC, CICY, ITZ, UDG, IIM UNAM
Síntesis de estructuras cerámicas	CIITEC-IPN, CINVESTAV Saltillo, UAM Azcapotzalco, IF UNAM
Nanotubos de carbono y sus aplicaciones	CIMAV, CIQA, CIAD
Materiales avanzados para vidrio y cemento	CIITEC-IPN, UACH, CIMAV, CIDESI
Materiales avanzados para empaque	CIQA, CICY, UDG
Propiedades eléctricas y mecánicas de nanoestructuras y nanocompuestos	CINVESTAV Querétaro, CIITEC-IPN, CIMAV, CIATEC
Caracterización fisicoquímica de nanopartículas y nanoestructura	CIITEC-IPN, CIQA, CIMAV, CIATEJ, CIDESI, IIM UNAM, CINVESTAV Saltillo, CINVESTAV Querétaro
Nanoestructuras biocompatibles	CIBNOR, CIAD
Nanobiotecnología	CIAD, UACH, UNISON, UACJ
Interfases nano-macro y superficies metálicas	CIATEQ, UAM, CIITEC-IPN
Reactividad química	CIMAV, CIATEQ
Simulación y modelación computacional	CINVESTAV México, CINVESTAV Querétaro, BUAP, CIMAV, UAM Azcapotzalco, UAM Iztapalapa, UG
Nanometrología	CENAM

## Anexo 7

## Entrevista con el Dr. Humberto Terrones Maldonado, investigador del IPICYT

El IPICYT es actualmente un centro de público de investigación del sistema CONACYT, y representa un esfuerzo importante encaminado a descentralizar las actividades científicas y tecnológicas en nuestro país. Este centro genera conocimiento científico y tecnológico en las áreas de Biología molecular, Ciencias ambientales, Materiales avanzados, Matemáticas aplicadas y Geociencias aplicadas. En la división de Materiales avanzados se realizan investigaciones teóricas y experimentales de nuevos materiales, principalmente nanoestructurados, para aplicaciones en nuevas tecnologías.

El jefe de la división de Materiales avanzados es el Dr. Humberto Terrones Maldonado, quien en una entrevista concedida a los estudiantes del tercer semestre del Doctorado en Ingeniería de la DEPI-UAQ (1), afirma que México está a tiempo de aprovechar el auge actual de la nanotecnología a nivel mundial, puesto que cuenta con un número considerable de investigadores interesados en el tema, además de una infraestructura importante. Sin embargo, se requiere que los centros de investigación y los investigadores colaboren entre sí, para enfrentar el hecho de que en México no hay suficientes investigadores, además de que se debe seguir trabajando para hacer de la nanotecnología un área de investigación con impacto nacional. A este respecto, afirma que los investigadores deben trabajar juntos para obtener recursos no sólo de México, sino en el extranjero, e inclusive, menciona que hay esquemas en la Unión Europea dentro del "Marco 6", en donde se dedican recursos exclusivamente para México en el rubro de Desarrollo de Nanotecnología, pero lamentablemente la respuesta de los investigadores ha sido, hasta ahora, muy pobre.

El Dr. Terrones refiere que el esfuerzo encabezado por el IPICYT, durante el periodo 2002-2005, con reuniones anuales en que participaron centros de investigación e instituciones de educación superior, si bien no logró crear un programa nacional de nanotecnología, logró despertar el interés de los investigadores en el tema, pero sobre todo consiguió que el CONACYT llegara a considerar a la nanotecnología como un tema de prioridad nacional.

En el año de 2006, el CONACYT emitió dos convocatorias. Una de ellas para la creación de laboratorios nacionales, en donde el Consejo se comprometía a proporcionar 20 millones de pesos, mientras que la institución que solicitaba se comprometía a dar 20 millones adicionales. La segunda convocatoria es de megaproyectos, en la cual se ofrecen hasta mil millones de pesos para los proyectos seleccionados. El IPICYT participó en ambas convocatorias con propuestas relacionadas con nanotecnología, y consiguió recursos por 20 millones de pesos en la primera por parte de CONACYT, mientras que los otros 20 millones fueron proporcionados a través de fondos concurrentes por el gobierno de San Luis Potosí. En la convocatoria de megaproyectos la propuesta del IPICYT pasó a una segunda etapa de evaluación. Cabe mencionar que instituciones como CIMAV y UNAM también presentaron propuestas relacionadas con nanotecnología, por lo que se está evaluando la posibilidad de establecer conexiones entre estos proyectos para empezar a establecer una red interinstitucional.

