

- **Metrología para la salud y el medio ambiente**
- **Nanomateriales en instituciones de investigación y educación de México**
- **Red de nanociencias y nanotecnología del CONACYT**
- **Implicaciones de las tecnologías convergentes**



**Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria
en Nanociencias y Nanotecnología**

DIRECTORIO

UNAM

Dr. José Narro Robles
Rector
Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro
Secretario General
Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
Coordinador de la Investigación Científica
Dra. Estela Morales Campos
Coordinadora de Humanidades

Dr. Jaime Martuscelli Quintana
Coordinador de Innovación y Desarrollo
Dra. Norma Blazquez Graf
Directora del CEIICH
Dr. Sergio Fuentes Moyado
Director CNYN
Dr. José Saniger Blesa
Director CCADET

MUNDO NANO

Editores

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos • giandelgado@unam.mx

Dr. Noboru Takeuchi Tan • takeuchi@cnyun.unam.mx

Comité Editorial

Física (teoría)

Dr. Sergio Ulloa • ulloa@ohio.edu
(Departamento de Física y Astronomía,
Universidad de Ohio, Estados Unidos)
Dr. Luis Mochán Backal • mochan@em.fis.unam.mx
(Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, México)

Física (experimental)

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

Ingeniería

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

Microscopía

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

Catálisis

Dra. Gabriela Díaz Guerrero • diaz@fisica.unam.mx
(Instituto de Física, UNAM, México)

Materiales

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

Filosofía de la Ciencia

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

Ciencia, tecnología y género

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

Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow • Louis.Lemkow@uab.es
(Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental,
Universidad Autónoma de Barcelona, España)

Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia • amoz@labcomplex.net
(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y
Humanidades, UNAM, México)

Dr. Ricardo Mansilla Corona • mansy@servidor.unam.mx
(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y
Humanidades, UNAM, México)

Medio ambiente, ciencia y tecnología

Dra. Elena Álvarez-Buyllá • eabuylla@gmail.com
(Instituto de Ecología, UNAM, México)

Aspectos éticos, sociales y ambientales

de la nanociencia y la nanotecnología
Dr. Roger Strand • roger.strand@svt.uib.no
(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,
Universidad de Bergen, Noruega)

Dr. Paulo Martins • marpaulo@ipt.br
(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo, Brasil)

Mtra. Kamilla Kjolberg • kamilla.kjolberg@svt.uib.no
(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,
Universidad de Bergen, Noruega)



Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 3, No. 2, julio-diciembre 2010, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades; el Centro de Nanociencia y Nanotecnología y el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental. Edificio "B", 3er piso, Zona Cultural, Ciudad Universitaria,

Coyoacán, México, 04510, D. F. Editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos y Noboru Takeuchi Tan. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-010713303600-102, ISSN: en trámite. Licitud de Título y Contenido en trámite. Impresa por Solar, Servicios Editoriales, S. A. de C. V., Calle 2 No. 21, San Pedro de los Pinos, México, 03800, D. F. Este número se terminó de imprimir el 29 de abril de 2011 con un tiraje de 500 ejemplares. Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez.

Número financiado parcialmente por el proyecto PAPIIME de la DGAPA-UNAM No. PE100709 y por el proyecto No. 117258 del CONACyT-Gobierno del Estado de Baja California.

www.mundonano.unam.mx

Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin la previa autorización de los editores.

CONTENIDO

4 EDITORIAL

5 NOTICIAS

- 5 Detector de explosivos ultrasensible gracias a nanoalambres
Angemandedte Chemie / Technology Review
- 5 Sobre el envasado de alimentos
- 6 Investigaciones sobre el grafeno podrían conducir a mejoras en los audífonos bluetooth y otros dispositivos inalámbricos
ACS Nano
- 7 Apertura de la banda prohibida en el grafeno por medio de la adsorción de agua
Small (Wiley online library)
- 8 Cemento a la nanoescala es menos contaminante
Journal of Commerce
- 9 Nanopartículas magnéticas y células madre neuronales pueden destruir tumores
ACS Nano
- 9 Superficies que evitan la formación de hielo
ACS Nano / Thecnology Review
- 10 ¿Qué pasa cuando se respiran nanopartículas?
Technology Review
- 11 La nanotecnología podría develar los secretos de la piel joven
Chemical Communications
- 12 Cauchos de nanotubos de carbón que mantienen su elasticidad a temperaturas extremas
Science
- 13 EUA llama a la UE a que termine el bloqueo a OGM y nanotecnología agrícola
The Ecologist (Reino Unido)

14 ARTÍCULOS

- 14 Mediciones confiables para el cuidado de la salud humana y la preservación del ambiente ante la exposición a nanomateriales
Rubén J. Lazos Martínez
- 22 Nanomateriales en las instituciones de educación superior y de investigación en México
Gregorio H. Cocoltzi, R. A. Vázquez-Nava y Noboru Takeuchi

- 49 Sobre la mejora humana por medio de las tecnologías convergentes
José Manuel de Cózar Escalante
- 62 Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias
Martha Eloísa Aparicio Ceja y Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga
- 73 Red Temática de Nanociencia y Nanotecnología
- 101 Microscopía de barrido de efecto túnel: ojos y dedos para nano
María Bassioux y Vladimir A. Basiuk

122 ENTREVISTAS

- 122 Nanotecnología y medio ambiente: Entrevista al Dr. Zanella
Paulina García Matías

127 LIBROS E INFORMES

- 127 *Nanotechnologies and Food (vol. 1 y vol. 2) Science and Technology Committee, House of Lords*
Enero de 2010, Reino Unido
- 129 *The Big Down turn? Nanogeopolitics*
ETC Group
Diciembre de 2010, Canadá
- 130 *Nanotechnology, climate and energy: overheated promises and hot air?*
Friends of the Earth Australia
Australia, 2010
- 132 *Catálogo de patentes de invención solicitadas. Dirección General de Evaluación Institucional, UNAM*
México, 2010

134 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

135 EVENTOS

▼ Imagen obtenida por microscopio electrónico de barrido de bajo vacío JEOL LV-5600.

Autor: Diego Armando Quintero Vargas, técnico del Laboratorio Central de Microscopía del Instituto de Física, UNAM.



Correspondencia:

Mundo Nano. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades. Torre II de Humanidades, 4º piso. Ciudad Universitaria. CP. 04510. México, D.F. México.

El avance de la nanociencia y nanotecnología a nivel mundial sigue tomando fuerza, sumando ya más de 50 mil millones de dólares invertidos en la primera década del siglo XXI y con un presupuesto anual total cercano ya a los 20 mil millones de dólares. La diversidad de productos e insumos que hacen uso de la nanotecnología son crecientes, llegando a más de mil a finales de 2009. Entre éstos, se incluyen productos médicos como agentes contrastantes que mejora la toma de imágenes o productos para el tratamiento de cáncer y la regeneración de tejido óseo a base de nanocristales. Además, se perfilan numerosas líneas de investigación, que incluyen el desarrollo de tecnología de nanocristales para la investigación de nuevas fórmulas por parte de las farmacéuticas; el uso de puntos cuánticos para el análisis de seguimiento de la funcionalidad de las drogas, entre otros ejemplos.

En México, la importación de productos es creciente, desde recubrimientos, textiles, electrodomésticos, cosméticos y químicos, pero también la producción de insumos como lo son los polímeros para la plásticos o para la industria automotriz.

Con más de medio millar de investigadores efectivamente realizando investigación en nanociencia y nanotecnología en México, una buena parte vinculados por medio de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del Conacyt, se identifican numerosas áreas y proyectos de investigación, desde aplicaciones médicas y ambientales, hasta de nuevos materiales de uso múltiple. El interés en el área se comienza a reflejar en nuevas licenciaturas en nanotecnología o ingeniería nanotecnológica con generaciones cada vez mayores. Todo en un contexto en el que la industria realiza algunos escalamientos de líneas de producción de plásticos o textiles que hacen uso de procesos nanotecnológicos.

El presente número ofrece una serie de trabajos que giran en torno a la enseñanza e inves-

tigación sobre nanomateriales en el país. Así, se plantea la importancia de los nanomateriales en las instituciones de educación superior e investigación en México, la utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias para el estudio de minerales, compuestos y materiales, así como, los avances en microscopía de barrido de efecto túnel.

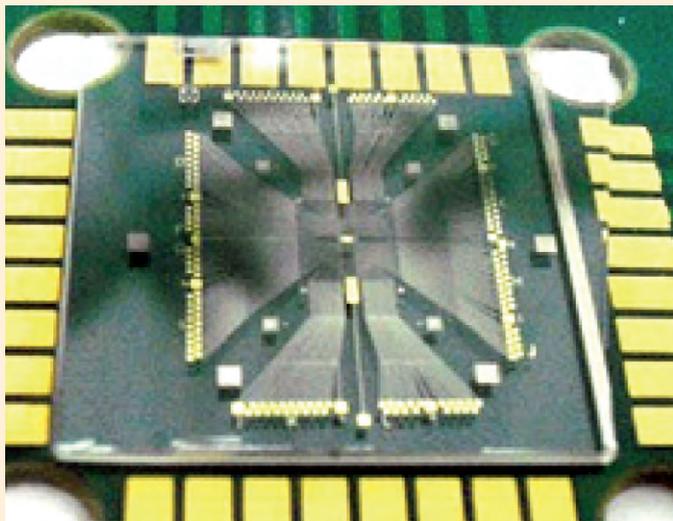
Se suma una presentación sobre la Red Temática de Nanociencia y Nanotecnología del Conacyt, sus metas y objetivos, desde el apoyo al desarrollo de infraestructura y a la movilidad de investigadores, la prioridad al eje nano-bio, el soporte a proyectos estratégicos de ciencia básica y aplicada en el área de lo nano, hasta la discusión sobre cuestiones sociales y éticas y la elaboración de bases para un proyecto nacional en nanociencias y nanotecnología.

Lo anterior se acompaña con una discusión sobre el desarrollo de la nanotecnología en la salud pero desde una perspectiva de su avance como parte de un conjunto de tecnologías convergentes y que apuestan en ciertos casos su uso para la "mejora humana". Un aspecto altamente controversial que requiere de una evaluación ética temprana. También, se incluye una reflexión sobre la necesidad de desarrollar medidas confiables para el cuidado de la salud humana y la preservación del medio ambiente como uno de los pasos necesarios en la estandarización y regulación del sector en el país. Un aspecto sin duda muy rezagado a nivel mundial y prácticamente inexistente en México. De ahí que, desde este espacio, se haga un especial llamado de atención para destinar recursos y personal para avanzar en el diálogo activo y transparente y en la toma de decisiones en este tenor, no sólo en tanto actividades de IyD y productivas, sino también en relación con las importaciones de productos que hacen uso de la nanotecnología.

▼ 22 de septiembre de 2010

Detector de explosivos ultrasensible gracias a nanoalambres

Angemandte Chemie / Technology Review



Un sensor de nanoalambres que puede detectar en segundos trazos extremadamente pequeños de explosivos comúnmente empleados ha sido desarrollado por científicos de la Universidad de Tel Aviv. El dispositivo es mil veces más sensible que la nariz de un perro específicamente entrenado.

El dispositivo podría ser producido a bajo costo e in-

corporado en un instrumento portátil para detectar minas enterradas o explosivos ocultos en puntos de seguridad, según Fernando Patolsky, químico a cargo de la investigación. El prototipo del dispositivo es del tamaño de un ladrillo y resulta atractivo dado el elevado costo de entrenar un perro. Además, el dispositivo es más práctico en términos de portabilidad.

Éste no es el primer dispositivo que puede detectar sustancias con tal fineza. Un sistema de Icx Technologies (EUA) puede detectar vapores de ciertos explosivos con una sensibilidad que iguala la nariz de un perro. El material empleado para ello son polímeros que brillan o dejan de brillar cuando reaccionan a las trazas de explosivos. El dispositivo ya es empleado en operaciones de las fuerzas militares de EUA y en algunos aeropuertos de ese país. El nuevo sensor de la Universidad de Tel Aviv es mil veces más eficiente: puede detectar concentraciones tan bajas como una parte por billón en segundos.

§
<<http://www.technologyreview.com/computing/26327/?a=f>>.

▼ 10 de octubre de 2010

Sobre el envasado de alimentos

Loong Lim-Tak, profesor asociado del Departamento de Ciencia de los Alimentos de la Universidad de Guelph dice, que, en teoría, las bolsas y con-

tenedores “verdes” deberían hacer que algunos alimentos durasen más tiempo pues están hechos con minerales o arcillas absorbentes que se sabe

absorben el gas de etileno que las frutas y hortalizas desprenden cuando maduran.

Lim estudia el envasado de alimentos y trabaja con nanofi-

bras para crear envases que extienden la vida útil de las bolsas de leche, por ejemplo. El problema, sugiere, es que sólo ciertos alimentos se beneficiarían de esta tecnología. Estos alimentos se denominan «climateric», e incluyen las frutas y verduras que maduran después de ser recogidos. Por ejemplo: plátanos, aguacates, melones, mangos, melocotones, peras y tomates.

Para este tipo de alimento, todo lo que absorbe el gas de etileno podría extender su vida útil, dice Lim. Pero esa extensión útil sería cuestión de sólo unos días, no de semanas.

Otras frutas como uvas, fresas, cítricos, sandía y la mayoría de las verduras - probablemente no se beneficiarían de un recipiente hecho con materiales de recolección



de residuos de etileno, pues no maduran después de ser cosechados. Para estos alimentos, sus mayores enemigos son el moho y la pérdida de humedad. “Si las fresas se mantuvieran en estos contenedores, lo que ayudaría a reducir la transpiración [la pérdida de vapor de agua de las partes del producto] también se puede extender su vida

útil. Sin embargo, cualquier recipiente puede hacer eso por lo cual es innecesario un recipiente con (nano)limpiadores de etileno”.

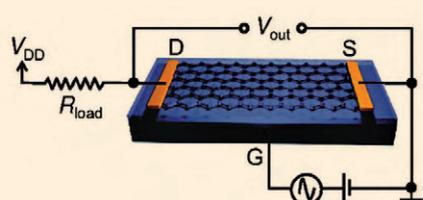
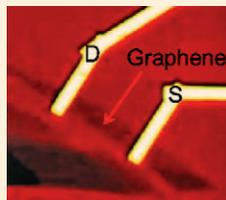
§
<www.ctv.ca/CTVNews/Health/20101008/greenbags-containers-101010>.

▼ 12 de octubre de 2010

Investigaciones sobre el grafeno podrían conducir a mejoras en los audífonos *bluetooth* y otros dispositivos inalámbricos

ACS Nano

Investigadores de la Universidad de California Riverside han construido y probado con éxito un amplificador a partir de grafeno que podría dar lugar a circuitos más eficientes en chips electrónicos, tales como los utilizados en los audífonos *bluetooth* y los dispositivos de cobro de peaje automático en los automóviles. La demostración de los investigadores de la Univer-



sidad de California del amplificador de grafeno con funciones de procesamiento de señales es un gran paso hacia adelante en

la tecnología de grafeno, ya que es una transición de los dispositivos individuales a los circuitos y chips de grafeno.

El amplificador de grafeno revela una mayor funcionalidad y una mayor velocidad. Se puede cambiar entre distintos modos de funcionamiento con un simple cambio de voltaje

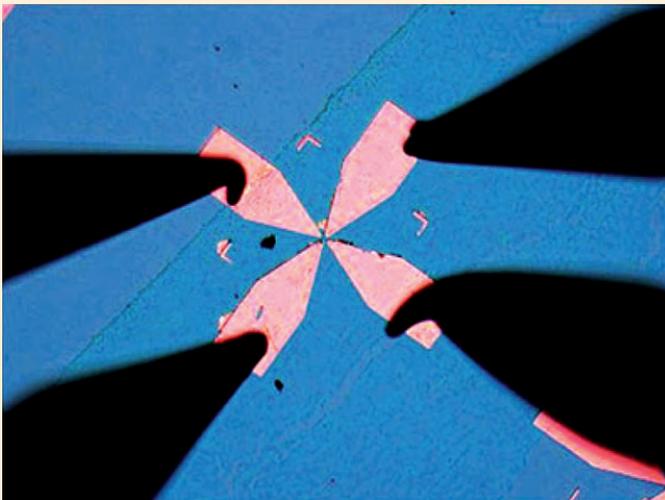
aplicado. Estas características se espera que resulten en chips más simples y más pequeños, una respuesta del sistema más rápida y menos consumo de energía.

§
Referencia: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn1021583>>.

▼ 20 de octubre de 2010

Apertura de la banda prohibida en el grafeno por medio de la adsorción de agua

Small (Wiley online library)



Micrografía óptica de una película de grafeno sobre un sustrato de dióxido de silicio, a la cual se le realizan mediciones eléctricas usando el método de las cuatro puntas.

En su estado natural, el grafeno no tiene una banda prohibida. Para usarlo en aplicaciones de la nanoelectrónica, es necesario generar un gap en el ma-

terial, siendo este, un requisito previo para la fabricación de transistores de grafeno. Al exponer una película de grafeno a la humedad, y controlando

cuidadosamente la cantidad de agua adsorbida en un lado de una hoja de grafeno, un equipo de investigación ha sido capaz de abrir un gap en el grafeno y ha podido ajustar la banda prohibida a cualquier valor entre 0 y 0.2 eV. Este efecto fue completamente reversible y la banda prohibida vuelve a su valor cero en el vacío. La técnica no necesita de ninguna ingeniería complicada ni la modificación del grafeno, sino que requiere de un recinto donde la humedad puede ser controlada con precisión

§
<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sml.201001384/abstract?>>.

▼ 22 de octubre de 2010

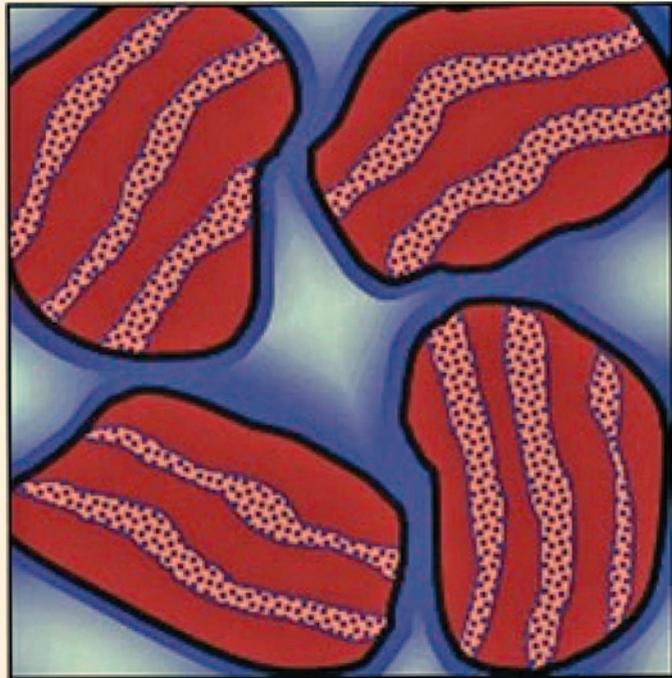
Cemento a la nanoescala es menos contaminante

Journal of Commerce

Una compañía de Atlanta (EUA) asegura haber desarrollado cemento con grano nanométrico que reduce el costo de producción y las emisiones de CO₂ en un tercio. El material es además mucho más resistente.

La empresa, Sriya Green Materials Inc., precisa que su tecnología producirá cemento usando los mismos insumos materiales clásicamente empleados en un proceso de 40 segundos en lugar de 40 minutos. Además, consumirá la mita de la energía.

La fabricación de una tonelada de cemento emite más de 700 kg de dióxido de carbono cuando se utilizan métodos convencionales. Éstos incluyen calentar las materias primas a unos 1,300° a 1,400° C durante 45 minutos o menos. Srinivas Kilambi, CEO de Sriya Green Materials, dice que su proceso consiste en calentar a 260° C, sólo por unos segundos, lo que claramente disminuye la generación de emisiones de CO₂. Por si fuera poco, la empresa asegura que su proceso permite atrapar el mercurio en el cemento en lugar de liberarlo al medio ambiente, tal y como usualmente sucede. Las partículas de cemento convencional son lo suficientemente finas para medirse en micras —una millonésima de un metro. Las partículas en el proceso de Kilambi son mil veces más finas y se miden en



5 nm

nanómetros. Y el trabajo de prueba que se hace en la Universidad de Clarkson, en Potsdam, Nueva York, indica que los concretos con el nuevo cemento efectivamente han fraguado más rápido.

La empresa planea construir una planta piloto para comercializar la tecnología en el área de Atlanta en el 2011. Para 2013, empezaría la construcción de una planta de tamaño comercial de hasta 200,000 metros cuadrados en la que se

produciría un millón de toneladas de cemento “verde” al año.

En esta etapa, la empresa no ha declarado ningún detalle sobre su proceso tecnológico pero de funcionar como lo prevee, la nanotecnología revolucionará la industria de la construcción.

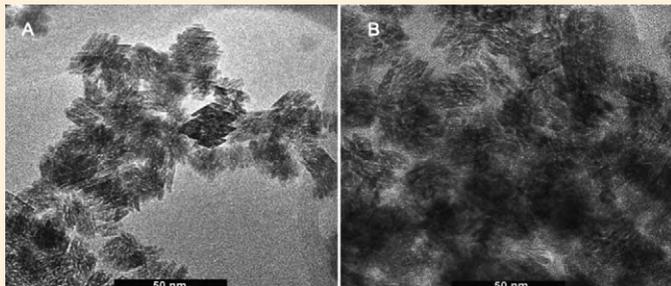
§

<<http://www.journalofcommerce.com/article/id41120>>.

▼ 8 de noviembre de 2010

Nanopartículas magnéticas y células madre neuronales pueden destruir tumores

ACS Nano



A) Imágenes TEM de nanopartículas de Fe/Fe₃O₄.

B) Imágenes de TEM de nanopartículas Fe/Fe₃O₄/ASOX/stealth.

Se ha desarrollado una nueva técnica para eliminar células tumorales cargando células madre neuronales con nanopartículas de óxido de hierro magnético y luego exponiendo las células a un campo magnético. El método de hipertermia

magnética puede usarse para destruir tumores primarios y metastásicos, así como melanomas por vía subcutánea. Los investigadores mostraron por primera vez que las células madre neuronales pueden actuar como una especie de caballo

de Troya de las nanopartículas magnéticas. Las células, que son precursores de las neuronas y a menudo también llamadas células madre neuronales, fueron cargadas ex vivo con nanopartículas bimagnéticas de Fe/Fe₃O₄ e inyectadas vía intravenosa en ratones con melanomas. Después de varios días, los investigadores aplicaron un campo magnético externo de corriente alterna. Las células cancerosas fueron destruidas después de varios ciclos de este proceso.

§

<<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn100870z>>.

▼ 9 de noviembre de 2010

Superficies que evitan la formación de hielo

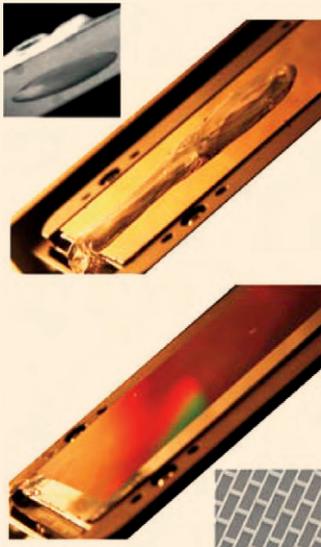
ACS Nano / Technology Review

La formación de hielo durante el invierno es un acontecer muy peligroso, haciendo estragos en las carreteras, líneas de servicios públicos, edificios y transporte aéreo. Los métodos convencionales de librarse del hielo, como el calentamiento directo, la aplicación de la sal, o el uso de productos químicos para hacerlo derretir, tienen sus problemas: pueden ser corrosivos para los materiales en

que son aplicados, producir daños al medio ambiente, y su eficacia es temporal.

Investigadores de la Universidad de Harvard han creado materiales que pueden prevenir la formación de hielo en las superficies. Cuando una gota incipiente de hielo golpea una superficie convencional, se extiende y se agarra, convirtiéndose en una base para la agregación de más gotitas y, fi-

nalmente, en una capa de hielo. Las nuevas superficies «superhidrofóbicas», con diseños geométricos micro y nanométricos con formas como postes, ladrillos u otras estructuras, hacen que las gotas de agua reboten antes de que puedan adherirse. En las pruebas, los materiales resistieron la acumulación de hielo hasta que la temperatura desciende a -30° C. Incluso a temperaturas ultra



bajas, cuando la repelencia al hielo deja de funcionar, el hielo que se forma tiene un agarre débil, lo que requiere una pequeña fracción -menos del 10 por ciento de la fuerza normal necesaria para eliminarlo de las superficies tradiciona-

les. Las nanoestructuras pueden ser grabadas o moldeadas en forma de metal, caucho, o de otras sustancias.

§

<<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn102557p>>.

FIGURA. Una superficie convencional le permite a las gotas de hielo (arriba) "agarrarse" y formar láminas, mientras que la rugosidad en la nanoescala previene la formación del hielo (abajo).

▼ 16 de noviembre de 2010

¿Qué pasa cuando se respiran nanopartículas?

Technology Review

Los científicos han seguido el movimiento de nanopartículas, de los pulmones al torrente sanguíneo, por primera vez. El trabajo podría conducir al desarrollo de nuevos medicamentos y ayudar a los investigadores a comprender cómo la contaminación puede causar problemas respiratorios. Investigadores del Beth Israel Deaconess Medical Center y de la Escuela de Salud Pública de Harvard inyectaron nanopartículas fluorescentes en los pulmones de ratas y utilizaron imágenes de infrarrojo cercano para ver cómo las partículas



se movían a través de sus cuerpos. Los investigadores midieron qué tan lejos y rápido las nanopartículas, de diferente tamaño, forma y carga superficial, eran capaces de viajar una vez inyectadas. Hallaron que las nanopartículas de entre 6 y 34 nanómetros de diámetro son capaces de atravesar las defensas de los pulmones para llegar a los ganglios linfáticos y al torrente sanguíneo. Tal tamaño las hace potencialmente útiles para la entrega de medicamentos puesto que un medicamento tiene que pasar por las barreras de tejidos

y luchar contra las células inmunes del cuerpo para poder entregar su carga terapéutica (de droga) antes de salir del cuerpo para prevenir una reacción tóxica. Los científicos están manipulando el tamaño, forma y otras características de las nanopartículas para encontrar la combinación correcta que les lleve efectivamente a través del cuerpo. "Este trabajo abre el camino a nuevos enfoques terapéuticos, no sólo para la entrega local a los pulmones, sino también para la entrega sistémica a través de la administración pul-

monar», dice Joseph DeSimone, director de nanomedicina en la Universidad de Carolina del Norte, en Chapel Hill.

En el futuro, los investigadores planean realizar estudios similares para evaluar el comportamiento de nanopartículas de las cavidades nasales al cerebro de tal suerte que las drogas puedan ser diseñadas y administradas por vía intranasal para el tratamiento de trastornos neurológicos.

§

www.technologyreview.com/biomedicine/26719/page1/.

▼ 22 de noviembre de 2010

La nanotecnología podría develar los secretos de la piel joven

Chemical Communications



Un experto de la Universidad de Reading, Reino Unido, está estudiando el uso de la nanotecnología para restaurar la juventud de la piel. El crecimiento del colágeno ha sido durante mucho tiempo considerado como el premio final para los fabricantes de cremas contra el

envejecimiento. Ahora hay una pista de cómo un ingrediente en algunos tratamientos contra las arrugas puede estimular el crecimiento y restaurar la elasticidad de la piel. Ian Hamley está tratando de averiguar cómo el compuesto Matrixyl funciona mediante el estudio de la dis-

posición a nanoescala de su cadena larga de carbono y el péptido de cinco aminoácidos pegado en un extremo. Compuestos similares que contienen péptidos formados por menos aminoácidos tienden a formar estructuras cilíndricas, con todas las cadenas largas apuntando hacia el interior y los péptidos apuntando hacia el exterior, informa la revista *New Scientist*.

En Matrixyl, sin embargo, los cilindros son superados en número por «nanocintas» planas, en las que las moléculas se alinean en dos capas con todos los péptidos o las superficies superior e inferior. Las superficies planas formadas por nanocintas puede facilitar la

acumulación de colágeno, dijo Hamley quien espera que este trabajo ayude a la investigación en medicina regenerativa de lesiones al colágeno que contienen tejidos como la piel y el ojo.

Sin embargo, lo que realmente sucede cuando se aplican a la piel aún se desconoce, dice Christopher Griffiths de la Universidad de Manchester, Reino Unido.

§
<www.sify.com/news/nanotechnology-could-unlock-secret-of-youthful-skin-news-international-klwlalajedi.html>.

▼ 3 de diciembre de 2010

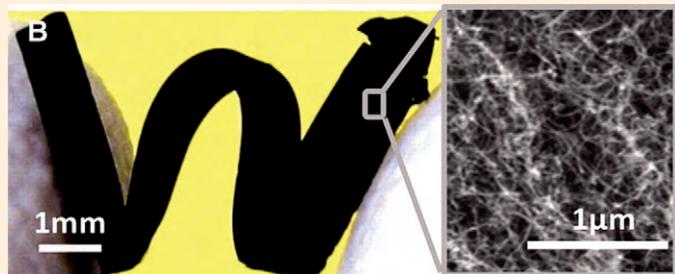
Cauchos de nanotubos de carbón que mantienen su elasticidad a temperaturas extremas

Science

Investigadores en Japón han desarrollado un nuevo material viscoelástico que permanece estable en un rango de temperaturas muy amplio, desde -196°C hasta 1000°C . Éste es el primer material con estas propiedades, pues normalmente los cauchos se descomponen a altas temperaturas y se vuelven quebradizos cuando son sometidos a fríos intensos.

Científicos han estado estudiando los nanotubos de carbono durante los últimos 20 años debido a que estos materiales tienen muchas propiedades notables que incluyen resistencia a tensiones muy altas y conductividades eléctricas muy grandes. Ahora, los investigadores han descubierto una nueva propiedad excepcional en estos tubos: la viscoelasticidad en un amplio rango de temperaturas.

Los materiales viscoelásticos se comportan como líquidos espesos (como la miel), pero son también elásticos, como las bandas de caucho. Un



Fotografía del material con los nanotubos de carbón, junto con una micrografía SEM.

ejemplo de este tipo de material son las espumas de polímero, ampliamente utilizadas en los tapones que se adaptan a la forma de la oreja, pero después recuperan su forma original. La viscoelasticidad se puede encontrar en una variedad de materiales, incluyendo polímeros amorfos y semicristalinos, algunos biomateriales, cristales e incluso algunas aleaciones metálicas.

El nuevo material está hecho de una red aleatoria de nanotubos de carbono de una sola, doble y triple pared, interconectados unos con otros. Tiene la misma viscoelasticidad del cau-

cho de silicona con mayor resistencia térmica a temperatura ambiente. Sin embargo, el caucho de silicona sólo mantiene su viscoelasticidad entre -55°C y 300°C . El nuevo material flexible en un rango de temperaturas mucho más grande y puede recuperar su forma después de haber sido deformado varias veces y muestra una excelente resistencia a la fatiga.

§
<www.sciencemag.org/content/330/6009/1364.abstract>.

▼ 7 de diciembre de 2010

EUA llama a la UE a que termine el bloqueo a OGM y nanotecnología agrícola

The Ecologist (Reino Unido)

La agricultura europea se está quedando atrás debido a su oposición a los cultivos genéticamente modificados, han advertido oficiales estadounidenses del Departamento de Agricultura (USDA) al hablar ante el Comité de Agricultura, Pesca y Ganadería de la Casa de Loes del Reino Unido. La modificación genética y las aplicaciones de nanotecnología en la agricultura deben ser aceptadas por los consumidores europeos para permitir una agricultura más sustentable en el futuro, agregaron.

“Estoy un poco sorprendido y desilusionado acerca de que la agricultura, que empezó tan fuerte en Europa, no haya dado grandes pasos para llegar a ser la economía que pudiera si estas nuevas tecnologías y acercamientos fueran implementados”, afirmó el Dr. Ro-

ger Beachy jefe científico de la USDA.

Los científicos —dijo— deben encontrar las formas para hacer que estas tecnologías no suenen amenazantes a los consumidores. Y es que muchos países europeos se han opuesto a la introducción comercial de cultivos genéticamente modificados tomando nota de la petición que hicieron Greenpeace y Avaaz en la que hay un llamado a prohibirlas, contando con más de un millón de firmas de apoyo.

Si bien el Parlamento Europeo ha permitido la liberación de los cultivos de OGM, no obstante, en julio de 2010 votó a favor de la prohibición de carne y productos de consumo diario derivados de animales clonados e introdujo una moratoria a los alimentos que utilizan nanotecnología hasta que

los riesgos potenciales puedan ser regulados.

Baroness Howarthof Breackland, miembro del comité inglés, ha expresado su apoyo a la postura de EUA y ha dicho que la UE ha fallado en ver la investigación sobre OGM con objetividad, dejándose llevar por grupos particulares de interés. Y advierte: “yo creo que esto podría pasar con nuevas tecnologías a menos que los científicos encuentren la forma de presentar la información de una forma diferente y logren abordar a los consumidores también en un nivel diferente”.

§

<http://www.theecologist.org/News/news_round_up/689723/us_calls_for_an_end_to_the_eu_block_on_gm_and_nanotechnology.html>.

Mediciones confiables para el cuidado de la salud humana y la preservación del ambiente ante la exposición a nanomateriales

RUBÉN J. LAZOS MARTÍNEZ*

RESUMEN: Se consideran como vertientes en el desarrollo de las nanotecnologías las que se refieren a los productos novedosos que propician la competitividad de las economías, y las que tratan de sus consecuencias para la sociedad, en particular, de los efectos en la salud humana y en el ambiente por la exposición a nanomateriales, cuyos avances presentan un rezago considerable respecto a la primera vertiente; se dispone de resultados concluyentes sólo en unos pocos casos. Como respaldo de tales conclusiones hacen falta mediciones confiables cuyas características de trazabilidad metrológica y de su incertidumbre de medida son discutidas.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, metrología, salud humana, ambiente.

ABSTRACT: Two axes regarding the development of nanotechnologies are considered, that dealing with new products that fosters the competitiveness of the economies, and the one referring to the consequences on the society, particularly the effects on the human health and the environment, advance slower than the first one; concluding results are available in only very few cases. In order to support those, reliable measurements with valid metrological traceability and measurement uncertainty are required.

KEYWORDS: nanotechnology, metrology, human health, environment.

INTRODUCCIÓN

La nanotecnología nos ha alcanzado: se encuentran con facilidad en México pantalones repelentes a las manchas, recipientes para la conservación de alimentos por varias semanas, lavadoras con bactericidas, cosméticos y bloqueadores solares muy eficaces para la protección de la piel, cementos súper resistentes, productos cuyas novedosas características son pretendidamente debidas a sus contenidos de nanomateriales. Incluso, son mucho más sorprendentes los logros en otras disciplinas que no hubieran podido ser alcanzados sin los nanomateriales, por ejemplo, la regeneración de nervios, la entrega precisa de fármacos en las células pertinentes, la remediación de aguas contaminadas, entre otros muchos.

Para los fines de este trabajo, el término “nanomaterial” se utiliza para referirse genéricamente a cualquier sustancia conteniendo alguna forma de material con características propias de la nanoescala.

La importancia creciente de las nanotecnologías puede percibirse en, por ejemplo, la velocidad de crecimiento de los negocios: en 1994, la inversión global en nanotecnologías se estimaba aproximadamente en €5 billones (Royal, 2004: 1), mientras que la producción manufacturera global asciende una década después a US\$ 2.6 tri-

* Centro Nacional de Metrología, México. (rlazos@cenam.mx)

llones (Friedrichs, 2007). De hecho, el número de productos al consumidor con base en nanomateriales se ha casi cuadruplicado en los últimos 4 años (PEN, 2010) superando el millar en 2009; es notable que entre ellos los productos relacionados con la salud y la belleza humanas hayan ocupado el primer lugar por su número a lo largo de varios años. Por otro lado, el gobierno de los EUA, después de una inversión inicial de US M\$ 500, en diez años, ha hecho inversiones acumuladas de US \$12 billones (Holdren, 2010).

Por otro lado, las actividades de investigación y desarrollo en nanociencias y nanotecnologías —NyN— se han acelerado de forma muy importante, baste mencionar que el número de patentes creció al cuádruplo en seis años (de 531 en 1995 a 1976 en 2001) (Royal, 2004) y que el número de publicaciones en el tema, por lo menos se triplicó de 1994 a 2004 (CIMAV, 2007). Cabe anotar que la denominación de nanociencia o nanotecnología es relativamente reciente y que ha englobado a disciplinas con una ya larga evolución previa, siendo ejemplo de ello el estudio de películas delgadas en materiales semiconductores.

Adicionalmente, como previsión para atender el acelerado crecimiento de las NyN, en razón de que se consideran insuficientes los recursos humanos formados en la materia, y para mantener su posición como país en el desarrollo de las NyN, se está recomendando al gobierno de los EUA propiciar la permanencia en ese país de los recursos humanos formados en el mismo (Holdren, 2010).

EFFECTOS EN LA SALUD HUMANA Y EN EL AMBIENTE

Como en toda tecnología novedosa, junto a la aparición de los nuevos productos que conlleva, se encuentran los riesgos de la exposición en alguna de sus formas de los seres humanos a los nanomateriales, y del impacto de éstos en el ambiente en alguna fase de su ciclo de vida. Se entiende que los nuevos productos están asociados a la competitividad de un país, que ellos propiciarían cierto empuje económico. La consideración a los riesgos mencionados tendería a la conservación de la salud humana y del ambiente, aspecto de no menor importancia para la sociedad dado que es uno de los elementos que soporta la sustentabilidad de las nanotecnologías.

Es común entre los estudiosos del tema considerar que los factores de riesgo son la exposición a un nanomaterial y la peligrosidad o toxicidad de dicho material.

Grandes recursos se están dedicando al estudio de los efectos de los nanomateriales en los seres humanos y el ambiente. Se han identificado 158 estudios sobre el tema completos o en su fase terminal en el periodo 2004–2009, y otros 119 por terminarse en fechas posteriores (Aitken, 2009). La mayor parte de ellos están orientados a la salud humana; sin embargo, se han emprendido muchas menos investigaciones sobre los tópicos ambiente y caracterización.

Una de las mayores inquietudes en los países que albergan plantas industriales en las cuales se producen o se manejan nanomateriales, y donde a menudo se utiliza tecnología importada, radica en que la mano de obra local está sujeta a riesgo por la exposición a nanomateriales por lapsos tan prolongados como su jornada laboral aunque debe reconocerse que la mayor parte de los nanomateriales están embebidos en estructuras que les impiden moverse libremente. No sobra resaltar que además de los efectos a corto plazo de la exposición, deben considerarse aspectos epidemiológicos, de persistencia y de bioacumulación.

En operarios expuestos a nanopartículas por inhalación, se estima que el 50% de las partículas con tamaño de alrededor de 20 nm se depositan en la región alveolar (ver, por ejemplo, ISO 12885, 2008: 23) y que aquéllas con baja solubilidad dan lugar a enfermedades pulmonares (Aitken, 2004). Los efectos en la salud humana de la exposición a nanopartículas no solamente dependen de su masa, sino de su área superficial —a menor tamaño mayor toxicidad—, y de su estado de agregación. En otro caso, aún cuando se ha encontrado que las nanopartículas de dióxido de titanio usadas en filtros solares para el cuidado de la piel no penetran en la piel sana, no es claro que dicho resultado prevalezca cuando se trata de pieles con alguna clase de daño o que sufran alteraciones leves como eczemas (véase, por ejemplo, Royal, 2004). Adicionalmente, se ha reportado la translocación de nanopartículas a diferentes órganos en el cuerpo una vez que han penetrado el epitelio celular.

Los nanotubos de carbono —NTC— constituyen otros nanomateriales de carbono con una muy amplia variedad de aplicaciones. Se encuentran con diversas geometrías —diámetro y longitud—, número de paredes e impurezas, resultantes de su método de producción. Se presentan con un aspecto fibroso, similar a las fibras de asbesto, pero a diferencia de éstas, generalmente se agrupan en “gavillas” entrelazadas. Los resultados de los estudios son sensibles a las características del material usado en la prueba, por lo que es importante precisarlas con el detalle suficiente. Por ejemplo, se encuentra que las NTC purificados con ácido han producido en ratas inflamación, fibrosis y granulomas en los pulmones después de una única aspiración. Asimismo, hay evidencias de que los NTC con más de 20 % en peso de impurezas de hierro inducen inflamaciones pulmonares más severas que sus contrapartes purificados (ISO 12885, 2008).

Sobre el uso de los resultados de estudios para obtener conclusiones confiables, cabe anotar algunos argumentos que mueven a su cuestionamiento [Grainger, 2010], entre los cuales se encuentran: la falta de una caracterización confiable o completa de los nanomateriales bajo prueba, la interferencia del nanomaterial con el ensayo, los cambios del estado físico del nanomaterial —como estado de agregación— dentro del sistema biológico, la falta de reproducibilidad de resultados entre laboratorios, la posible sobre-simplificación del modelo de toxicidad, la no necesariamente presente correlación directa entre resultados *in vitro-in vivo*.

Dada la complejidad de los sistemas biológicos como el ser humano, o los que están integrados en el ambiente, no es sorprendente la dificultad para realizar estudios definitorios y concluyentes sobre los efectos de los nanomateriales en la salud humana y en el ambiente.

Desde la perspectiva del consumidor final, es notable que, en general, la publicidad sobre el contenido nano esté sufriendo cierto decremento después de haber mostrado un aumento notable (ver, por ejemplo, Rogers, 2005), aparentemente debido a la percepción por parte de la sociedad de que los nanomateriales son de alguna manera nocivos para la salud humana; la falta de resultados sólidos concluyentes ha dado lugar a especulaciones.

A manera de resumen sobre los efectos de la exposición a nanomateriales, actualmente parece haber esperanzas de que la mayoría de ellos no sean nocivos para la salud humana ni para el ambiente, pero se encuentran indicaciones de que la exposición a algunos conlleva riesgos relevantes. Por tanto, es indispensable continuar o emprender los estudios correspondientes para confirmar dichas esperanzas o indica-

ciones con evidencias más sólidas, no solamente sobre la existencia o no de efectos nocivos sino de la cuantificación del nivel de exposición a partir del cual se presentan dichos efectos –la especificación.

MEDICIONES PARA LAS NYN

Las medidas, como resultantes de procesos de medición, constituyen una de las formas que como comunidad hemos aprendido a utilizar para dar objetividad y solidez a nuestros hallazgos; de hecho, de acuerdo con el método científico, las hipótesis se confirman, se modifican o se desechan con base en resultados de medición. Para que las mediciones sean confiables deben producir resultados equivalentes, aunque no necesariamente iguales, independientes del lugar, del momento, de la persona que las lleve a cabo, y hasta del método utilizado, siempre y cuando la magnitud sujeta a medición —el mensurando [VIM, 2009]— sea la misma. Debe notarse que un mensurando, en tanto sujeto a medición, es cuantificable por definición.