El alcance del megaproyecto es el de establecer una conexión con la industria y un posgrado nacional de nanotecnología, principalmente. El enfoque social del proyecto está dirigido a difundir la nanotecnología en la sociedad, puesto que es la misma sociedad la que debe decidir sobre lo que más conviene, saber si existen riesgos en la nanotecnología, y legislar en caso de que los haya.

En cuanto a la creación de redes y el establecimiento de conexiones, es un hecho que hay intereses particulares entre instituciones, lo que no ha permitido sacar provecho de la multidisciplinariedad inherente de la nanotecnología. El Dr. Terrones está a favor de conformar una red nacional incluyente entre centros de investigación e instituciones de educación superior, con un fuerte vínculo industrial.

El investigador del IPICYT afirma que también es fundamental la participación decidida del Estado mexicano, tanto para financiar investigaciones de mediano y largo plazo, como para legislar a favor de la investigación. La inversión en nanotecnología es alta tanto por el costo del equipamiento como por el mantenimiento del mismo. Los impuestos de la compra de equipos y reactivos, que llegan a representar hasta un 35 %, encarecen aún más la investigación en México.

El Dr. Terrones sostiene que no debe ignorarse el beneficio que puede tener invertir, a largo plazo, en proyectos científicos. La inversión que hace la industria o el sector privado en ciencia, es una inversión a corto

---

1 La entrevista se llevó a cabo el 22 de mayo de 2007, en las instalaciones del IPICYT, en la ciudad de San Luis Potosí.

plazo, y es importante porque constituye un primer escalón para indicarle al Gobierno que invertir en ciencia es una buena idea. Sin embargo hay problemas sociales que deben ser resueltos mediante esquemas de largo plazo, mediante proyectos de investigación en torno a áreas prioritarias como fuentes de energía alternas, remediación ambiental, problemas de agua y construcción de casas habitación.

Cuestionado sobre las posibilidades reales de desarrollo del país, el Dr. Terrones acepta que no ve una política de Estado que reconozca a la ciencia y a la tecnología como factor de competitividad, al menos en los próximos 15 o 20 años. Es por ello que propone la enseñanza de la ciencia y la tecnología a los niños, para promover un cambio dentro de 20 años. Aunque también reconoce que sí hay avances en la sensibilización del Estado y hace referencia a la presentación de una agenda para el desarrollo del país, el 11 de mayo del año 2007. Esta Agenda fue coeditada por la UNAM, Editorial Porrúa y la LX Legislatura de la Cámara de Diputados. En este documento, el Dr. José Luis Calva reunió las ideas y propuestas de más de 300 investigadores de las instituciones más reconocidas del país, en materia de tecnología, política y democracia. El resultado fue una colección de 15 volúmenes de propuestas viables de políticas públicas, encaminadas a mejorar la economía mexicana de las últimas décadas (2).

Una propuesta del Dr. Terrones es la creación de un centro regional de nanotecnología, que sea autosustentable, mediante la solución de necesidades específicas regionales o nacionales, para lo cual es necesaria una inversión inicial de los gobiernos estatal y federal. De hecho, considera que el primer estado del país que avance en este sentido, contará con el apoyo de la comunidad científica, así como con recursos provenientes del Estado. En ese sentido, dice, el IPICYT estará dispuesto a colaborar en la formación de ese centro.

---

<sup>2</sup> El Dr. José Luis Calva habla sobre ello en su editorial del día 11 de mayo de 2007, en el periódico *El Universal*: <http://www.eluniversal.com.mx/editoriales/37621.html>



**CONCYTEQ**

**CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA  
DEL ESTADO DE QUERETARO**



GOBIERNO DEL ESTADO DE  
**QUERETARO**  
SECRETARIA DE EDUCACION

  
Querétaro  
es  
Mejor