La confiabilidad de las medidas se traduce en los conceptos de *trazabilidad metrológica* e *incertidumbre de la medida*.

La *trazabilidad metrológica* es la propiedad de las medidas por la cual se relacionan a una referencia determinada (VIM, 2009), la cual les confiere la característica de producir resultados reproducibles como se ha mencionado. Cabe anotar que la referencia determinada es en última instancia la realización de la definición de la unidad de medida correspondiente. Por ejemplo, se espera que el valor del tamaño de las nanopartículas esté relacionado con la definición del metro como unidad de longitud en el sistema internacional (BIPM, 2006), y, si los diversos interesados toman la misma referencia para las mediciones del tamaño de partícula de la misma muestra, los resultados que obtengan por separado coincidirán dentro de un cierto intervalo de valores previsible, denominado *incertidumbre de la medida*.

Desafortunadamente estos dos conceptos, *trazabilidad metrológica* e *incertidumbre de la medida*, a menudo pasan desapercibidos cuando se generan los métodos de medición y caracterización de nanomateriales, aun en el ámbito de la normalización internacional en la materia. Se reconocen algunas dificultades para medir algunas características, ya sea porque:

- a. No ha podido encontrarse una forma de establecer la relación con la unidad, por ejemplo, las mediciones de longitud del orden de algunos nanómetros no han terminado de relacionarse en toda la extensión con la unidad de longitud (Wilkening, 2005).
- b. Aún no ha sido posible definir las unidades de medida de algunas magnitudes en términos de unidades definidas por consenso, aún cuando no sean las del sistema internacional, como la exposición, por su dependencia de varios factores, algunos todavía no determinados con certeza.
- c. En un considerable número de casos no se cuenta con un modelo de medición como requiere la estimación de la incertidumbre de medida, a partir del cual hacer las cuantificaciones estadísticas necesarias.
- d. No se ha podido traducir la característica de interés como un atributo a una o varias variables medibles, a mensurandos.

Respecto a esta última dificultad, en el comité técnico ISO TC229 Nanotechnologies el grupo sobre ambiente, salud y seguridad, responsable de recomendar especificaciones sobre nanomateriales en atención a estos rubros, ha tenido que tender enlaces con el grupo de medición y caracterización del mismo comité para definir apropiadamente los mensurandos cuyos métodos de medición puedan ser desarrollados o recomendados por parte de éste (Height-Walker, 2010).

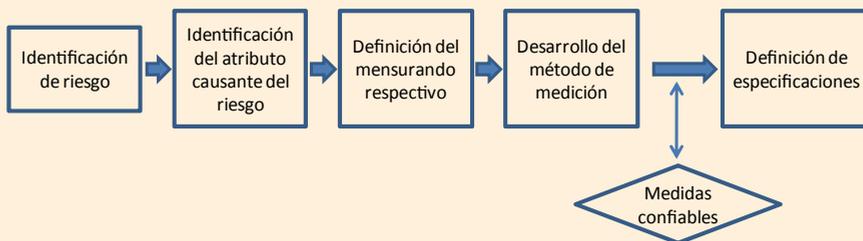
Se cuenta con varias formas para conseguir que una medida sea metrologicalmente trazable:

- a. Por comparación con una referencia metrological —un patrón de medida—, a su vez metrologicalmente trazable a otra referencia metrologicalmente trazable —operación denominada calibración—, hasta llegar a una realización de la definición de la unidad.
- b. Por el uso de un material de referencia certificado, material suficientemente homogéneo y estable con respecto a propiedades determinadas, acompañado por un documento que avale los valores e incertidumbres obtenidos por un procedimiento reconocido como válido (VIM, 2009).
- c. Por la aplicación rigurosa de un método acordado por la comunidad internacional.

Los resultados de medición constituyen uno de los ingredientes vitales en la toma de decisiones, pues soportan primero la determinación de especificaciones y, en etapas posteriores, proveen de información para comparar con dichas especificaciones —valores límite permitidos para una magnitud dada.

No es trivial el proceso de determinar especificaciones, y en particular a partir de la identificación de un riesgo para la salud humana o para el ambiente. La validez del proceso completo depende de la solidez de los hallazgos que se encuentren para cada etapa. El proceso tampoco es lineal como pudiera a primera vista interpretarse del esquema en la figura 1, contiene múltiples ciclos de realimentación en cada etapa y a lo largo del mismo, por ejemplo, la determinación de las especificaciones en la última etapa requiere de los resultados sobre los niveles de exposición y toxicidad permitidos que se encuentren en la primera etapa, una vez que se disponga de métodos válidos de medición. Además, las etapas difícilmente son llevadas a cabo por la misma organización; es frecuente y deseable que en cada etapa concurren los esfuerzos de instituciones varias.

FIGURA 1. Esquema del proceso para determinar especificaciones a partir de la identificación de un riesgo. El rombo y la flecha bidireccional indican una verificación. Cabe anotar que para fines de claridad se muestra una versión enormemente simplificada del proceso.



¿QUÉ MEDIR PARA LAS NANOTECNOLOGÍAS?

En el contexto de los efectos sobre la salud humana y el ambiente, hay coincidencia en que las necesidades elementales de medición relativas a nanopartículas en el aire incluyen la detección de las mismas, determinar si están presentes o no, y proceder entonces a medir su tamaño y la distribución de su tamaño, su concentración, su área superficial, así como a caracterizar su estado de agregación. Por supuesto, queda una larga lista de propiedades que atender, y cuya prioridad depende del nanomaterial de que se trate. Una lista similar aplica para NTC, y los otros nanomateriales.

En la literatura se encuentran numerosos métodos y técnicas para la medición o caracterización de nanopartículas y de NTC (ver, por ejemplo, Hasselov, 2008 o Lójkowski, 2006), entre los que se encuentran, microbalanzas en conjunto con selectores de tamaño de partícula para masa, contadores de partículas por condensación, microscopía electrónica de transmisión o de barrido para la determinación de geometría y morfología, entre otros. Desafortunadamente, muchos de estos métodos o técnicas adolecen de alguna deficiencia que les impide producir resultados de medición confiables en el sentido comentado en este trabajo.

En particular, la inexistencia de referencias metrológicas es una situación generalizada en el ámbito internacional, no privativa de nuestro país, de modo que la comunidad internacional está haciendo esfuerzos para aliviarla mediante tres vías principales:

- a. La elaboración de materiales de referencia certificados, para la cual se ha logrado conjuntar la información en un catálogo público (COMAR).
- b. La oferta de servicios de calibración confiables que desafortunadamente es aún muy escasa, tan sólo el National Physical Laboratory del Reino Unido ofrece la calibración de contadores de partículas por condensación.
- c. La implementación del Arreglo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas, como resultado de la cual se ha generado una base de datos de servicios ofrecidos por los laboratorios nacionales de metrología a todo interesado, evaluados por sus pares (KCDB). Debe mencionarse que actualmente esta base no contiene tantos servicios orientados a las nanotecnologías como se espera en un futuro cercano.

En México, el Centro Nacional de Metrología desde hace varios años ha emprendido actividades tendientes a satisfacer algunas de las necesidades de medición para las nanotecnologías, enfocadas a proveer de referencias determinadas para implementar o fortalecer la trazabilidad metrológica de las mediciones que para las nanotecnologías se realicen en el país.

Entre tales actividades se encuentran:

- a. La producción de materiales de referencia para tamaño de partícula inscritos en COMAR.
- b. Participaciones en pruebas de comparación entre laboratorios sobre determinación de tamaño de partícula, promovidas por el Programa de metrología Asia-Pacífico (APMP) y por el Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS), donde se ha demostrado que los resultados producidos en la materia son confiables.

- c. La participación en el Arreglo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas desde su origen, en donde aún no están incluidas entre nuestras capacidades de medición o calibración inscritas en el Arreglo, las dirigidas a las nanotecnologías.

¿QUÉ PODEMOS HACER EN MÉXICO PARA ENFRENTAR LOS RETOS DE LAS NANOTECNOLOGÍA?

- Acelerar el desarrollo de patrones de medida y métodos de medición para la caracterización confiable de productos con base en naomateriales y del ambiente laboral particularmente.
- Incentivar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en la materia.
- Elaborar sinérgicamente por parte de los involucrados y promulgar por parte de las autoridades competentes, un marco normativo que prevenga o mitigue los efectos en la salud humana y el ambiente de la exposición a nanomateriales.
- Aplicar a las nanopartículas libres y nanotubos de carbono el mismo trato de manejo precavido que se aplica a nuevos productos químicos (Royal, 2004).
- Recomendar a los fabricantes la emisión de una declaración formal de los nanomateriales que se hayan agregado a sus productos.
- Publicar por parte de los fabricantes los procedimientos para el manejo de los productos con nanopartículas y nanotubos de carbono en las fases finales de su ciclo de vida, ya sea vía desecho, destrucción o reciclado (Royal, 2004).
- Promover la participación de México en los diversos foros internacionales, como la OCDE o ISO, para incorporar los puntos de vista nacionales en las decisiones de carácter global al respecto.

CONCLUSIONES

Los estudios de los efectos no deseables en la salud humana y el ambiente a consecuencia de la exposición a nanomateriales aún no han producido resultados concluyentes, causa de inquietudes para la sociedad en su necesidad de asegurar la sustentabilidad de las nanotecnologías.

Los resultados de medición confiables producen certeza en las conclusiones y en la toma de decisiones, su confiabilidad depende de que presenten la propiedad de trazabilidad metrológica a una referencia válida y de una estimación apropiada de su incertidumbre de medida. El camino para lograr la obtención de medidas confiables para atender las nanotecnologías aún es largo, sin embargo México, en concierto con la comunidad internacional, procura acelerar el paso dentro de sus posibilidades.

REFERENCIAS

- Aitken R. J., K. S. Creely, C. L. Tran. 2004. *Nanoparticles: An occupational hygiene review*. Research Report 274, Institute of Occupational Medicine, for the Health and Safety Executive.
- Aitken R. J., S. M. Hankin, B Ross, C. L. Tran, V. Stone, T. F. Fernandes, K. Donaldson, R. Duffin, Q. Chaudhry, T. A. Wilkins, S. A. Wilkins⁶, L. S. Levy, S. A. Rocks, A. Maynard. 2009.

EMERGNANO: A review of completed and near completed environment, health and safety research on nanomaterials and nanotechnology. Defra Project CB0409 Report TM/09/01, marzo.

- APMP, *Asia-Pacific Metrology Programme*. Información en <http://www.apmpweb.org/>
- BIPM, Bureau international des Poids et Mesures. 2006. *The international system of units*, 8a. ed. p. 112. Disponible en http://www.bipm.org/en/si/si_brochure/general.html.
- CIMAV. 2008. *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en Mexico*. Febrero.
- KCDB, *The BIPM Key Comparison Database*. Disponible para consulta en <http://www.bipm.org/>.
- COMAR, The international database for certified reference materials. Disponible para consulta en <http://www.comar.bam.de/en/>.
- Friedrichs S., Schulte J., 2007. *Science and Technology of Advanced Materials*, 8, 12 -18.
- Grainger David W. 2010. *Challenges facing in vitro nanotoxicity assays: analysis, dispersion, dosimetry, and answer*. 4th. Tri-national Workshop on Standards for Nanotechnology, Ottawa. Disponible en <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/events/inms/2010/02/03/tri-national-workshop.html>.
- Hasselov M., Readman J. W., Ranville J. F. and Tiede K. 2008. "Nanoparticle analysis and characterization methodologies in environmental risk assessment of engineered nanoparticles". *Ecotoxicology* 17:344–361.
- Height-Walker A. 2010. *ISO TC229 Joint Task Group: understanding measurands for nano EHS comparability*, 4th. Tri-national Workshop on Standards for Nanotechnology, Ottawa. Disponible en <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/events/inms/2010/02/03/tri-national-workshop.html>
- Holdren J. P. et al. 2010. *Report to the President and Congress on the Third Assessment of the National Nanotechnology Initiative*, marzo.
- ISO TR 12885. 2008. *Nanotechnologies – Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies*. Este documento hace referencia a los trabajos originales que soportan sus afirmaciones.
- Lojkowski W., Turan R., Proykova A., Daniszewska A. (eds). 2006. *Eight Nanoforum Report: Nanometrology*. julio. Disponible en www.nanoforum.org.
- PEN, The Project on Emerging Nanotechnologies. 2010. Consulta en www.nanotechproject.org/inventories/consumer/updates/ el 12 de abril de 2010.
- Rogers L. 2005. Safety fears over 'nano' anti-ageing cosmetics. *The Sunday Times*, julio 17.
- Royal Society (The) and the Royal Academy of Engineering. 2004. *Nanoscience and nanotechnologies*, julio.
- VAMAS, *Versailles Project on Advanced Materials and Standards*. Disponible para consulta en <http://www.vamas.org/>.
- VIM. 2008. *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados*. JCGM 200:2008. BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. 2009. 2009. *Norma mexicana NMX-Z-055-2009-IMNC*, equivalente al original en inglés en su traducción al español. Disponible en www.cenam.mx.
- Wilkening G. and Koenders L. (eds.) 2005. *Nanoscale calibration standards and methods*. Wiley-VCH.

Nanomateriales en las instituciones de educación superior y de investigación en México

GREGORIO H. COCOLETZI,* R. A. VÁZQUEZ-NAVA,**
NOBORU TAKEUCHI***

INTRODUCCIÓN

La obtención o fabricación de materiales para usos cada vez más específicos ha sido fundamental para el avance de la humanidad a través de los tiempos. Tan es así que diferentes épocas históricas del desarrollo humano se clasifican de acuerdo con el avance del hombre en el control de los materiales: se habla, por ejemplo, de la edad de piedra, de la de bronce o la del hierro. El siglo pasado se caracterizó por un gran avance en la industria semiconductora o del silicio, lo que permitió la fabricación de sofisticados dispositivos electrónicos cada vez más pequeños. La necesidad de fabricar nuevos materiales con funcionalidades específicas ha hecho que hoy se pueda ver, medir, modificar y manipular átomos y moléculas. La nanociencia y la nanotecnología se ocupan del estudio y aplicación de sistemas de dimensiones muy pequeñas (entre 1-100 nanómetros). A estos tamaños los materiales (llamados nanomateriales) tienen un área superficial muy elevada con respecto a su volumen, y sus propiedades fundamentales (como color, dureza, punto de fusión, propiedades magnéticas, etc.) son diferentes con respecto a las que presentan en las escalas micro o macroscópicas. De tal forma, el confinamiento de la luz o de los electrones en dimensiones reducidas hace que las propiedades ópticas y electrónicas cambien.

La nanotecnología, al controlar la forma en cómo se acomodan los átomos y las moléculas, lo que busca es usar las propiedades de los nanomateriales en aplicaciones novedosas. Esta disciplina constituye una revolución científicotecnológica, pues ha venido a transformar radicalmente los conocimientos, conceptos de manufactura y diseño de estos nuevos materiales.

Actualmente, los nanomateriales se están utilizando en un buen número de industrias para aplicaciones en sistemas electrónicos, magnéticos, optoelectrónicos, energéticos, catalíticos, biomédicos, farmacéuticos, y cosméticos.

En el año 2000, el entonces presidente de los Estados Unidos, William Clinton, impulsó un programa para desarrollar la nanociencia y la nanotecnología. Este proyecto permitió a la Unión Americana establecer de manera firme los proyectos de investigación para estudiar sistemas a escala nanométrica, como nanopartículas de metales o de semiconductores. Sin embargo, anterior a este programa, en la década de los 70's ya se estudiaban sistemas como pozos cuánticos y películas delgadas de semiconduc-

* Instituto de Física, Universidad Autónoma de Puebla, Apartado Postal J-48, Puebla 72570, México.

** Centro de Investigación en Óptica, León, Guanajuato, México.

*** Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, Baja California. Con el apoyo de la DGAPA: proyecto INI01809.

tores y de metales donde los tamaños de los espesores eran de sólo varios nanómetros. La construcción de estos sistemas es posible gracias a las técnicas de crecimiento como la epitaxia de haces moleculares (MBE) y los métodos de deposición química de vapor. En las siguientes líneas daremos una breve explicación de su funcionamiento.

La epitaxia por haces moleculares (MBE del inglés *molecular beam epitaxy*) es un método de fabricación de películas delgadas y heteroestructuras de semiconductores, con el cual se alcanza una gran perfección cristalina. Consiste en la interacción de uno o más haces moleculares o atómicos con una superficie de un sustrato cristalino, la cual es calentada, resultando en un crecimiento capa por capa. Los haces moleculares se obtienen a partir de los elementos en estado sólido, los cuales se colocan en celdas de efusión. En este método es necesario tener un control perfecto de la temperatura y el vacío en la cámara de crecimiento. Un método similar al de MBE es el crecimiento por ablación de láser (PLD del inglés *pulsed laser deposition*), en el cual, un láser pulsado de alta intensidad se incide sobre un blanco (*target*), vaporizándolo y depositando una película delgada sobre el sustrato.

Otro método de fabricación de películas delgadas es el de deposición química de vapor o CVD (de sus siglas en inglés *chemical vapor deposition*). Es un proceso químico, en el que el sustrato es expuesto a uno o más precursores volátiles que reaccionan o se descomponen en la superficie del sustrato para producir el depósito deseado. Dependiendo de las condiciones específicas se tienen variantes diferentes del método. La deposición química organometálica de vapor (MOCVD del inglés *metallic organometallic chemical vapor deposition*) es un método de deposición química de vapor con el que se produce un crecimiento epitaxial de compuestos semiconductores resultantes de una reacción en la superficie de compuestos orgánicos y metalorgánicos. Tiene otros nombres tales como: epitaxia organometálica en fase de vapor (OMVPE), y deposición química organometálica en fase de vapor (OMCVD). Este método es muy usado para fabricar semiconductores III-V como el nitruro de aluminio o el arseniuro de galio.

En la deposición química de vapor asistida por plasma PECVD (del inglés *plasma enhanced chemical vapor deposition*) y RECVD (del inglés *remote plasma enhanced chemical vapor deposition*), también se depositan películas delgadas sobre un sustrato. Aquí, las reacciones químicas involucradas en el proceso ocurren después de la creación de un plasma de los gases reactantes. La ventaja de este método es que el depósito se hace muy rápido y a bajas temperaturas.

Un método similar al CVD es el depósito por capas atómicas (ALD del inglés *atomic layer deposition*), que se basa en el uso secuencial de un proceso químico en fase gaseosa. La mayoría de las reacciones ALD utilizan dos productos químicos, generalmente llamados precursores. Estos precursores reaccionan con una superficie de uno en uno, de manera secuencial. Es muy parecido al método de CVD, pero en este caso, la reacción se divide en dos “medias” reacciones, manteniendo los materiales precursores separados durante la reacción.

Otro método es el depósito por baño químico (CBD del inglés *chemical bath deposition*). Éste consiste en la precipitación controlada del material (por ejemplo, CdS) que se desea obtener sobre un sustrato caliente mediante un sistema de reacciones químicas que tienen lugar en disoluciones acuosas, de forma tal que la precipitación ocurre uniformemente sobre el sustrato.

También se usa el método de *sputtering*, el cual consiste en la extracción de átomos de la superficie de un electrodo debido al intercambio de momento con iones que

bombardean los átomos de la superficie de un material. Como en el proceso de *sputtering* se produce vapor del material del electrodo, es también un método utilizado en la deposición de películas.

Usando algunas de estas técnicas también es posible crecer sistemas de multicapa o heteroestructuras metálicas o semiconductoras. Normalmente, las capas pueden tener espesores que varían desde unos nanómetros hasta algunas micras. Estos sistemas son muy importantes en la fabricación de dispositivos electrónicos que se usan en aparatos tales como lectores de discos compactos, teléfonos celulares, diodos emisores de luz o fotoceldas solares.

Las películas delgadas confinan la radiación electromagnética a la propagación libre en sólo dos dimensiones. Similarmente los pozos cuánticos confinan a los electrones a moverse libremente en dos dimensiones. Esto significa que reducir el tamaño de un sistema produce el confinamiento de las partículas.

Si en lugar de fabricar una película delgada fabricamos un alambre, entonces el confinamiento es bidimensional, el movimiento libre se reduce exclusivamente a una dimensión. Para la propagación de la radiación electromagnética estos sistemas se llaman fibras ópticas, mientras que para los electrones se llaman alambres cuánticos. Los alambres se pueden fabricar con técnicas litográficas y por métodos químicos y electroquímicos.

Finalmente, si hacemos que el sistema ahora tenga las tres dimensiones finitas, entonces cualquier partícula estará confinada en las tres direcciones. Este tipo de estructuras son sistemas que se fabrican para inducir el confinamiento tridimensional. Cabe mencionar que las estructuras que confinan a las partículas en tres dimensiones y cuyo tamaño está en los nanómetros también se les llama puntos cuánticos. Una de las técnicas de crecimiento de los puntos cuánticos de semiconductores es el método de autoensamble. En el proceso se deposita un semiconductor sobre un sustrato. La diferencia en el parámetro de red entre el sustrato y el material que se deposita debe ser igual o mayor al 6%, lo que induce un desacople entre los materiales permitiendo que el material depositado forme islas de diferentes figuras geométricas y tamaños.

En las nanopartículas (objetos de tamaños entre 1-100 nm) el confinamiento también es en tres dimensiones. Es por esto que tienen también propiedades distintas a las de partículas de mayor tamaño y se piensa que pueden ser usadas en muchas aplicaciones en la industria, como la optoelectrónica y la medicina. Las nanopartículas se fabrican en forma económica usando métodos químicos y biológicos. Entre los primeros tenemos, por ejemplo, el modo sol-gel, el de micro-emulsiones. El método sol-gel se inicia con la síntesis de una suspensión coloidal de partículas sólidas o cúmulos en un líquido (sol) y la hidrólisis y condensación de éste sol para formar un material sólido lleno de solvente (gel). El solvente se le extrae al gel simplemente dejándolo reposar a temperatura ambiente durante un periodo de tiempo llamado envejecimiento, en el cual el gel se encogerá expulsando el solvente y agua residual. Al finalizar el tiempo de envejecimiento, el material se somete a un tratamiento térmico para eliminar los solventes y agua que permanecen en el material. Las microemulsiones son mezclas líquidas estables de aceite, agua y un surfactante. A escalas macroscópicas, las microemulsiones son sistemas homogéneos, pero son heterogéneos a escala molecular ya que existen fases de agua y aceite separados por el surfactante. El método de microemulsiones consiste en confinar los precursores de las nanopartículas en uno de los dominios del sistema, con el fin de facilitar la reacción y controlar el tamaño de la nanopartícula. En el método de aspersión pirolítica (*spray pirolisis*) se usa un sus-

trato (metal, vidrio, etc.) colocado dentro de un calefactor al cual se le puede graduar la temperatura y se le hace incidir un aerosol formado por un gas portador (inerte al sistema) más una solución que contiene una sustancia, la cual, al descomponerse sobre la superficie del sustrato, producirá la nanopartícula.

Nanocompositos. Compositos son materiales compuestos por dos o más ingredientes en los cuales al que se encuentra en mayor porcentaje se le denomina matriz y al de menor porcentaje carga. En el caso de los nanocompositos, la carga debe de tener tamaños nanométricos.

Es evidente que es muy importante la fabricación de nanomateriales, por lo que en México se han creado centros de investigación con enfoque principal en estudiar la preparación, realizar la caracterización y buscar las aplicaciones en la industria. En este capítulo presentaremos un reporte de cómo se está desarrollando la investigación en nanomateriales en México. Para ello consultamos las páginas electrónicas de las instituciones y usamos los reportes que se han hecho en las reuniones de especialistas sobre el tema, que han sido organizadas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) de México y otras instituciones académicas. Hemos tratado de incluir el mayor número de instituciones posible, pero en este capítulo no incluimos las nanoestructuras de carbono que serán discutidas en el siguiente. Aplicaciones específicas se presentarán también posteriormente.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO [1]

A. Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN) (Ensenada, Baja California) [2]

El CNYN tiene como misión desarrollar 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 los nanomateriales. En la actualidad, cuenta con 5 departamentos: Nanoestructuras, Física teórica, Físicoquímica de materiales, Nanocatálisis y Materiales Avanzados. Cada departamento tiene sus propias líneas de investigación.

En el Departamento de Nanoestructuras las líneas de investigación son: 1) síntesis de nanomateriales; 2) nanotubos de carbono; 3) metales, sulfuros y óxidos con propiedades electrocatalíticas; 4) semiconductores luminiscentes nanoestructurados; 5) cálculos de primeros principios de la estructura electrónica de materiales y, 6) determinación de la nanoestructura cristalina y electrónica de superficies sólidas y materiales nanoestructurados.

El Departamento de Física Teórica tiene como líneas de investigación: 1) nanomagnetismo y espintrónica; 2) propiedades electromagnéticas de superficies y sistemas inhomogéneos; física estadística de sistemas desordenados y fuera de equilibrio y, 3) cálculos de propiedades estructurales y electrónicas de materiales

El Departamento de Físicoquímica de nanomateriales desarrolla las siguientes líneas de Investigación: 1) propiedades mecánicas de películas delgadas; 2) producción y caracterización de nanopartículas metálicas; 3) propiedades químicas y físicas de los nitruros de metales de transición; propiedades estructurales, eléctricas y magnéticas de sistemas cristalinos; 4) obtención de las propiedades ópticas de películas delgadas de mediante espectroscopias electrónicas; 5) propiedades fisicoquímicas de nanopartículas y cúmulos de plata y oro; materiales luminiscentes; y 6) estudio de nanoestructuras utilizando sistemas biológicos como mediador.

El Departamento de Nanocatálisis desarrolla las líneas de investigación que a continuación se detallan: 1) estudio de sulfuros de metales de transición nanométricos soportados y no soportados para reacciones de hidroprocesamiento; 2) estudio de nanopartículas de metales preciosos (Pt, Pd, Ru, Rh, Au, etc.) sobre soporte nanoestructurados y, 3) uso de las zeolitas para sus aplicaciones catalíticas.

Por último, el Departamento de Materiales Avanzados se dedica al desarrollo de las líneas de investigación en: 1) materiales multiferroicos y ferroeléctricos; 2) interacción luz-materia y, 3) nanopartículas semiconductoras en matrices zeolíticas.

B. Instituto de Física (IF) (Ciudad Universitaria) [3]

El Instituto de Física (IF) de la UNAM está formado por seis departamentos: Estado Sólido; Física Experimental; Física Química; Física Teórica; Materia Condensada y, Sistemas Complejos. En todos los departamentos se realizan investigaciones relacionadas con los nanomateriales. De alrededor de 200 artículos publicados cada año en revistas indexadas por personal de instituto, cerca de 40 son en nanociencia. El Instituto de Física de la UNAM fundó la red de grupos de investigación en nanociencias (REGINA).

El Instituto cuenta con laboratorios para la fabricación y estudio de nanomateriales. Algunos de los proyectos de investigación que se están realizando en el IF sobre el tema son: 1) transporte de carga y generación de segundo armónico en nanomateriales producidos por el método sol-gel; 2) propiedades ópticas de nanopartículas; 3) filtros y dispositivos solares a partir de óxidos conductores transparentes nanoestructurados; 4) deformación controlada de nanopartículas metálicas embebidas en matrices de sílice usando la irradiación iónica; 5) información cuántica a partir del control de la morfología y de las propiedades óptica lineales y no lineales de nanocompuestos metálicos; 6) reconocimiento molecular utilizando nanopartículas quirales; caracterización y escalamiento en la producción de nanopartículas de $MxOy$ (Fe, Cr, Co y Gd) sintetizadas por el método de biosíntesis; 7) caracterización y evaluación preclínica de un nano-sistema dirigido de quimio-radiación para el tratamiento del cáncer cérvico uterino; 8) estructura y reactividad de nanopartículas de Au-Ag soportadas; 9) estudio de la estructura cristalina de materiales a nanoescala a base de metales de transición con propiedades magnéticas, ópticas y catalíticas; 10) deformación controlada de nanopartículas metálicas en sílice mediante la irradiación iónica; 11) formación de nanopartículas metálicas en sistemas de películas delgadas de SiO_2 /metal y Si_3N_4 /metal; 12) fotoconductividad y luminiscencia en materiales amorfos y nanoestructurados sol-gel de ZnO y TiO_2 ; 13) nanocatálisis computacional; 14) propiedades ópticas de nanoestructuras quirales; 15) producción de nanocristales metálicos anisotrópicos en sílice; 16) estudio de sistemas nanométricos incluidos en materia suave para aplicaciones en nanobiotecnología y nanotecnología utilizando técnicas de corte en un ultramicrotomo criogénico de última generación; 17) síntesis y caracterización de nanopartículas de metales de transición por biorreducción; 18) cambios en las propiedades ópticas de películas de ZnO_2 por la irradiación con iones; 19) incorporación de nanocúmulos metálicos y efectos de la radiación.

C. Instituto de Biotecnología (Cuernavaca, Morelos) [4]

El Instituto de Biotecnología es una entidad universitaria localizada en Cuernavaca, Mor., y realiza investigación de excelencia académica para el desarrollo de la biotecnología.

logía moderna, generando conocimiento en diversas áreas, incluyendo las nanociencias. Por ejemplo, tratan sistemas relacionados con la nanobiocatálisis; y ha creado recientemente una línea de investigación sobre nanobiotecnología. Se estudian diferentes sistemas nanoestructurados entre los que se pueden mencionar: los materiales nanoporosos, las nanofibras, los nanotubos y las nanopartículas. Algunas de las ventajas que la nanobiocatálisis ofrece se relacionan con la alta superficie específica y la alta carga enzimática, mayor termoestabilidad y mayor estabilidad operacional. En el estudio de nanopartículas se incluyen las partículas magnéticas.

D. Instituto de Ciencias Físicas (Cuernavaca, Morelos) [5]

El Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM tiene en sus grupos de investigación interés en las nanociencias.

El Grupo de Ciencia de Materiales tiene actualmente entre sus proyectos: 1) la fabricación de nanopartículas de TiO_2 y ZnO en zeolitas para aplicaciones catalíticas; 2) estudios de la influencia de la composición y velocidad de solidificación sobre las propiedades mecánicas y electroquímicas de aleaciones nanoestructuradas con base en aluminio y, 3) la síntesis y caracterización de aleaciones metálicas nanoestructuradas a base de aluminio.

El Grupo de Física Teórica y Computacional desarrolla proyectos en nanociencias sobre: 1) dispersiones coloidales y su agregación; 2) microestructura y reología de cristales líquidos poliméricos; 3) memoria termoelástica anómala en cristales líquidos poliméricos y, 4) epi y nano óptica lineal y no lineal.

En el Laboratorio de Nanopolímeros y Coloides se trabaja en varias líneas de investigación que involucra la nanociencia. Podemos nombrar los siguientes: 1) estudios de nanocompuestos poliméricos, polímeros y nanocompuestos inteligentes; 2) estudios de microestructura por sincrotrón, viscoelasticidad y microestructura. Dentro de las líneas de investigación se desarrollan los siguientes proyectos: microestructura y reología de cristales líquidos poliméricos; correlación nanoestructura y propiedades físicas en nanocompuestos poliméricos; memoria termoelástica anómala en cristales líquidos poliméricos elastoméricos; poliméricos entrecruzados, nanoindentación y microestructura en compuestos a base de poliacrílicos y Policloruro de Vinilo (PVC del inglés *polyvinyl chloride*) reforzados con nanoarcillas.

E. Instituto de Investigaciones en Materiales (Ciudad Universitaria) [6]

La investigación de nanosistemas es uno de los temas de investigación en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. En el Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos los objetivos principales son investigar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y microestructurales de materiales cerámicos y metálicos a través de sus diferentes líneas de investigación, desarrollar nuevas tecnologías y desarrollar nuevos materiales metálicos y cerámicos. En el Departamento de Materia Condensada y Criogenia se estudian las propiedades de transporte electrónico, magnéticas y termodinámicas de materiales a temperaturas bajas. Un enfoque es en sistemas electrónicos altamente correlacionados superconductores, sistemas de baja dimensionalidad (como nanotubos y nanoalambres), óxidos complejos entre otros. Se estudia la síntesis de nuevos materiales en diversas formas: películas delgadas, materiales nanoestructurados y en volumen. A los sistemas les estudian sus características

estructurales, propiedades electrónicas, térmicas, ópticas, mecánicas y magnéticas, y las posibles aplicaciones tecnológicas. En la parte teórica se realizan cálculos de las propiedades físicas y químicas de nuevos materiales. El Departamento de Reología y Mecánica de Materiales también estudia sistemas nanoestructurados: los nanocompuestos poliméricos. Otra línea de investigación en nanociencia es la caracterización fisicoquímica y uso en matrices poliméricas de retardantes de flama (nano- y micro-métricos de silicio, fósforo y aluminio). Específicamente, se realizan estudios de nanomateriales y nanoestructuras en los siguientes sistemas: 1) síntesis y caracterización de nanopartículas metálicas y cerámicas; 2) síntesis y caracterización de nanoestructuras de óxido de zinc y óxido de hierro; 3) estudios de las propiedades de transporte en nanotubos de carbón sometidos a altas presiones; 4) depósito y caracterización de nanoestructuras de carbón por métodos asistidos por plasmas; 5) síntesis y caracterización de películas delgadas de materiales cerámicos nanoestructurados para celdas de combustible de óxidos sólidos de temperatura intermedia; 6) estudios de fenómenos de absorción y transporte en materiales nanoporosos diseñados con funcionalidad específica; 7) fabricación de nanocompuestos de matriz elastomérica para desarrollo de materiales impermeables a sustancias químicas; 8) estudios de las propiedades electrónicas y estructurales de nanocúmulos metálicos; 9) estudios de las propiedades magnéticas en cúmulos nanométricos de metales de transición; 10) investigación teórica mediante simulación numérica del autoensamblado de sistemas de nanopartículas; 11) investigación de propiedades magnéticas de nanopartículas magnéticas; 12) estudios básicos y aplicaciones de películas delgadas de compuestos aislantes de silicio depositadas por plasma; 13) depósito de películas delgadas de silicio y compuestos de silicio nanoestructurados por técnicas asistidas por plasma (PECVD y RPECVD), utilizando halogenuros de silicio; 14) investigación de las propiedades catalíticas de óxidos metálicos nanoestructurados; 15) estudios de la morfología de las superficies de cúmulos de silicio depositados sobre diferentes sustratos a partir de haluros de silicio por PECVD; 16) crecimiento y caracterización de películas delgadas de compuestos de silicio por la técnica de CVD asistida por plasma a partir de la descomposición de diclorosilano y amoníaco; 17) obtención y estudio de la luminiscencia y electroluminiscencia en sistemas de multicapas de compuestos de silicio y en materiales aislantes con nanopartículas de silicio embebidas; 18) obtención de nanoclusters metálicos por sputtering y modificados por tratamientos con plasmas; 19) obtención y caracterización de silicio polimorfo nanoestructurado por la técnica de PECVD para su uso como material en celdas solares; 20) preparación de películas delgadas y nanocompositos de carbono-metal por métodos asistidos por plasmas y, 21) preparación de materiales diversos en películas delgadas mediante la combinación de procesos sol-gel y espin coating.

F. Centro de Investigaciones en Energía (CIE) (Temixco, Morelos) [7]

El CIE desarrolla investigación sobre energía desde las áreas físico matemáticas, químico biológicas, económicas y de las ingenierías, así como de nuevas tecnologías para la generación, transformación y uso de energía, para contribuir al desarrollo sustentable del país. El CIE está dividido en tres departamentos: Materiales Solares, Sistemas Energéticos y Termociencias.

El Departamento de Materiales Solares estudia sistemas fotovoltaicos, dispositivos ópticos y optoelectrónicos, y la evaluación de sistemas fotovoltaicos. El Departamento

está formado por tres coordinaciones: a) Recubrimientos Ópticos y Optoelectrónicos; b) Solar-Hidrógeno: Celdas de Combustión y, c) Superficies, Interfaces y -Materiales Compuestos.

- a) La Coordinación de Recubrimientos Ópticos y Optoelectrónicos tiene como objetivos la investigación básica y aplicada de recubrimientos aislantes, conductores y semiconductores fabricados por el depósito químico en solución, en vapor fisicoquímico, y técnicas relacionadas y derivadas de éstas. Desarrollo de dispositivos ópticos y optoelectrónicos útiles para el aprovechamiento de la energía solar, para uso en fuentes no-convencionales de energía y para preservación de fuentes convencionales de energía. Las líneas de investigación que se desarrollan son: preparación de películas delgadas de semiconductores por procesos químicos y fisicoquímicos; desarrollo de recubrimientos controladores solares de semiconductores laminados en vidrio; desarrollo de materiales para dispositivos ópticos y optoelectrónicos; desarrollo de fotodetectores, celdas solares, generadores termoeléctricos, controladores de radiación solar, sensores de gases; caracterización optoelectrónica de materiales y dispositivos; desarrollo de materiales mediante multicapas de semiconductores.
- b) La Coordinación de Solar-Hidrógeno: Celdas de Combustión tiene como objetivos principales la síntesis y caracterización de materiales para su aplicación en celdas solares, la preparación de celdas de combustible, producción y almacenamiento de hidrógeno, baterías de hidruro metálico y litio, y supercapacitores, la fabricación y caracterización de bioenergía y biocombustibles, la instalación y caracterización de sistemas híbridos de fotovoltaica-hidrógeno-celda de combustible. Las líneas de investigación son: celdas solares de películas delgadas y nanoestructuradas basadas en CuInSe_2 , CdTe y TiO_2 ; celdas de combustible; producción, almacenamiento y aplicación de hidrógeno; nanociencia y nanotecnología aplicada en la síntesis de materiales, fabricación de dispositivos y generación de energía; baterías de hidruro metálico y litio; supercapacitores; bioenergía y biocombustible; y preparación y caracterización de películas delgadas semiconductoras, para su empleo como dispositivos controladores de la radiación solar en edificaciones
- c) La Coordinación de Superficies, Interfaces y Materiales Compuestos tiene como objetivos generar conocimiento en la preparación y caracterización fisicoquímica de los sistemas multifásicos y sus interfaces, análisis de muestras por técnicas espectroscópicas y microscópicas, y de la aplicación de modelos teóricos adecuados. Las líneas de investigación de esta Coordinación son: preparación de materiales compuestos polímero conductor/polímero, polímero conductor/ semiconductor inorgánico, polímero conductor/fulerenos, para aplicaciones múltiples (sensores, diodos rectificadores, recubrimientos protectores, etc.); síntesis de nanopartículas semiconductoras en forma de emulsión y película delgada, para aplicaciones fotocatalíticas y fotoelectrolíticas (producción de hidrógeno); desarrollo de materiales compuestos a partir de fulerenos y otras formas de carbón, para procesos de conversión y almacenamiento de energía; desarrollo de compuestos del tipo II-IV por medio de la técnica de sol-gel para el diseño de conductores transparentes y dispositivos controladores de la radiación solar; fabricación de fotoelectrodos y dispositivos fotoelectroquímicos, fotocatalíticos, y fotoelectrolíticos; depósito químico y electroquímico de pelí-

culas electrocrómicas inorgánicas y poliméricas, así como el desarrollo de dispositivos electrocrómicos ahorradores de energía (ventanas inteligentes); física de superficies de materiales semiconductores; caracterización de interfaces semiconductor/líquido, semiconductor/sólido, semiconductor/gas, mediante técnicas electroquímicas y fotoelectroquímicas.

En el Departamento de Sistemas Energéticos se realizan estudios sobre sistemas para el aprovechamiento de la energía solar y geotérmica; de planificación energética y sistemas de refrigeración, bombas de calor y transformadores térmicos. Está integrado de las siguientes coordinaciones: a) Concentración Solar; b) Geoenergía; c) Planeación Energética y, d) Refrigeración y Bombas de Calor.

Departamento de Termociencias, aquí se llevan a cabo estudios básicos y aplicados sobre fenómenos de termodinámica de procesos irreversibles, mecánica estadística y física del estado sólido; además, se estudia la transferencia de energía y masa en varios sistemas: flujo en canales, convección natural, flujos oscilatorios, entre otros. Está formado de dos coordinaciones: a) Física Teórica y b) Transferencia de Energía y Masa. En la primera se investiga la propagación de radiación electromagnética en cristales fotónicos; los estudios tratan con las propiedades ópticas de nanoestructuras de silicio poroso y los efectos de desorden en los sistemas, enfatizando los aspectos teóricos y experimentales. Las estructuras que se tratan se forman de capas con diferentes porosidades que pueden ser útiles en aplicaciones ópticas como filtros, espejos y microcavidades.

G. Instituto de Química (Ciudad Universitaria) [8]

Está formado por los Departamentos de: Bioquímica; Físicoquímica; Productos Naturales; Química Inorgánica y, Síntesis Orgánica. En el Departamento de Síntesis Orgánica es donde se preparan y caracterizan sistemas nanoestructurados como son las nanopartículas. Además, se investigan las interacciones intermoleculares de fullerenos C_{60} y C_{70} con macromoléculas y las reacciones de cicloadición de fullerenos C_{60} y C_{70} .

H. Centro de Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) (Ciudad Universitaria) [9]

En el CCADET se busca: 1) preparar materiales nanoestructurados con tamaño y forma controlada, así como el desarrollo de metodologías de nanoensamblado; 2) desarrollar herramientas para nanomanipulación y adquisición de señales mediante sondas con resolución nanométrica; 3) desarrollar dispositivos basados en nanoestructuras (sensores, biosensores, purificadores ambientales, lab-on a chip, etc.); 4) desarrollar aplicaciones en áreas estratégicas (medio ambiente, salud, energía, alimentos, entre otras); 5) transferir las tecnologías desarrolladas. Algunos de los proyectos que se desarrollan son: 1) materiales multifuncionales nanoestructurados basados en óxidos mixtos; 2) mecano-síntesis de ferritas nanoestructuradas; mecano-síntesis de óxidos multiferríticos nanoestructurados; 3) síntesis de catalizadores heterogéneos basados en oro; 4) efecto del tamaño de cristal del soporte sobre la actividad catalítica $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$; 5) reacción de desplazamiento del gas de agua (WGS del inglés Water Gas Shift reaction) $CO + H_2 O \rightarrow CO_2 + H_2$; 6) nanocompositos dendrímero-nanopartículas de metales-nobles y sus potenciales aplicaciones medioambientales y farmacológicas; 7) generación de los catalizadores dendriméricos; 8) estudio de la dependencia

de la rugosidad del sustrato con la anisotropía magnética en películas de permalloy; 9) análisis topográfico para diferentes sustratos; 10) películas delgadas de oro nanoestructuradas usando como molde la capa barrera de alúminas anódicas porosas; 11) desarrollo de sistemas metálicos nanoestructurados para ser usados en espectroscopía vibracional; 12) adsorción de contaminantes orgánicos de aguas residuales por silicalita-1 derivada de la cáscara de arroz; 13) nanoestructuras bioinorgánicas; 14) síntesis de nanopartículas de TiO_2 a partir de alcóxidos de titanio.

1. Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA) (Querétaro) [10]

Algunos de los proyectos del Centro CFATA incluyen el desarrollo de polímeros conductores nanoestructurados por métodos químicos oxidativos tiene como objetivo sintetizar químicamente polímeros conductores nanoestructurados para el desarrollo de materiales compuestos plásticos para aplicaciones antiestáticas. Otro proyecto es del desarrollo de dispositivos piezoeléctricos para aplicaciones en odontología está basado en el desarrollo de sensores piezoeléctricos con la finalidad de ajustar la presión.

En el CFATA se desarrolla la síntesis de películas de diamante usando la técnica del depósito químico en fase vapor (CVD) a partir de la inyección pulsada de precursores líquidos orgánicos. Estos precursores incluyen acetona, etanol y metanol. Síntesis de películas de materiales cerámicos a partir de precursores organometálicos usando un sistema de inyección pulsada por depósito químico en fase vapor (MOCVD). Por otra parte, la caracterización incluye las espectroscópicas la raman e infrarroja, así como la microscopía electrónica de barrido (SEM), mismas que se realizan con equipos disponibles en otros laboratorios de este centro. La aplicación de películas de diamante es otra de las líneas de investigación en desarrollo. Dada las excepcionales características del diamante, se intenta desarrollar novedosas aplicaciones dentro de las que se encuentran los detectores de radiación y las herramientas de corte, entre otras.

Hay líneas de investigación que se relacionan con el modelado teórico de las estructuras y propiedades de transporte de materiales no periódicos, como los cuasicristales. Se desarrollan métodos matemáticos para la cristalografía moderna y formación de patrones en sistemas biológicos. Hay interés en los estudios de la propagación de ondas en medios nanoestructurados, en particular en la propagación de ondas de ultrasonido en cristales y cuasicristales fonónicos y ondas hidrodinámicas en cristales y cuasicristales hidrodinámicos. Los cuasicristales que se estudian son de aleaciones metálicas con orden de translación de largo alcance pero con una simetría puntual incompatible con la periodicidad (ejes de rotación de orden 5, 8, 10, 12). Los estudios se centran en la estructura atómica y las propiedades de transporte de estos materiales y la geometría de adoquinados no periódicos.

Se preparan los polímeros conductores nanoestructurados por métodos químicos oxidativos. El objetivo es sintetizar químicamente polímeros conductores nanoestructurados para el desarrollo de compuestos plásticos para aplicaciones antiestáticas. La investigación de nuevos materiales toma en cuenta también el desarrollo de la óptica teórica, además de emplear la microscopía electrónica. Se estudia la termodinámica de sistemas pequeños y se desarrollan de sistemas nanométricos. Se desarrollan nuevos materiales: polímeros, cerámicos, metales e híbridos. En el CFATA se investigan biomateriales cerámicos y microestructuras mediante difracción de rayos-X por el método de polvos. Se desarrollan materiales nanoestructurados con propiedades catalíticas. Además, se preparan materiales mesoporosos, nanoestructurados y nanopartículas.

J. Facultad de Ciencias (Ciudad Universitaria) [11]

La Facultad de Ciencias de la UNAM realiza investigación en nanociencias a través de los posgrados en ciencia en ingeniería de materiales y en ciencias físicas. Algunas de las líneas de investigación que se desarrollan son: propiedades magnéticas de materiales nanoestructurados y el estudio de nanopartículas metálicas y bimetalicas en óxidos metálicos.

K. Facultad de Química (Ciudad Universitaria) [12]

En la Facultad de Química se sintetizan nanopartículas en forma coloidal.¹ Este método de preparación no requiere de instrumentación costosa y complicada. Además, las dispersiones coloidales diluidas permiten controlar las dimensiones de las nanopartículas. Algunos materiales nanoestructurados que se fabrican en la facultad son: partículas metálicas de Ag, Bi, Fe, Cu, Ni y Co; óxidos metálicos: ZnO, Cu₂O, Bi₂O₃, SnO₂, Fe₃O₄ y TiO₂; compositos: Ag@CNT's, Ag@Cgrafito, Ag@MoS₂, Ag@β-CD, Bi₂S₃@Cgrafito, Bi₂S₃@CNT's, Ag-ZnO, ZnO@arcillas multilamelares, SiO₂@ZnO; y sulfuros metálicos: RuS₂, CdS, MoS₄@CdS, SrS, M(II)@CdS, dendrímeros Gn-M(II)@CdS.

Perspectivas y aplicaciones: 1) degradación de gases contaminantes a partir de fuentes de emisión fijas, tales como chimeneas de industrias diversas y ladrilleras, asistida con compositos hechos a base de materiales inorgánicos nanoestructurados; 2) aniquilación de compuestos orgánicos persistentes (bifenilos policlorados, pesticidas organofosfatados y compuestos orgánicos volátiles), asistida con nanopartículas de metales cerivalentes; 3) obtención de materiales nanoestructurados hechos a base de bismuto, que funcionen como agentes contrastantes, no tóxicos, para imágenes de resonancia magnética nuclear (NMR del inglés *nuclear magnetic resonance*) y tomografía por emisión de positrones (PET del inglés *positron emission tomography*); 4) preparación de membranas recubiertas con nanopartículas ZVM (metales de valencia cero) para el tratamiento de aguas residuales industriales; 5) estudio fisicoquímico de la interacción de DNA y nanopartículas inorgánicas; 6) producción masiva de nanopartículas inorgánicas con dimensiones inferiores a 10 nm, usando procedimientos químicos compatibles con el medio ambiente y condiciones de reacción normales; 7) obtención de compositos hechos a base de grafito y nanoestructuras inorgánicas con aplicaciones en la electrónica y la industria aeronáutica.

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL [13]

A. Centro de Nanociencia y Micro-Nanotecnología [14]

Laboratorios propuestos: 1) caracterización, con equipos de difracción de rayos X, espectroscopías, microscopías y nanomanipulación, propiedades fisicoquímicas; 2) dispositivos y microelectrónica; 3) síntesis y procesamiento.

Tiene como líneas de investigación: 1) energía; 2) medio ambiente; 3) biotecnología; 4) microelectrónica y MEMS; 5) materiales y biomateriales.

¹ Díaz, D. <<http://www.nanored.org.mx/documentos/David%20Diaz.pdf>>.

B. Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN [15]

En esta sección describiremos las nanoestructuras cuánticas que se construyen de semiconductores tanto simples como compuestos. Las estructuras se fabrican con capas delgadas de diferentes materiales. Por ejemplo, en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del Instituto Politécnico Nacional hay un grupo de investigadores que se dedican a la fabricación y caracterización de sistemas multicapas semiconductoras. Entre los materiales que se estudian están: CdS, CdTe, Si, compósitos semiconductores y superconductores y celdas solares orgánicas. Se investigan heteroestructuras formadas por estos materiales para su uso como celdas solares. En la actualidad se fabrican también celdas solares orgánicas.

Las técnicas de crecimiento con las que cuenta la ESFM del IPN incluyen el sputtering, complementado con el devastador iónico y el electro-adelgazador de muestras. También trabajan con el método depósito por baño químico (CBD). En la fabricación de películas de CdS se depositaron en vidrio conductor $\text{SnO}_2:F$ en un baño de reactivos químicos en concentraciones determinadas, temperaturas y tiempos de depósito, conteniendo: cloruro de cadmio, cloruro de amonio, hidróxido de amonio y tiourea. Por otro lado con el método de depósito por aerosol se pueden fabricar compósitos semiconductores y superconductores. Un compósito es cualquier material constituido por más de un componente, un ejemplo es el material superconductor Bi-Pb-Sb-Sr-Ca-Cu-O/CdS el cual se ha preparado y caracterizado en la ESFM.

Las caracterizaciones de los sistemas se llevan a cabo con diferentes técnicas. Las propiedades eléctricas se estudian con mediciones de cátodo-luminiscencia. La morfología se investiga usando la microscopia electrónica. La espectroscopia Raman y la foto-luminiscencia se emplean para estudiar las propiedades ópticas.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN [16]

A. Departamento de Física (Zacatenco) [17]

Cuenta con la Sección de Física del Estado Sólido formado por dos grupos: la Sección de Física del Estado Sólido (SFES) y el Grupo de Nanoestructuras Semiconductoras [18]; se dedican a la preparación y caracterización de sistemas que se forman de capas semiconductoras simples y compuestos. SFES cuenta con diferentes técnicas para el crecimiento de películas delgadas las cuales son: erosión catódica por radio frecuencia, baño químico, sublimación en espacio cerrado, rocío pirolítico, depósito en fase vapor asistido por plasma, epitaxia por haces moleculares, epitaxia en fase líquida, *screen printing*, sol-gel y ablación láser. Por otro lado, cuentan con equipos para la caracterización eléctrica, óptica, estructural y química de los materiales.

La caracterización eléctrica se realiza con la espectroscopía transitoria de niveles profundos, fotoconductividad, medición de capacitancia contra voltaje a alta y baja frecuencia y de corriente contra voltaje. Las propiedades ópticas se investigan con fotoluminiscencia, espectroscopía en el ultravioleta, visible e infrarrojo en sus modos de absorción y transmisión, espectroscopía fotoacústica, elipsometría espectral, espectroscopía Raman, fotorreflectancia y reflectividad. Para determinar las estructuras de las muestras se emplean los microscopios electrónicos de barrido y transmisión, de fuerza atómica y de tunelamiento. Las propiedades químicas de los materiales

se caracterizan con la espectroscopía de rayos x de energía dispersa, espectroscopía electrónica Auger y fotoemisión. Asimismo, se trabaja con técnicas fototérmicas para realizar la caracterización de las propiedades térmicas. Además, se cuenta con un difractómetro de rayos x con aditamentos para realizar mediciones a ángulos rasantes y a altas temperaturas necesarios para el análisis de películas delgadas.

También se han realizado estudios en películas nanométricas luminiscentes, dieléctricas y superconductoras depositadas por rocío pirolítico. Las propiedades luminiscentes de las películas se consiguen al ser impurificadas con diversos materiales a fin de generar emisiones luminosas policromáticas en el rango de la luz visible. Estos sistemas luminiscentes tienen aplicaciones prácticas en el desarrollo de las pantallas. La técnica es particularmente adecuada para el depósito sobre áreas grandes a un costo muy bajo. Este grupo ha sido pionero en el uso de la técnica para la obtención de películas luminiscentes, dieléctricas y superconductoras.

El Laboratorio de Nanoestructuras Semiconductoras (NanoSem) [19] cuenta con un grupo de profesores, estudiantes y auxiliares de investigación dedicados al crecimiento y caracterización de superficies, películas delgadas y heteroestructuras semiconductoras de baja dimensionalidad para aplicación en dispositivos optoelectrónicos, particularmente diodos luminiscentes, láseres semiconductores, fotodetectores, celdas solares, etc. Las estructuras se preparan mediante técnicas como la epitaxia de haces moleculares (MBE, *molecular beam epitaxy*), epitaxia de capas atómicas (ALE, *atomic layer epitaxy*), epitaxia de haces pulsados de submonocapas (SPBE, *submonolayer pulsed beam epitaxy*). Los estudios se complementan con la caracterización óptica, electrónica, química, estructural y eléctrica de semiconductores y sus nanoestructuras semiconductoras.

Las heteroestructuras que se construyen de CdSe son de capas delgadas con espesores pequeños de alrededor de tres monocapas atómicas. Esta capa puede usarse como un pozo cuántico donde las energías de los electrones se cuantizan. Se ha detectado experimentalmente la emisión luminiscente verde a temperatura ambiente del pozo cuántico subnanométrico.

C. Departamento de Física Aplicada (Mérida) [20]

Está integrada por cinco cuerpos académicos, de los cuales, cuatro tienen temas relacionados con los nanomateriales: física de materiales; fisicoquímica, medio ambiente e infraestructura; nano y biomateriales; y física aplicada. Algunos de los proyectos que están relacionados con la nanociencia son: estudio cuantitativo de celdas solares de CuInGaSe, películas delgadas de óxidos transparentes semiconductores de CdTe tipo-n y/o tipo-p, estructura atómica y electrónica local en pozos cuánticos de semiconductores II – VI, nanoestructuración y propiedades físicas de capas delgadas de aleaciones metálicas, influencia de la composición de la matriz en la resistencia a la corrosión de compósitos Al-Si-Mg/SiCp obtenidos por infiltración reactiva, y estudio de primeros principios de sólidos y nanoestructuras.

D. Unidad Querétaro [21]

La Unidad Querétaro del Cinvestav está formada por cuatro cuerpos académicos: 1) materiales multifuncionales; 2) nanomateriales; 3) materiales para aplicaciones en energía y medio ambiente y, 4) materiales bioorgánicos.

Las principales líneas de investigación relacionadas con los nanomateriales son las siguientes: 1) procesamiento de materiales nanoestructurados: por deposición física de vapor y rociado térmico, proceso Sol-Gel o Zeolitas; 2) caracterización de superficies a escala nanométrica por: microscopía de fuerza atómica, nanoindentación, caracterización óptica (espectroscopía Raman entre otras); 3) aplicaciones de materiales nanoestructurados: fotocatalisis, catálisis (O_2 y H_2 principalmente); 4) nanociencia computacional: predicción, caracterización y correlación experimental; caracterización de superficies y simulación; caracterización electrónica, vibracional, térmica, elástica y óptica; nanoestructuras magnéticas, metálicas, iónicas y semiconductoras.

E. Departamento de Ingeniería Eléctrica (Zacatenco) [22]

Para el desarrollo de la investigación el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav está organizado en secciones académicas, de las cuales la Sección de Electrónica de Estado Sólido (SEES) [23] desarrolla proyectos en nanociencias y nanotecnología, y donde se realiza caracterización de semiconductores de las siguiente maneras: 1) eléctrica por efecto Hall, I-V (intensidad-voltaje), C-V (capacitancia-voltaje), DLTS (espectroscopía transitoria de nivel profundo, del inglés deep level transient spectroscopy); 2) óptica por fotoluminiscencia y transmitancia; 3) reflectancia, catodoluminiscencia y, 4) estructural por SIMS, microscopía electrónica, microscopía de fuerza atómica, difracción de rayos x. Se estudian, además, materiales semiconductores como silicio monocristalino, silicio amorfo, silicio poroso, semiconductores III-V, semiconductores orgánicos y semiconductores transparentes. Se fabrican dispositivos semiconductores como celdas solares, diodos emisores de luz., OLEDs., TFTs, sensores de gases, sensores MOS basados en transistores de compuerta flotante. Se hace diseño de circuitos integrados VLSI: diseño de circuitos integrados analógicos CMOS, desarrollo de prototipos en tecnología de componentes VLSI digitales- FPGA, diseño de sistemas MEMS (*micro-electro-mechanical systems*), desarrollo de métodos para análisis de datos basados en técnicas neurodifusas.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA (PUEBLA) [24]

A. Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores (CIDS) [25]

El CIDS es un Centro que pertenece al Instituto de Ciencias de la BUAP, en donde hay dos cuerpos académicos: el CA de Materiales y Dispositivos Semiconductores y el CA de Aplicaciones Tecnológicas de Dispositivos Semiconductores.

El CA de Materiales y Dispositivos Semiconductores desarrolla las siguientes líneas de investigación: 1) desarrollo de materiales y estructuras semiconductores y su caracterización; 2) dispositivos electrónicos y optoelectrónicos, diseño y caracterización; 3) estudios de compuestos semiconductores III-V, sus características y las propiedades optoelectrónicas de sus cristales.

El CA de Aplicaciones Tecnológicas de Dispositivos Semiconductores desarrolla las líneas de investigación: 1) diseño y construcción de celdas termoiónicas y termoelectrónicas; 2) diseño de sistemas electrónicos de medición y control; 3) síntesis de nuevos materiales solubles de ftalocianinas con aplicaciones potenciales en optoelectrónica; 4) aplicación de las microondas como fuente alternativa de energía para la

síntesis de compuestos; 5) estudio de efectos transductores para la obtención de microsensores con semiconductores y para materiales no convencionales compatibles con tecnología microelectrónica; 6) diseño, fabricación y caracterización de circuitos integrados, en especial aplicación a MEMS y biosensores.

B. Instituto de Física 'Luis Rivera Terrazas' [26]

Este Instituto está organizado en seis cuerpos académicos. Cada cuerpo académico (CA) tiene líneas de investigación, a continuación se mencionan las líneas de investigación que están relacionadas con nanomateriales.

CA de Física Aplicada: 1) física de superficies e interfaces; 2) propiedades ópticas y acústicas de sistemas periódicos artificiales; se estudian las propiedades ópticas de los cristales fotónicos desde enfoques tanto teóricos como experimentales; en particular se desarrolla una línea experimental dedicada al crecimiento y caracterización de estructuras unidimensionales basadas en silicio poroso, la cual se apoya en el estudio teórico de las propiedades ópticas de cristales fotónicos y las acústicas de los cristales fonónicos utilizando diversos enfoques; 3) cristales fotónicos y fonónicos; se estudia la propagación de ondas electromagnéticas y elásticas en sistemas periódicos uni, bi y tridimensionales; se desarrollan modelos teóricos que permitan controlar la propagación de dichas ondas con propósito de aplicaciones tecnológicas; también se estudian las propiedades de estos sistemas desde un punto de vista fundamental, en particular se calculan constantes efectivas mediante métodos de homogeneización.

CA de Materiales Avanzados: 1) superconductividad y magnetismo; 2) materiales avanzados. En esta línea se investigan las propiedades ópticas y acústicas de materiales compósitos con estructura periódica, cuasiperiódica, y aleatoria; en particular, se estudia la respuesta óptica de metamateriales fotónicos; se desarrollan y aplican modelos teóricos para la descripción de las propiedades acústicas de metamateriales fonónicos; en este tipo de sistemas también se incluyen las nanoestructuras con diferentes tipos de inclusiones: metálicas, semiconductoras, magnéticas y dieléctricas.

CA de Materiales Complejos, Inteligentes y Nanoestructurados: 1) materiales complejos e inteligentes; en esta línea de investigación se desarrollan nuevas técnicas de estudio experimental y teórico sobre materiales complejos como: compósitos, geles, emulsiones, etc.; así como de materiales funcionales también llamados materiales inteligentes, por ejemplo, ferroeléctricos, ferroelásticos, relaxores, fluidos magneto y electro-reológicos, etc.; 2) nanopartículas y nanocompósitos, desde el punto de vista experimental se desarrolla el crecimiento y caracterización de nanopartículas metálicas y semiconductoras; el estudio de nanocompósitos, particularmente los efectos de matrices activas en las propiedades de las nanopartículas y sus posibles aplicaciones; en el aspecto teórico se estudian las manifestaciones de las fluctuaciones y de los efectos de tamaño cuántico propias de estos sistemas para detectar posibles aplicaciones.

CA de Materiales Fotocatalíticos y Fotoconductivos: 1) propiedades morfológicas y químicas de materiales; el objetivo de esta línea de investigación es el estudio de las características morfológicas y de la composición química de materiales mediante las microscopías óptica, electrónica de barrido (SEM) y de fuerza atómica (AFM), las espectroscopías de rayos-x por dispersión en energía (EDS), de electrones Auger (AES) y fotoelectrónica de rayos-x (XPS), para poder elucidar los mecanismos de crecimiento y su influencia en las propiedades fotocatalíticas y fotoconductoras de los

materiales; 2) propiedades fotocatalíticas, luminiscentes y fotoeléctricas de materiales; el objetivo de esta línea es la síntesis de materiales y su caracterización mediante las técnicas de cromatografía de gases y de líquidos, espectroscopias de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), ultravioleta y visible (UV-Vis), fotoluminiscencia, fotoconductividad y efecto Hall, para elucidar los mecanismos de absorción y emisión de luz, la respuesta fotoeléctrica y la eficiencia de los materiales en procesos de óxido-reducción de compuestos orgánicos y de generación de energía.

CA de Física Computacional de la Materia Condensada: 1) cálculos *ab initio* de la estructura electrónica de átomos, moléculas y sólidos; se realizan estudios de la estructura electrónica de átomos, moléculas y sólidos en general, usando el modelo computacional empleando los métodos de la química cuántica y el estado sólido (HF, pos-Hf, DFT), así como la utilización de códigos apropiados para el estudio de sistemas cristalinos. Se hace énfasis en el estudio del proceso de catálisis en superficies semiconductoras y en la obtención de niveles *f* de lantánidos que entran como impurezas en diversos cristales. Se estudia también la formación de nanoestructuras; 2) métodos variacionales y su aplicación en sistemas confinados. Utilizando el principio variacional se realizan cálculos sobre átomos y moléculas bajo confinamiento, lo que es de gran interés en el estudio de puntos cuánticos; 3) propiedades ópticas; cálculos de la respuesta óptica de sistemas de dimensionalidad reducida; los materiales que estudian se forman de metales, semiconductores o dieléctricos; se usan modelos macroscópicos de la función dieléctrica; se realizan cálculos de la fuerza de Casimir en nanosistemas; en particular, se estudian las geometrías de placas paralelas de metales, dieléctricos y semiconductores; 4) simulación molecular de líquidos

C. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas [27]

Dentro de los 11 CA's que tiene la Facultad, los que desarrollan investigación en nanociencias son:

CA de Física de Materiales: 1) interacción de radiación electromagnética en materia condensada: síntesis y caracterización de películas delgadas mediante los procesos sol-gel, baño químico, evaporación por cañón de electrones y evaporación por filamento. Estudio de mecanismos de transporte.

CA de Óptica Cuántica: 1) haces adifraccionales y solitones ópticos: interacciones no lineales en medios cuadráticos, cúbicos, competencia de no linealidades y medios estratificados; fenómenos no lineales ultrarápidos; óptica de campo cercano; 2) sistemas fotónicos: detectores fotónicos; láseres de pulsos ultracortos; cristales fotorefractivos; sistemas para biofotónica; trampas de nanofotónica; técnica de barrido en *Z*; 3) óptica cuántica: estados cuánticos de la luz; absorción multifotónica del medio cuantizado; operador de densidad y modelo eléctrico dipolar.

CA de Optoelectrónica y Fotónica: 1) óptica no lineal: generación, propagación e interacción de pulsos luminosos ultracortos y su interacción no lineal con medios reales y sus aplicaciones en fotónica; 2) sistemas optoelectrónicos: estudio del procesamiento de información óptica, sistemas de comunicación óptica, dispositivos y materiales optoelectrónicos, láseres semiconductores, comunicaciones inalámbricas y reconocimiento de patrones; su interés radica en el estudio de las condiciones óptimas de un proceso, modelo o función; 3) láseres y fibra óptica: en el marco de estudios fundamentales y aplicaciones en fotónica, de manera experimental, teórica y numérica se investiga la interacción no lineal o dispersa de radiación electromagné-

tica en guías de onda, en los procesos de generación, propagación y amplificación de señales codificadas y pulsos ópticos; En estos estudios especial atención se presta al desarrollo de nuevos láseres de fibra óptica.

D. Centro Universitario de Vinculación (CUV) [28]

La investigación en el CUV tiene como objetivo contribuir a la generación de nuevos conocimientos en el campo de la ciencia de materiales, difundir, divulgar y transferir al medio académico los conocimientos generados, los preexistentes y los que surjan de la actividad mundial en ese campo y contribuir a la formación y al perfeccionamiento de recursos humanos, tanto a nivel de investigadores como profesionales y técnicos en sus campos de actividad y en otros relacionados con éstos.

Para realizar las actividades antes mencionadas el área de investigación del CUV cuenta con los siguientes temas de investigación.

Nanomateriales: 1) síntesis de materiales mesoporosos de silica con nanopartículas de plata; 2) métodos experimentales para la obtención de sistemas estables de nanopartículas de Au, Pd y Pt con una distribución de tamaño bastante cerrada.

Materiales cerámicos: 1) materiales cerámicos para dosimetría; recubrimientos cerámicos por depósito químico en fase vapor (CVD); síntesis de nanopartículas cerámicas para aplicación en catálisis.

Materiales híbridos: 1) síntesis y caracterización de recubrimientos híbridos orgánico-inorgánico a base de silica, PMMA y resina epóxica para la protección de sustratos metálicos; 2) síntesis y caracterización de un material híbrido silica-tiol para la remoción de ion cromo en un sistema acuoso; 3) síntesis y caracterización de materiales híbridos a base de PMMA, SiO₂ y nanopartículas de oro.

Biomateriales: 1) síntesis y caracterización de hidroxiapatita por sol-gel, método hidrotermal y precipitación; 2) crecimiento biomimético de hidroxiapatita sobre templates orgánicos; 3) síntesis de hidroxiapatita nanoestructurada usando micelas; 4) materiales compuestos de ácido polilactico-hidroxiapatita

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN (MONTERREY) [29]

A. Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología (CIIDIT) [30]

El CIIDIT es un Centro multidisciplinario e integrador de la UANL constituido por laboratorios de última generación para distintas disciplinas de la ingeniería y tecnología. El Centro comprende las áreas emergentes estratégicas para el desarrollo industrial, económico y productivo a nivel regional y nacional. Su objetivo es dar un impulso decisivo al fortalecimiento de los cuerpos académicos de la Universidad, a los posgrados, a las redes multidisciplinarias de investigación y promover la internacionalización de la institución mediante la firma de convenios de vinculación con otros centros e instituciones de prestigio mundial. Relevantes a las nanociencias, el CIIDIT desarrolla las áreas de investigación en nanotecnología y materiales avanzados.

Los proyectos de desarrollo en el área de nanotecnología son: 1) interacción de nanopartículas de plata con HIV-1, con el objetivo de la destrucción de células enfermas; 2) nanopartículas paramagnéticas-conductoras tipo core-shell, para purificación de aguas residuales; 3) nanopartículas de magnetita en quitosán, para sistemas

de entrega localizada de medicamento y para posicionamiento de nanopartículas en una región específica del cuerpo; 4) nanopartículas de aleación titanio-níquel para activadores eléctricos y/o térmicos.

Los proyectos de desarrollo en el área de materiales avanzados incluyen los siguientes: 1) polímeros aldólicos conjugados para aplicaciones en dispositivos fotoelectrónicos; 2) composito híbrido de resina poliéster-montmorillonita; 3) suspensión de nanofibras de carbono con propiedades electroreológicas, para sensores, actuadores, MEMS y NEMS y, 4) polímeros luminescentes con propiedades de autoensamble para biosensores.

A. Facultad de Ciencias Físico Matemáticas [31]

La maestría y el doctorado en ingeniería industrial cuenta con los laboratorios de diseño molecular (LDM) y nanociencias y nanotecnología. El LDM es un laboratorio para el estudio de propiedades físicas de sistemas a nivel atómico y molecular, a través de técnicas de simulaciones y cálculo numérico basados en principios físicos. El propósito del LDM es contribuir, a través de sus investigaciones y actividades, en la conexión entre los enfoques teóricos y experimentales para el estudio de estructura y propiedades de sistemas de escalas nanoscópicas y microscópicas. Gracias a los vertiginosos avances en las técnicas computacionales para el cálculo de propiedades, simulación, y visualización de sistemas moleculares, esta área ha venido incrementando su importancia en medicina, industria, desarrollo tecnológico, y ciencia básica. Las actividades de investigación que se desarrollan en el LDM incluyen: 1) estudio de propiedades estructurales y termodinámicas de nanoestructuras; 2) desarrollo de modelos para sistemas coloidales y poliméricos; 3) obtención de diagramas de fases termodinámicas y propiedades estructurales de sistemas coloidales; 4) desarrollo de nuevos algoritmos de dinámica molecular para ensambles estadísticos especiales; 5) análisis y simulación de imágenes de microscopía electrónica; 6) diseño de potenciales de interacción a escala atómica.

El Laboratorio de Nanociencias y Nanotecnologías está dedicado a la síntesis, caracterización, y usos de materiales nanoestructurados semiconductores y metálicos. Allí se realizan investigaciones dirigidas a la producción y análisis de nanoestructuras, cuyas características físicas, químicas y mecánicas puedan ser aprovechadas en muy diversas áreas. Cuenta con equipo especializado para producir y caracterizar este tipo de sistemas, y colabora a través de proyectos interdisciplinarios con grupos de investigación nacionales y extranjeros. En conjunto con el Laboratorio de Diseño Molecular de la FCFM, se realizan simulaciones numéricas por computadora que permiten predecir las propiedades de las nanoestructuras y complementar y validar los resultados de los estudios experimentales. Es un laboratorio dedicado a la síntesis, caracterización, y usos de materiales nanoestructurados semiconductores y metálicos.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA [32]

A. Centro Universitario Valles [33]

Aquí se realizan investigaciones relacionadas con los materiales en dos cuerpos académicos. Algunas de las líneas de investigación que se realizan son las siguientes:

1) síntesis y propiedades de nanomateriales a base de plata y oro para aplicaciones tecnológicas: vidrios termocrómicos, filtros de luz, sensores ópticos y resistivos, colectores solares de vidrio, baterías, productos germicidas, catalizadores, etc; 2) modelación de propiedades ópticas de nanopartículas metálicas esféricas y deformadas con y sin una cáscara dieléctrica; 3) investigaciones de reactividad química en nanocavidades de geles de óxido de silicio; 4) diseño, síntesis y aplicaciones de materiales meso y nano estructurado; 5) estudio y aplicaciones de nano partículas metálicas soportadas en materiales nano estructurados; 6) nanoestructuras semiconductoras y nanofotónica, 7) síntesis química de partículas metálicas coloidales para la obtención de recubrimientos; 8) diseño de sistemas fotocatalíticos con alta actividad para aplicaciones ambientales; 9) estudio de materiales nanoestructurados con propiedades de centelleo para su uso en detectores de radiación; 10) investigación y desarrollo de aceleradores de partículas por técnicas electrostáticas, 11) diseño y construcción de detectores de partículas utilizando fibras ópticas con dopantes nanoestructurados.

B. Centro Universitario de los Lagos [34]

Existen dos cuerpos académicos dedicados a la investigación en nanomateriales. En el Cuerpo Académico de Nanotecnología de Materiales se tienen las siguientes líneas de investigación: 1) espectroscopía de aniquilación de positrones para la determinación de nanoporosidades de materiales; 2) diseño, síntesis y caracterización de nanomateriales ópticos.

En el Cuerpo Académico de Bionanotecnología las líneas de investigación son: 1) diseño, síntesis, caracterización y aplicación de biomateriales de nanocápsulas con biomoléculas de nanocompositos con estructura quiral; 2) nuevos materiales nanoestructurados con aplicaciones biomédicas.

Además, en este centro universitario se cuenta con un doctorado en ciencia y tecnología con orientación en nanotecnología y cada año se realiza un encuentro internacional de nanotecnología que abarca los topics siguientes: nanotubos de carbón y otras nanoestructuras, nanotecnología en medicina; nanofósforos, bionanotecnología; nanoestructuras metálicas y toxicidad de nanomateriales

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ (SAN LUIS POTOSÍ) [35]

A. Instituto de Física [36]

Algunas de las líneas de investigación relacionadas con materiales nanoestructurados que se realizan en el Instituto de Física son las siguientes: el estudio de las propiedades electrónicas de sistemas complejos: cúmulos o agregados de átomos, superficies, defectos, multicapas, etc. (de metales de transición y semiconductores). Los problemas específicos que actualmente están bajo estudio son : determinación de la anisotropía magnética en sistemas de metales de transición de baja dimensionalidad (esta propiedad es fundamental en los dispositivos de grabación magnética); estudio de estructuras en cúmulos de metales de transición y semiconductores; propiedades electrónicas de fullerenos; aplicaciones de la mecánica estadística a sistemas como : aleaciones, sistemas magnéticos y polímeros; propiedades geométricas y catalíticas de nanoestructuras; magnetismo en cúmulos nanoestructurados, en cúmulos embebidos en sólidos; propiedades magnéticas de cúmulos de metales de transición a tem-

peratura finita en alambres y alambres localmente adelgazados a punto de romperse; almacenamiento de gases en nanoestructuras de carbono; fabricación y estudio de materiales magnéticos nanoestructurados; efecto de las correlaciones electrónicas en las propiedades magnéticas de sistemas de baja dimensionalidad.

B. Instituto de Investigación en Comunicación Óptica (IICO) [37]

En el IICO se estudian propiedades ópticas de semiconductores, tecnología de semiconductores y dispositivos, síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados, dispositivos orgánicos electroactivos y celdas solares, sistemas y detectores infrarrojos, nanotecnología, MEMS, física de semiconductores, espectroscopia de semiconductores en el lejano infrarrojo, difracción de rayos x de alta resolución y, tecnología de láseres semiconductores.

C. Facultad de Ciencias [38]

En la Facultad de Ciencias se hace investigación en nanomateriales en el Cuerpo Académico de Ciencia de Materiales. Allí se tienen laboratorios en modelación molecular, química de polímeros, química de materiales, espectroscopías, mecánica fina, microscopía electrónica, difracción de rayos x, metalografía, análisis térmico, pruebas mecánicas, corrosión y metalurgia de polvos.

Algunas de las líneas de investigación relacionadas con los materiales son: diseño y preparación de nanopartículas funcionalizadas; caracterización: de tamaño y forma por TEM, SEM, AFM, propiedades químicas/cristalinas por FT-IR, NMR, XRD, propiedades superficiales por BET, XPS, AFM, estructura de nanocompuestos por TEM, EDX; integración: polímeros, textiles, pinturas; dinámica de nanopartículas; escalamiento de métodos de producción; manejo de nanopartículas; propiedades biocidas de nanopartículas metálicas; cito-toxicología de nanopartículas; dispersión y consolidación.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (DISTRITO FEDERAL) [39]

A. Departamento de Física [40]

Algunos de los proyectos que se desarrollan en nanomateriales son: 1) propiedades magneto-ópticas en sólidos; 2) espectroscopía Raman en sólidos; 3) estudio teórico de propiedades de transporte electrónico cuántico en nanoestructuras balísticas; 4) daños por irradiación y propiedades termoluminiscentes en sólidos; 5) estudio de las propiedades termoluminiscentes de sólidos cristalinos y su aplicación a la dosimetría de la radiación ionizante; 6) óptica no lineal en vapores atómicos y en sólidos y, 7) técnicas espectroscópicas

B. Laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular [41]

Creado inicialmente en colaboración con el Instituto Mexicano del Petróleo para mejorar el mantenimiento de los tubos de acero de Pemex, hace actualmente investigación en temas como la visualización y caracterización de moléculas de colesterol en sustratos sólidos con microscopía de fuerza atómica (AFM) y microscopía electrónica de barrido de efecto túnel (STM).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MORELOS (CUERNAVACA) [42]

Algunas de las investigaciones que se realizan en la Universidad Autónoma de Morelos, relacionadas con los nanomateriales, son las siguientes: estados electrónicos en nitruros semiconductores: superficies, heteroestructuras simples y dobles; fonones en heteroestructuras semiconductoras basadas en nitruros; interacción electrón-fonón; estados electrónicos en sistemas delta-dopados tipo-p; estados electrónicos en heteroestructuras semiconductoras con presión hidrostática aplicada; propiedades ópticas en heteroestructuras dieléctricas cuasirregulares (Fibonacci, Thue-Morse, Period Doubling).

Estructura electrónica y fonónica de sistemas a capas (pozos cuánticos, superredes, estructuras cuasirregulares, etc.); tiempos de tunelaje de distintas excitaciones elementales (electrones, fonones, etc.) en sistemas a capas.

Teoría y simulación cuántica de materiales a escala atómico-molecular: 1) desarrollo e implementación computacional de métodos para materiales cristalinos; 2) aplicaciones sobre: a) materiales porosos, b) superficies de óxidos, c) materiales ferroeléctricos, d) minerales y e) polímeros dopados.

UNIVERSIDAD DE SONORA (HERMOSILLO, SONORA) [43]

A. Centro de investigación en Física (CIFUS) [44]

En el CIFUS se desarrolla investigación científica en grupos llamados academias. En la Academia de Estado Sólido existen varias líneas de investigación relacionadas con los nanomateriales: dosimetría termoluminiscente y no termoluminiscente de halogenuros alcalinos dopados con iones de Eu^{2+} ; mecanismos de formación de daños en halogenuros alcalinos; espectroscopía de materiales aislantes dopados con impurezas divalentes (Eu^{2+} , Sn^{2+} , Sr^{2+} , etc.); vidrios y cerámicas; fabricación de materiales nanoestructurados ópticamente funcionales; transporte en películas delgadas semiconductoras; fabricación y caracterización de películas delgadas semiconductoras de amplio gap; nanoestructuras semiconductoras; percolación eléctrica en películas policristalinas; caracterización de materiales por técnicas fotoacústicas; instrumentación electrónica.

En la Academia de Física-Matemática se estudian sistemas de baja dimensionalidad.

En la Academia de Óptica se tienen las siguiente líneas de investigación: óptica no lineal: materiales fotorrefractivos; microscopía óptica coherente; rugosidades coherentes periódicas y aleatorias en películas delgadas.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO (IMP) (DISTRITO FEDERAL) [45]

El IMP, creado el 23 de agosto de 1965, es el centro de investigación de México dedicado al área petrolera. Con el fin de responder a las necesidades de investigación y desarrollo tecnológico de la industria petrolera del país, el IMP cuenta con varios 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. Dentro de sus programas de investigación, el de ingeniería molecular desarrolla investigación en nanociencias y nanotecnología. 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. Algunas de sus líneas de investigación son 1) diseño, síntesis y desarrollo de nanomateriales (catalizadores, anticorrosivos, antiespumantes, detergentes, recubrimientos); 2) mecanismos de adsorción, agregación y dispersión de coloides (mantenimiento de flujo, recuperación secundaria y mejorada, fluidos de perforación); 3) fisicoquímica de mezclas y soluciones (endulzamiento de gas, separación de nitrógeno y limpieza de lodos).

En el IMP se tiene el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Ultra Alta Resolución, su objetivo es la caracterización estructural volumétrica química y de superficie a nivel micrométrico, nanométrico y atómico de materiales para su diseño y utilización en el desarrollo de tecnologías y productos con alto valor para la industria petrolera. Los materiales nanoestructurados diseñados para su aplicación en la industria petrolera requieren de métodos de caracterización con alta resolución espacial para determinar su forma, composición y estructura cristalina logrando así una base objetiva para el entendimiento, diseño y optimización de sus propiedades. La caracterización de dispositivos con componentes nanométricos y micrométricos, también requiere de alta resolución en tareas de observación no destructiva y de control de calidad.

La caracterización estructural es de gran importancia en la producción y aplicación de nanoestructuras ya que es indispensable para entender, diseñar y optimizar sus propiedades. La caracterización a través de microscopía electrónica ocupa un lugar preponderante dentro de las técnicas disponibles y ofrece una alta resolución espacial. Los materiales nanoestructurados están conformados por nanobloques con al menos una dimensión por debajo de 100 nm por lo que la alta resolución espacial adquiere un significado esencial en los procedimientos de caracterización.

Las técnicas de microscopía requieren de inversiones cuantiosas pero constituyen sin duda el método más poderoso de caracterización nanoestructural. El IMP cuenta con personal experimentado en las diferentes técnicas de caracterización microscópica, lo que permitirá lograr beneficios en la investigación, educación y generación de nuevas tecnologías.

El poder de resolución de los equipos es muy alto debido al uso de electrones que pueden manipularse para obtener imágenes de la superficie (microscopía electrónica de barrido o MEB) o de todo el espesor de la muestra (microscopía electrónica de transmisión, MET o de transmisión-barrido, STEM). Empleada adecuadamente, la microscopía electrónica permite obtener imágenes en un rango amplio que va desde características en el nivel micro hasta columnas de átomos.

Por otro lado, la microscopía electrónica ofrece la posibilidad de caracterizar la composición química de materiales y la determinación de su estructura cristalina. En

el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Ultra Alta Resolución del IMP se cuenta con los aditamentos necesarios (detectores, software, etc.) para dotar a los investigadores usuarios con la posibilidad de caracterizar materiales tanto química como estructuralmente.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES (ININ) (OCOYOACAC, ESTADO DE MÉXICO) [46]

Aunque el objetivo principal del Instituto ININ es realizar investigación y desarrollo en el área de la ciencia y tecnología nucleares, en sus diferentes departamentos se hacen investigaciones en nanomateriales.

En los departamentos de Tecnología de Materiales, de Física y de Estudios del Ambiente, se sintetizan y caracterizan diferentes nanomateriales. En el Departamento de Materiales Radiactivos se buscan aplicaciones de las nanopartículas.

Líneas de investigación:

- A) Desarrollo de nuevos nanomateriales y su caracterización. Simulación molecular. Se tienen los siguientes proyectos: 1) métodos de síntesis de nanopartículas metálicas vía química coloidal; 2) desarrollo de materiales catalíticos a base de Cu, Ni, Pd, Pt, Au y Ag, soportados en óxidos mixtos, tales como ZrO_2 - TiO_2 , ZrO_2 - CeO_2 ; 3); manocompositos de nanopartículas en matrices poliméricas, de haluros alcalinos y de vidrios de SiO_2 ; 4) modificación de superficies de las nanoestructuras en 0 y 1 dimensión; 4) estudio de estructuras metálicas unidimensionales sintetizadas por química coloidal y sol-gel; 5) estudio de catalizadores para aplicarlos en la generación de combustible alterno (H_2) como fuente de energía limpia, determinando su actividad catalítica.
- B) Preparación de películas delgadas nanoestructuradas, síntesis de nanopartículas por ablación láser en líquidos. Se realizan estudios de las condiciones de depósito que permitan obtener películas delgadas nanoestructuradas con las propiedades físicas deseadas: composición, fase, estructura, textura, entre otras, para aplicaciones potenciales como: fotoelectrodos, sensores, cátodo en microbaterías, recubrimientos duros, tribológicos, luminiscentes, etc. También se realiza síntesis de nanopartículas metálicas (Au y Ag) con diferente tamaño para modificar propiedades eléctricas de compositos poliméricos
- C) Desarrollo de tecnologías de plasma y nanotecnología para aplicaciones ambientales. Se realiza síntesis de nanoestructuras de carbono para su uso como catalizadores en el tratamiento de gases tóxicos
- D) Radiofármacos para diagnóstico y terapia de blancos moleculares específicos como sistemas multifuncionales utilizando nanopartículas. Se trabaja en los siguientes proyectos: 1) diseño, síntesis, caracterización fisicoquímica y evaluación de reconocimiento molecular de nanopartículas de oro conjugadas a péptidos como nanofármacos potenciales en terapia y diagnóstico; 2) funcionalizar nanopartículas de oro con péptidos para incrementar su estabilidad y biocompatibilidad permitiéndoles dirigirse a blancos moleculares específicos

INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA ÓPTICA Y ELECTRÓNICA (INAOE) (TONANZINTLA, PUEBLA) [47]

Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica

En abril de 2010, en el INAOE de Puebla, se inauguró el laboratorio nacional de nanoelectrónica (LNN). El objetivo de este proyecto es el de contar con un laboratorio para el desarrollo de tecnología nacional para la fabricación de dispositivos, circuitos integrados y sistemas microelectromecánicos (MEMS), que tengan posibilidades de aplicación en la industria mediante la incorporación de materiales nanoestructurados a la tecnología del silicio. El LNN está planeado para formar recursos humanos altamente calificados, con una visión moderna y global de la electrónica. El laboratorio actuará como enlace entre la investigación de alto nivel tecnológico y el sector industrial. Se espera que el LNN sea el aglutinador de los esfuerzos de todas las instituciones y centros de investigación nacionales que realizan investigación en electrónica y áreas relacionadas. El objetivo general será combinar la investigación básica y aplicada en un amplio rango de dominios de investigación, que van desde el diseño de circuitos integrados, pasando por las tecnologías de fabricación hasta microsistemas y nuevas técnicas de fabricación de circuitos impresos.

Entre los objetivos específicos se pueden nombrar: el desarrollo de una tecnología nacional de fabricación de MEMS y sistemas nanoelectromecánicos (NEMS). Fabricación de dispositivos avanzados (por ejemplo, de múltiple compuerta, FinFET) en sustratos tanto convencionales como de alto índice de refracción. Desarrollo de dispositivos optoelectrónicos en base de silicio. Realización de nuevas técnicas de diseño para la óptima utilización de los dispositivos y materiales que se desarrollan con énfasis en circuitos integrados de RF y optoelectrónicos.

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA (IPICYT) (SAN LUIS POTOSÍ) [48]

En la División de Materiales Avanzados del IPICYT se realizan investigaciones teóricas y experimentales de nuevos materiales tales como materiales nanoestructurados, materiales para su aplicación en electrónica orgánica. Esto con el objetivo de entender sus propiedades mecánicas, electrónicas y magnéticas, y con esta información poderlos aplicar en tecnologías novedosas. En particular, se desarrolla investigación acerca de nanoestructuras de carbono, este tema se trata en un capítulo especial. En esta división se desarrollan estudios en los campos de la nanociencia y la nanotecnología. Las líneas de investigación de la división se pueden resumir en las siguientes: estructura atómica de materiales complejos; nuevos materiales nanoestructurados; propiedades magnéticas de nuevos materiales nanoestructurados; obtención y caracterización de materiales magnéticos; polvos y láminas delgadas; magnetometría vibracional; propiedades magnéticas en sistemas de baja dimensionalidad; superficies de aleaciones metálicas; y dinámica molecular.

Dentro del IPICYT se estableció el Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN). Siendo uno de sus objetivos principales ser un laboratorio de acceso nacional para los institutos de investigación, las universidades nacionales y del estado, los institutos tecnológicos y las industrias en la región central

del país, con el propósito de impulsar la investigación y la tecnología enfocada a la nanotecnología en México. El LINAN promueve las siguientes áreas de investigación en nanociencia y nanotecnología: síntesis de nanoestructuras y biomimetics; nanomateriales magnéticos y sus aplicaciones; nanobiotecnología; caracterización de biomateriales nanoestructurados; nanocompuestos; cálculos electrónicos de nanosistemas.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS S. C. (CIMAV) (CHIHUAHUA) [49]

La investigación en el CIMAV se realiza en tres grandes áreas: física de materiales, química de materiales y, medio ambiente y energía. Dentro del CIMAV se encuentra el Laboratorio Nacional de Nanotecnología, el cual representa una avanzada plataforma tecnológica para el impulso de la nanociencia y la nanotecnología en México, apoyando a los sectores académico, productivo y social.

Algunas de las líneas de investigación que se realizan en el CIMAV relacionadas con nanomateriales son: 1) nanomagnetismo: fluidos magnéticos de magnetita y ferrita de cobalto, fluidos magnetoreológicos de Fe-Y-Sm-Co, compuestos de Mn y tierras raras con efecto magnetocalórico; 2) superconductividad en compuestos con Fe-Se, Fe-Te, Fe-As-La-F-O; 3) materiales multiferroicos: Fe-Bi-O, PZT y ferrita de cobalto; 4) aleado mecánico: aleaciones base aluminio; 5) deterioro de materiales: aceros al carbono, aceros inoxidable, superaleaciones, aleaciones de cobre y aleaciones de aluminio, cemento; 6) recubrimientos nanoestructurados: óxidos, carburos, nitruros, titanatos y vanadatos, refractarios, recubrimientos con tierras raras; 7) polímeros nanoestructurados: *quantum dots*, polímero-CNT, polímero-nanopartículas, polímero-nanoarcillas, polímeros conductores; 8) catalizadores funcionalizados: zeolitas, nanopartículas metálicas, óxidos nanoestructurados, nanotubos funcionalizados, carbón activado; 9) sondas moleculares: ADN, proteínas, fullerenos y nanotubos funcionalizados, colorantes; 10) modelado molecular: colorantes, óxidos metálicos nanoestructurados, electrolitos, polímeros conductores, fullerenos y nanotubos funcionalizados, nanopartículas, psoralenos, drogas fotosensibilizadoras; 11) simulación de *clusters* nanométricos: óxido de litio manganeso dopado con metales de transición, nanofibras de óxido de zinc dopadas con metales de transición; 12) materiales para almacenamiento y generación de energía: tamices moleculares, nanotubos de carbón, óxidos metálicos semiconductores, óxidos no metálicos.

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA (LEÓN, GUANAJUATO) [50]

El Grupo de Propiedades Ópticas de Nano-Sistemas, Interfaces y Superficies, del Centro de Investigaciones en Óptica, se ha dedicado al cálculo teórico de propiedades ópticas de superficies, interfaces y sistemas nanoscópicos. Se estudia tanto la respuesta óptica lineal como la respuesta óptica no lineal con gran éxito a través de espectroscopías ópticas de superficie. El grupo cuenta con veinte años trabajando en el tema, el cual ha ido evolucionando tanto en complejidad de los cálculos como en los sistemas en los que trabaja.

Por otra parte, otro grupo de investigadores se ha dedicado a la preparación y caracterización de materiales nanoestructurados, nanopartículas dieléctricas, semiconductoras y metálicas para utilizarlas en aplicaciones de dispositivos fotónicas como

son: emisión de luz visible mediante excitación UV, Azul e IR para aplicaciones en desplegados y fuentes de luz, sensores ópticos, dosímetros y centelladores. Este grupo en particular organiza el congreso “Nanotech” que se ha realizado en diferentes sedes y cuyo objetivo es ser un foro que promueva la colaboración entre diferentes grupos tanto nacionales como internacionales. Los tópicos que abarca dicha conferencia son: 1. Nanotubos de carbón y otros; 2. Metales nanoestructurados; 3. Nanoestructuras magnéticas; 4. Aplicación de nanoestructuras en celdas de combustible, catalisis y celdas solares; 5. Nanofósforos: óxidos, puntos cuánticos y silicio poroso; 6. Propiedades ópticas lineales y no lineales de nanocristales; 7. Nanometrología; 8. Aplicaciones médicas de nanotecnología; 9. Cristales fotónicos.

Finalmente, en el CIO también se está desarrollando un proyecto en colaboración con el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato, consistente en la síntesis de nanocristales coloidales de semiconductores, como son los puntos cuánticos de selenuro de cadmio (CdSe).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTERREY (MONTERREY) [51]

El Instituto Tecnológico de Monterrey ha creado cátedras donde se desarrolla la investigación; son grupos apoyados por fondos semilla del mismo Tecnológico. Con ellas, se busca incentivar el desarrollo de la investigación en áreas prioritarias y elevar la calidad de los programas académicos. Para llevar a cabo sus proyectos de investigación, las cátedras complementan los fondos semilla con recursos externos obtenidos de empresas y organismos públicos nacionales e internacionales.

Actualmente, el Instituto Tecnológico cuenta con 122 cátedras de investigación. Un área estratégica del Instituto vinculada con la nanociencia y la nanotecnología es la ingeniería y diseño de materiales. Dentro de ella se tiene un proyecto sobre tratamientos térmicos asistidos por plasma. El desarrollo de técnicas y procesos asistidos por plasmas para la síntesis de nuevos materiales o materiales convencionales atañe diversas áreas o disciplinas. Por medio de la síntesis de materiales se pueden generar productos convencionales: la nitruración de aceros, los recubrimientos cerámicos avanzados, la formación de diamante, entre otros. Por otro lado, nuevos materiales como la síntesis de fulerenos, la formación de nitruros de aluminio, nitruro de boro o los nanotubos de carbón son ejemplos de materiales que se pueden obtener por estos medios.

LISTADO Y DIRECTORIO ELECTRÓNICO DE UNIVERSIDADES, CENTROS, INSTITUTOS Y DEPENDENCIAS

- [1] Universidad Nacional Autónoma de México <www.unam.mx>
- [2] Centro de Nanociencias y Nanotecnología <www.cnyn.unam.mx>
- [3] Instituto de Física <www.fisica.unam.mx>
- [4] Instituto de Biotecnología <www.ibt.unam.mx>
- [5] Instituto de Ciencias Físicas <www.fis.unam.mx>
- [6] Instituto de Investigaciones en Materiales <www.iim.unam.mx>
- [7] Centro de Investigaciones en Energía <www.cie.unam.mx>
- [8] Instituto de Química <www.iqumica.unam.mx>
- [9] Centro de Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico <www.cinstrum.unam.mx>

- [10] entro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada <www.fata.unam.mx>
- [11] Facultad de Ciencias <www.fciencias.unam.mx>
- [12] Facultad de Química <www.quimica.unam.mx>
- [13] Instituto Politécnico Nacional <www.ipn.mx>
- [14] Centro de Nanociencia y Micro-Nanotecnología
- [15] Escuela Superior de Física y Matemáticas
- [16] Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN <www.cinvestav.mx>
- [17] Departamento de Física <www.fis.cinvestav.mx>
- [18] Sección de Física del Estado Sólido <sfes.fis.cinvestav.mx>
- [19] Laboratorio de Nanoestructuras Semiconductoras <nanosem.fis.cinvestav.mx>
- [20] Departamento de Física Aplicada <www.mda.cinvestav.mx>
- [21] Unidad Querétaro <www.qro.cinvestav.mx>
- [22] Departamento de Ingeniería Eléctrica <www.ie.cinvestav.mx>
- [23] Sección de Electrónica del Estado Sólido <www.sees.cinvestav.mx>
- [24] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla <www.buap.mx>
- [25] Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores <www.cids.buap.mx>
- [26] Instituto de Física 'Luis Rivera Terrazas' <www.ifuap.buap.mx>
- [27] Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas <www.fcm.buap.mx>
- [28] Centro Universitario de Vinculación <www.cuv.buap.mx>
- [29] Universidad Autónoma de Nuevo León <www.uanl.mx>
- [30] Centro de Innovación, Investigación y Desarrollo en Ingeniería y Tecnología <www.ciidit.uanl.mx>
- [31] Facultad de Ciencias Físico Matemáticas <www.fcmf.uanl.mx>
- [32] Universidad de Guadalajara <www.udg.mx>
- [33] Centro Universitario Valles <www.cuvalles.udg.mx>
- [34] Centro Universitario de los Lagos <www.lagos.udg.mx>
- [35] Universidad Autónoma de San Luis Potosí <www.uaslp.mx>
- [36] Instituto de Física <www.ifisica.uaslp.mx>
- [37] Instituto de Investigación en Comunicación Óptica <www.iico.uaslp.mx>
- [38] Facultad de Ciencias <www.fc.uaslp.mx>
- [39] Universidad Autónoma Metropolitana <www.uam.mx>
- [40] Departamento de Física <abaco.izt.uam.mx>
- [41] Laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular <<http://www.nikolabatina.com.mx/>>
- [42] Universidad Autónoma de Morelos <www.uaem.mx>
- [43] Universidad de Sonora <www.uson.mx>
- [44] Centro de Investigación en Física <www.cifus.uson.mx>
- [45] Instituto Mexicano del Petróleo <www.imp.mx>
- [46] Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares <www.inin.mx>
- [47] Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica <www.inaoe.mx>
- [48] Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica <www.ipicyt.edu.mx>
- [49] Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. <www.cimav.edu.mx>
- [50] Centro de Investigaciones en Óptica <www.cio.mx>
- [51] Instituto Tecnológico de Monterrey <www.itesm.edu>

Sobre la mejora humana por medio de las tecnologías convergentes*

JOSÉ MANUEL DE CÓZAR ESCALANTE**

RESUMEN: Un conjunto de tecnologías están convergiendo en su aplicación a la mejora del cuerpo y de la mente del ser humano. Se trata de la combinación de, entre otras, la nanotecnología, las tecnologías de la información y de la comunicación, la biotecnología, la biología sintética, la neurociencia, la neurotecnología, la robótica y la inteligencia artificial. Las aplicaciones ya disponibles, o previstas para un futuro más o menos cercano, están suscitando un notable debate ético a nivel internacional. En este artículo se plantean los aspectos principales de dicha controversia y se sugiere la necesidad de una evaluación ética temprana de los programas de mejora humana.

PALABRAS CLAVE: mejora humana, tecnologías convergentes, evaluación ética.

ABSTRACT: On human enhancement by means of converging technologies. A set of technologies are converging in their application to improve the human body and mind. The combination includes nanotechnology, information technology and communications, biotechnology, synthetic biology, cognitive science, neurotechnology, robotics and artificial intelligence. Applications that are already available or those planned for the near future are attracting considerable international ethical debate. This paper discusses the main aspects of the controversy and suggests the need for an early ethical assessment of human enhancement programs.

KEYWORDS: human enhancement, converging technologies, ethical assessment.

INTRODUCCIÓN

Asistimos, a nivel mundial, a un renovado debate sobre la legitimidad de emplear la tecnología para mejorar las capacidades físicas y mentales de los individuos más allá de los contextos estrictamente terapéuticos (lo que en inglés se conoce como “human enhancement”). Por ejemplo, en el deporte profesional, en los últimos años, se ha producido una escalada de los escándalos por dopaje. Desde hace algún tiempo la utilización de las terapias génicas para mejorar el rendimiento de los atletas (dopaje genético) constituye un secreto a voces que a duras penas, y sólo desde muy recientemente, puede ser detectado mediante controles realizados al efecto. Otro caso muy debatido es el de la estimulación cerebral profunda. Se trata de una técnica de implante cerebral usada desde hace años para tratar los síntomas del Parkinson y de otros desórdenes neurológicos. Puede igualmente aliviar la depresión severa. Hasta

* Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación “Evaluación del proceso de transferencia de nuevos materiales nanotecnológicos en equipos de diagnóstico y tratamiento médico” (Evalnanome-dC200801000076), financiado por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

** Doctor en filosofía por la Universidad de Valencia (España). Profesor titular de la Universidad de La Laguna, Tenerife. Coordinador del grupo de investigación social en nanotecnología (GRISON), formado por investigadores españoles. Facultad de Filosofía, Campus de Guajara, 38071 La Laguna, Tenerife, España, Teléfono: +34 922317878, Fax: +34 922317879, Correo electrónico: jcozar@ull.es

aquí, nos movemos en el terreno de la terapia. Sin embargo, esta técnica y otras no invasivas más recientes, destinadas al tratamiento de diversos trastornos neuropsiquiátricos (como la estimulación magnética transcraneal) pueden mejorar el buen humor y el bienestar psicológico de individuos considerados sanos y provocar otras alteraciones psicológicas que supuestamente supondrían una mejora con respecto a los estados normales: expresado de una manera un tanto sensacionalista, permitirían presionar una especie de “botón de la felicidad”, términos con los que el hallazgo fue presentado en algunos medios de comunicación (EGE, 2005).

En un sentido laxo, herramientas y tecnologías para mejorar al ser humano en un aspecto u otro se vienen usando desde siempre: herramientas para aumentar su potencia y facilitar el trabajo físico, transportes para desplazarse más rápido, uso del fuego, de las técnicas agrícolas y de los diversos procedimientos culinarios para alimentarlo mejor, libros y otros soportes para codificar y transmitir informaciones, materiales pedagógicos para facilitar el aprendizaje y formar las mentes, o medicinas para mejorar el estado de salud, entre otros innumerables ejemplos. De una forma o de otra, esas ayudas técnicas han ido aparejadas al sueño humano, a lo largo de la historia, de superar sus limitaciones físicas y mentales. Ahora bien, lo que se debate encendidamente aquí, con posturas a menudo muy encontradas, es el derecho a operar cambios continuados, radicales y tal vez irreversibles en el cuerpo y la mente humanas para percibir con más precisión nuestro entorno, hacernos más fuertes y resistentes, y muchas otras “mejoras”, bien mediante la implantación de dispositivos, bien mediante la alteración orgánica o genética del cuerpo. Incluso modificar nuestra especie, todo ello con objeto de vencer de una vez por todas nuestras “imperfecciones” naturales, los condicionantes impuestos por la evolución biológica (o por Dios, para los creyentes).

La nanotecnología puede ser aplicada en algunas tecnologías de mejora humana, que lindan con la nanomedicina, tales como las que se orientan a la prevención sanitaria y a la regeneración de tejidos y órganos. Otras aplicaciones son más banales –al menos a primera vista–, como la posibilidad de realizar tatuajes que cambien a voluntad de su portador, o que le sirvan para interactuar con su entorno (marcación, visionado de datos, etc.). Una de las posibilidades que más se discute sería la colocación de “implantes neuronales” en el cerebro para acceder a la información y procesarla de manera más rápida y eficiente. El poder de las nanotecnologías aumenta por su convergencia con otras tecnologías, lo que se conoce por convergencia NBIC: Nano (nanotecnología), BIO (biotecnología, biología sintética), INFO (tecnologías de la información y de la comunicación) y COGNO (ciencia cognitiva, neurociencia, neurotecnología). A éstas cabe añadir la robótica y la inteligencia artificial, entre otras.

Los temas del debate filosófico y ético sobre la mejora humana mediante el conjunto de las tecnologías convergentes son, principalmente:¹

- riesgos para la salud, la privacidad y la seguridad,
- usos militares (soldados “modificados”),
- derecho a elegir libremente vs. limitación de la libertad,
- modificaciones del concepto de salud y de enfermedad,

¹ Véanse, entre otros, Ach y Lüttenberg, (2008); Allhoff *et al.*, (2009); Coenen *et al.* (2009). Una discusión centrada específicamente en los impactos éticosociales de la nanotecnología puede hallarse en Cózar de (2009 y 2010).

- implicaciones para la autopercepción del ser humano (dignidad e integridad humanas, “condición humana”)
- consecuencias negativas para las instituciones sociales;
- injusticia social (división entre los “mejorados” y los “no mejorados”).

SOBRE LA PROBLEMÁTICA DEFINICIÓN DE “MEJORA HUMANA”

Tanto en la teoría como en la práctica es complicado especificar con exactitud qué se quiere decir con mejora humana. Ello es debido a que la noción de mejora implica mejorar a los seres humanos más allá de su estado normal, físico o mental. En un sentido algo más técnico, se trataría de llevar nuestras capacidades más allá del rango de funcionamiento típico de la especie o de lo estadísticamente normal. Ahora bien, con frecuencia resulta difícil, si no imposible, definir el estado normal de un cuerpo o mente humanas. Por consiguiente, el concepto de mejora humana se torna borroso. Por esta razón, los éticos y los científicos sociales se han esforzado en obtener algún criterio más definido. Así, a menudo se ha contrapuesto la mejora a la terapia. En el ámbito médico, en la legislación y en los contratos de seguros “terapia” se emplea como sinónimo de “tratamiento”, con el objetivo de remediar un problema de salud, usualmente tras el diagnóstico del mismo. Una patología puede disminuir las capacidades de un individuo por debajo de lo que habitualmente “rendían”. En cambio, la mejora supone aquella intervención tecnológica que persigue mejorar una condición del cuerpo o de la mente que se entiende funciona con normalidad o que se encuentra dentro de las capacidades normales de las personas. Así, unas gafas para corregir la miopía están dentro de la terapia, mientras que un visor de visión nocturna constituye una mejora. Un medicamento administrado para tratar la hiperactividad infantil es un caso diferente de la misma sustancia ingerida para mejorar el rendimiento en un examen.²

La distinción entre terapia y mejora tiene la ventaja de ser simple y práctica. Desempeña un papel importante en las decisiones relativas a la cobertura de los seguros médicos y, además, puede ser invocada como criterio a la hora de desarrollar políticas públicas en el ámbito de la salud (Malsch y Hvidtfelt-Nielsen, 2010). Sin embargo, debemos ser conscientes de que esta distinción no se aplica con tanta facilidad como se pudiera pensar en las prácticas terapéuticas contemporáneas. La razón de ello reside en el hecho de que las terapias preventivas, de apoyo y de otros tipos, funcionan como tratamientos para evitar problemas de salud futuros y para modificar o mejorar el grado de comodidad del paciente, su bienestar, su aspecto, su esperanza de vida, etc. Pensemos en la cirugía plástica, las vacunas (que mejoran el sistema inmune en ausencia de enfermedad), los métodos anticonceptivos (que previenen un embarazo indeseado) o los procedimientos dentales (que acaso proporcionen una dentadura más bonita y resistente de la que se tenía antes del procedimiento), entre muchos otros. Para un número cada vez mayor de personas, la cirugía y los implantes son la manera que tienen de verse mejor a sí mismos, y por tanto, de mejorar su estado de salud psicológico.

Por estos y otros motivos, se ha formulado un conjunto de objeciones contra todo criterio basado en la distinción entre terapia y mejora en las reflexiones éticas sobre

² Los ejemplos provienen de Allhoff *et al.*, (2009).

la mejora humana. Curiosamente, en algunos puntos se ponen de acuerdo tanto partidarios como detractores de las tecnologías para la mejora humana, extrayendo no obstante consecuencias éticas diametralmente opuestas. En un lado, tenemos a defensores a ultranza de la mejora humana como son los transhumanistas.³ En el otro, quienes creen que transitar esa vía va a producir mucho más daño que beneficio a la humanidad, por lo que debe ser evitada a toda costa. El transhumanismo es un movimiento internacional que aboga por el uso extensivo de las tecnologías para la mejora humana apelando, justamente, a motivos éticos: el alivio o la eliminación del sufrimiento físico y mental, la enfermedad, la vejez y hasta la muerte. En definitiva, se trata de luchar contra los aspectos indeseables de la condición humana con las armas tecnológicas con las que la inteligencia nos ha dotado. Por ejemplo, el bioético Julian Savulescu, de la Universidad de Oxford, ha examinado el futuro de los seres humanos como productos de la evolución, centrándose en aspectos tales como —a su juicio— su limitado altruismo, instintos de cooperación y capacidad para tomar suficientemente en cuenta las consecuencias futuras de sus acciones. A partir de este análisis argumenta que la psicología y biología humana no están preparadas para el tipo de sociedad en el que vivimos y que, en consecuencia, o bien modificamos nuestras instituciones políticas y restringimos severamente nuestra tecnología o cambiamos el futuro empleándolas para mejorarnos genéticamente con el fin de evitar nuestra extinción.⁴

Uno de los más conocidos paladines del movimiento transhumanista, el filósofo Nick Bostrom,⁵ critica la distinción entre terapia y mejora porque la considera una petición de principio, es decir, presupone que ya se ha definido lo que constituye un estado normal de salud, que es justamente el problema a debatir. La naturaleza humana “normal” se puede definir desde el nivel de la caracterización de la especie, o desde el punto de vista estadístico del rango de funcionamiento “normal” de los individuos, pero también desde el punto de vista histórico, filosófico o religioso. Evidentemente, las interminables disputas acerca de lo que es la naturaleza humana o la condición humana (por ejemplo, entre esencialistas y antiesencialistas) no facilita el consenso sobre lo que sería un estado psicofísico normal al que contraponer las intervenciones de mejora justificadas o injustificadas, morales o inmorales. Por otro lado, si se incide demasiado en la conveniencia de preservar un estado físico y mental “normal”, definido por los medios que fuere —la “normalización” del cuerpo humano— ello podría discriminar negativamente bien a quienes tienen discapacidades, bien a aquellos otros que poseen capacidades por encima de la media, en tanto se paralizaran investigaciones relevantes para esas personas.

En realidad, hace tiempo que iniciamos las acciones de alteración del cuerpo y de la mente con un conjunto de sustancias, materiales y dispositivos incorporados, como son los marcapasos, las prótesis dentales y de cadera, la piel artificial, los implantes de córnea, y tantas otras aplicaciones. Para los transhumanistas, dado que toda la especie humana es por definición “discapacitada”⁶ y se encuentra necesitada de mejo-

³ Su asociación, conocida hasta el año 2008 como la Asociación Transhumanista Mundial (World Transhumanist Association- WTA), cambió su nombre por “Humanity+”. Su página oficial es <http://humanityplus.org/>

⁴ Otros argumentos a favor de la mejora humana pueden encontrarse en Savulescu y Bostrom (2009).

⁵ Véase por ejemplo Bostrom y Roache (2008).

⁶ En Wolbring (2005) se formula una extensa crítica contra los programas de mejora en relación con el concepto de discapacidad.

ra, sería una cuestión de grado el continuar por esa senda hasta llegar, por decirlo en términos un tanto dramáticos, a transformarnos en verdaderos organismos cibernéticos o “ciborgs”.

Por si fuera poco, los avances en el conocimiento del funcionamiento del organismo humano, gracias a la ciencia y a tecnologías convergentes como las nanotecnologías, irán proporcionando tal cantidad de información “individualizada” que esa acumulación de datos sobre las circunstancias psicofísicas específicas de cada persona contribuirá a dificultar las definiciones estándar de salud y de patología, así como los tratamientos generales de la enfermedad (Nanomed Roundtable, 2010).

EL SIGNIFICADO DE LO HUMANO

En el lado opuesto del transhumanismo, se encuentran quienes ven en los programas tecnológicos de mejora incertidumbres y riesgos terribles para nuestra especie como un todo. Unos inciden en la separación tajante entre terapia y mejora como criterio para evitar los males de esta última (véase, por ejemplo, Ach y Lüttenberg, 2008). Otros en cambio, coinciden con los transhumanistas en que las fronteras entre usos terapéuticos y usos para la mejora son imprecisas cuando se trata de las nuevas tecnologías. Sin embargo, esta constatación les impele a exigir el establecimiento de límites en la investigación y aplicación de determinados procedimientos terapéuticos. La argumentación de estos últimos viene a ser la siguiente. Una vez entrados en la dinámica de la manipulación humana, es inevitable deslizarse desde el deseo de corregir la miopía (u otra enfermedad de la vista) hasta una visión nocturna más potente; desde una predisposición a sufrir anemia a un torrente sanguíneo lleno de células extra para el transporte de oxígeno; de ser demasiado bajo según los criterios del lugar y del momento a alcanzar la altura de los héroes; de tener un hijo con problemas de rendimiento escolar a un “superdotado”. En principio, estas mejoras no suponen un riesgo, en tanto haya consenso sobre su neutralidad desde el punto de vista ético, se consideren benignas o incluso poseedoras de un carácter moral especialmente valioso. ¿Pero, qué sucede si existe dicho consenso pero no iguales medios para obtener las mejoras en caso de desejarlas? ¿Y qué sucedería si realmente no existiera siquiera un consenso sobre su deseabilidad? Tenemos el caso relativamente reciente del implante coclear. Este implante se emplea para corregir la deficiencia auditiva profunda neurosensorial. A pesar de su éxito y de lo extendido que están, hay miembros de la llamada “cultura sorda” que lo critican, no por motivos técnicos, sino por argumentar que ser sordo no constituye una “discapacidad”, un defecto, que supone simplemente otra forma de relacionarse con el mundo, y que los niños pueden emplear el lenguaje de signos alternativamente al hablado. Sin entrar ahora en lo acertado o no de estas reticencias sobre el uso de una tecnología para remediar lo que se suele considerar una disfunción del sentido del oído, podemos recurrir a ejemplos muy conocidos, como es el de quienes rechazan transfusiones de sangre por motivos religiosos.

En otras palabras, ya al día de hoy se plantean reservas morales respecto a un conjunto de actividades de mejora tecnológica que supuestamente sólo tienen una función curativa, protésica o regeneradora. Hasta ahora, estas intervenciones ocasionan algunas polémicas entre los grupos directamente afectados por las mismas. Pero si se extienden los métodos tecnológicos de mejora, se alcanzará gradualmente una situación irreversible para el conjunto de la humanidad. Muchas personas, y no sólo

las creyentes, se sienten profundamente perturbadas ante la perspectiva de un futuro donde ya no esté del todo claro en qué consiste un ser humano. Argumentan que los ciborgs están bien para las películas, pero que es mejor dejar la condición humana intocada, de manera que podamos reconocernos en la historia de la humanidad y, en definitiva, que se pueda preservar el significado del tipo de condiciones, actividades y valores que nos definirían como tales. Volviendo al tema del deporte, es evidente que si cualquiera puede modificarse de manera que se convierta en un superatleta, entonces el hecho de que pueda batir sus anteriores marcas sin esfuerzo no tendrá el significado de superación que le damos a alguien que entrena duro para mejorar su rendimiento deportivo. Por otro lado, si todos acceden a las mismas mejoras, entonces éstas se anulan y a efectos prácticos es como si no se hubiera mejorado ninguno; ahora bien, con respecto al pasado de la actividad deportiva humana, se habría roto esa cadena de logros que nos conecta con los atletas clásicos, y que es reconocible todavía en el momento presente. Hace pocos años, un atleta surafricano con discapacidad, Oscar Pistorius, protagonizó una viva polémica con las autoridades del olimpismo debido a sus pretensiones de correr en los juegos olímpicos de Pekín 2008. Pistorius, al que se le amputaron las piernas de niño, utilizaba unas prótesis con resortes que le permitían correr a gran velocidad. Algunos pensaron que esto le otorgaba una ventaja injusta sobre los atletas que no utilizaban tal dispositivo, es decir, los atletas “normales”. Aquí se daba la paradoja de que un “discapacitado” al final estuviera más capacitado para correr con rapidez que la mayoría de los seres humanos no discapacitados.

Entre las voces que critican los programas de mejora humana a gran escala, podemos mencionar al conocido escritor y activista ambiental Bill McKibben, quien precisamente ha recurrido al ejemplo del deporte, entre otros, para clarificar su posición. Este autor se suma a las voces de los que reclaman que la sociedad detenga ciertos avances cruciales en ingeniería genética, robótica y nanotecnología, dado que ponen en cuestión lo que constituye un ser humano y la capacidad de elección de las generaciones futuras. McKibben nos urge a decir “basta”. No de una manera, por expresarlo así, integrista; no se trata de impedir todo tratamiento nuevo ni de dejar de luchar contra la discapacidad. Lo que nos sugiere McKibben es que tomemos conciencia de que, si bien ciertamente tenemos problemas serios, en las sociedades modernas ya vivimos desde hace tiempo razonablemente bien. Tener más no significa por fuerza ser más feliz. Las soluciones aportadas por las nuevas tecnologías vendrán probablemente de la mano de problemas inesperados. En sus fases más avanzadas, estas transformaciones tal vez podrían “destruir el significado de nuestras vidas” (McKibben, 2003: 95). Con esto se oscurecería gran parte del supuesto beneficio que reportarán las tecnologías de mejora: mayor productividad y creatividad, vidas más largas, cuerpos y mentes más fuertes, entre otras. Por no mencionar que la acumulación de esas capacidades no equivale a llevar vidas más felices, lo mismo que al día de hoy quienes más poseen no necesariamente llevan vidas más satisfactorias (Allhoff *et al.*, 2009).

Lo interesante de esta línea de argumentación es que no sólo tiene que ver con un futuro más o menos lejano. Tiene que ver incluso más con el día de hoy. Como señala McKibben, necesitamos una nueva manera de mirar al presente (McKibben, 2003). Diseñaremos el futuro de acuerdo con cómo percibamos la situación actual (individual y colectiva); si consideramos que es aceptable o ya insostenible.

MEJORAS INCREMENTALES Y MEJORAS RADICALES

Justamente en el presente surgen otros argumentos en contra de los programas tecnológicos de mejora que estamos evaluando, argumentos menos “metafísicos”, si se quiere decir así. Para evaluarlos éticamente, algunos autores (Khushf, 2008; Bruce, 2007) proponen distinguir las mejoras incrementales (o de fase 1) de las mejoras radicales (o de fase 2). Las primeras suponen un cambio de grado en las capacidades humanas, son de tipo discreto, implicando un aumento modesto, con daños y beneficios cuantificables y en todo caso evaluables con los recursos actualmente disponibles. Constituyen ejemplos de este tipo de mejoras incrementales el uso de fármacos para mejorar las funciones cognitivas, la cirugía estética y el dopaje en el deporte. En cambio, las modificaciones radicales suponen cambios de estado permanentes e irreversibles y aceleran su propio desarrollo en una dinámica de autorrefuerzo y mediante la convergencia de varias plataformas tecnológicas. Pueden suponer la producción de capacidades radicalmente nuevas para sus poseedores, como la visión fuera del espectro visible para el ojo humano normal, o nuevas formas de comunicación (entre cerebros) o de desplazamiento. Esto hace que la reflexión ética tradicional, que analiza lo que ya ha sido logrado técnicamente, deba completarse con un enfoque proactivo, de trabajo, en colaboración con los investigadores, los científicos sociales y humanistas, los políticos, los juristas, etc. El objetivo es el de anticiparse a los dilemas éticos que tales innovaciones puedan traer consigo, o incluso el de intentar impedir que tengan lugar si se consideran socialmente indeseables.

En lo que sigue nos centraremos en los aspectos problemáticos de los programas de mejora humana, dando por sentado que las mejoras sobre las que existe el consenso de que vale la pena perseguirlas no requieren una discusión en sí mismas. En cualquier caso, en internet es fácil encontrar documentos que inciden en ese carácter positivo de los programas de mejora humana.⁷

Pues bien, de acuerdo con Allhoff *et al.* (2009) agruparemos los temas controvertidos en cinco apartados: libertad y autonomía; salud y seguridad; justicia y equidad; disrupción social y dignidad humana.

LIBERTAD Y AUTONOMÍA

Comenzamos con los usos dudosos de la “ingeniería humana”. Hay personas que modifican su cuerpo mediante tatuajes, piercings, implantes y otros procedimientos quirúrgicos, no por necesidades terapéuticas ni por obtener alguna mejora incuestionable, sino tan sólo por gusto (por ejemplo, para parecerse a un animal que les resulta sugerente). Hay padres con sordera que desean tener un niño sordo y para ello piden seleccionar el embrión en un procedimiento de fertilización *in vitro*. Estas acciones y deseos plantean el problema de hasta qué punto la libertad y autonomía de los individuos debe primar cuando sólo implican la modificación voluntaria de su cuerpo por una mejora únicamente percibida por ellos, o su derecho como padres a seleccionar al hijo que desean. En este último caso es evidente que la salud y el bienestar del niño están en juego, pero no cabe decir lo mismo de modificaciones voluntarias que no cau-

⁷ Para un enfoque positivo ya clásico de la convergencia positiva de las tecnologías NBIC (nano, bio, info, cogno) véase Roco y Bainbridge (2003).

san perjuicios a terceras personas. Este tipo de conflicto es similar al que tiene lugar en multitud de facetas de nuestra vida: interés privado *versus* interés general; privacidad *versus* seguridad; libertad de expresión *versus* difamación, etc. En nuestras sociedades los derechos individuales están limitados por consideraciones de orden mayor o cuando entran en conflicto con otros derechos y obligaciones. Así pues, habría que analizar caso por caso para determinar hasta qué punto existiría libertad para operar la modificación o, en su lugar, sería necesario restringirla o incluso prohibirla. Tal cosa podría suceder si se demostrara que la persona está expuesta a un daño por ser sometida a la intervención de ingeniería humana (un riesgo grave para la vida o la salud, por ejemplo, o bien otros efectos secundarios negativos) (President's Council on Bioethics, 2003).

A esto hay que añadir que las presiones externas o modificaciones realizadas en nuestra psique (mediante drogas, implantes, etc.) pueden limitar muy severamente la libertad real de elección. Como ejemplo espectacular cabe citar los recientes experimentos para modificar los propios juicios morales mediante la aplicación de campos magnéticos en determinadas zonas del cerebro (Young *et al.* 2010). Experimentos como éstos ponen en cuestión también la protección de la salud, la seguridad y la dignidad humanas.

SALUD Y SEGURIDAD

En los casos de modificación (sea por una mejora percibida o real), la libertad del individuo puede entrar en conflicto con los valores de salud y seguridad. Incluso en el caso de que éste alegue que toma la decisión voluntariamente, se pueden dar casos donde el consentimiento informado no se ha cumplido con todas las garantías, o donde una modificación que en principio sólo afectaba al individuo tenga consecuencias negativas en otros (como el conductor ebrio que tiene un accidente, causando la muerte de otra persona).

Se están desarrollando usos militares como exoesqueletos y trajes de campaña para proporcionar a los soldados mejor camuflaje, mayor fuerza y resistencia, alta protección frente a las heridas y tratamientos de primeros auxilios —además de un conjunto de dispositivos integrados en el tejido o en el cuerpo para las comunicaciones, la mejora de las capacidades perceptivas, etc.⁸ Evidentemente, el aumento de la protección de los soldados de un ejército puede suponer una ventaja desproporcionada sobre el contrario, y fomentar un sentimiento de confianza en la victoria que aumente a su vez los casos de uso de la fuerza para resolver los conflictos políticos entre los países.

JUSTICIA Y EQUIDAD

El derecho a la mejora es invocado por sus partidarios no únicamente como una elección libre, sino apelando a otros derechos, como el derecho a la vida, la salud, a la

⁸ Un ejemplo de este tipo de investigación es el Institute for Soldier Nanotechnologies o Instituto de Nanotecnologías para el Soldado (<http://web.mit.edu/isn>) del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Ya es habitual el uso de fármacos entre las tropas norteamericanas (entre otras) como antidepresivos y ansiolíticos para combatir el miedo, disminuir el malestar psicológico y la ansiedad y estimulantes para contrarrestar los efectos ocasionados por la falta de sueño.

felicidad, entre muchos otros. Ahora bien, no es en modo alguno un derecho incuestionable. Más problemático es que traiga aparejado más que un incremento de derechos nuevos, la modificación negativa o el decrecimiento en el cumplimiento de los ya existentes (como el derecho a la igualdad).

Existe el riesgo de que se produzcan espirales o dinámicas competitivas crecientes. Dado que la aplicación de mejoras estaría motivada en muchos casos por el deseo de obtener ventajas competitivas, la capacidad para mantenerse por delante de los demás dependería de una carrera continua para la incorporación de mejoras. Los criterios por los que se juzgan las capacidades y rendimiento humanos se tornarían cada vez más cambiantes e inestables. Esto podría afectar al trato justo e igualitario de todos los ciudadanos.

Las ventajas obtenidas por unos podrían disfrutarse a costa de las desventajas relativas sufridas por quienes no hayan podido mejorarse, ya sea en los deportes, el rendimiento académico, las oportunidades de trabajo o en cualquier otro aspecto de la vida en sociedad. Si los ricos son los primeros en adoptar las tecnologías de mejora, dado que son los que más se las podrán permitir con mayor facilidad (como ocurre con las intervenciones quirúrgicas y tratamientos punteros, en la mayoría de los países), se amplificarían las desigualdades sociales, la distancia entre los que tienen mucho y los que tienen poco o apenas nada. Se sostiene que la nanotecnología traerá consigo una “nanodivisión”, creando mayores asimetrías y desigualdades dentro y entre los países (Invernizzi, Foladori y Mclurcan, 2008), semejante a la “brecha digital”; de manera similar, las aplicaciones nanotecnológicas (o “convergentes”) podrían crear una brecha o división injusta entre los seres humanos mejorados y los no mejorados. Aquí se plantea el problema de la distribución justa de los bienes que supone el acceso a esas mejoras (justicia distributiva).

DISRUPCIÓN SOCIAL

Mejoras relativamente pequeñas, cuando las disfruten pocas personas, pueden tener un gran efecto si se acumulan, como por ejemplo la extensión de los años de vida, que es en principio un gran beneficio para el individuo. Al día de hoy los sistemas de pensiones y las prestaciones sanitarias y de otro tipo se ven amenazadas (o al menos eso se argumenta) debido al hecho de que las personas viven de media muchos años tras su jubilación. La extensión de la vida puede producirse por el desarrollo de tratamientos más efectivos contra enfermedades graves (como el cáncer) o por medio de métodos de rejuvenecimiento del cuerpo y de la mente. Esta extensión de la vida, que se cuenta en una media de unos años (pongamos una década o dos) ya causa problemas sociales, pero ¿qué diríamos de una extensión de cien o de mil años, como a la que aspiran algunos visionarios?⁹

Muchas instituciones y esferas de la vida social podrían verse afectadas por la extensión de los programas de mejora. Los cambios en los deportes serían algo menor comparado con los que hubiera que realizar en el sistema de pensiones, la sanidad, el empleo¹⁰,

⁹ A los problemas evidentes de sobrepoblación, habría que añadir otro más “filosófico” pero no menos grave: la alteración o pérdida del sentido de la vida, que está indisolublemente ligado (o eso al menos creemos) al envejecimiento y la muerte.

¹⁰ Los mejores candidatos serían aquellos que hubieran adaptado su cuerpo o sus capacidades mentales a los requerimientos del puesto de trabajo.

la privacidad,¹¹ las comunicaciones,¹² la gestión ambiental y de recursos estratégicos, como la energía y el agua. La transformación de una institución social no es necesariamente mala; dependería del tipo de modificación o ajuste requerido. Es de esperar que las mejoras operadas en un conjunto de individuos traigan consigo beneficios considerables a la sociedad. Una mayor productividad, creatividad y rendimiento intelectual reportarían beneficios a la sociedad en su conjunto; la cuestión es si esas ganancias superarán los costes y riesgos aparejados. El principio de precaución (o precautorio) pide ser muy cauteloso en el diseño y ejecución de aquellas políticas públicas donde la incertidumbre y los riesgos potenciales son tan elevados.

Debido a la disparidad de experiencias vividas y a las distintas “formas de vida”, la cohesión social podría verse afectada por problemas serios de comunicación (comprensión) entre los mejorados y los no sometidos a mejora, o entre quienes han sido mejorados en aspectos distintos. Además, las normas y valores sociales podrían ir degradándose paulatinamente si los estándares humanos cambian a medida que se extiendan las diferencias por medio de las tecnologías de mejora.

MEJORA Y DIGNIDAD HUMANA

Existe una disputa sobre el efecto de los implantes basados en tecnologías TICs (Tecnologías de la Información y de la Comunicación) sobre la dignidad del ser humano en relación sobre todo a la integridad del cuerpo. Para unos, contribuyen a promover la dignidad al constituir medios para la restauración de las capacidades humanas dañadas, mientras que para otros la ponen en peligro al alterar de manera conspicua cualidades consideradas básicas para la integridad, autonomía y autoconciencia del ser humano (EGE, 2005). Tales implantes, o bien cualquier dispositivo (interno o externo) de acción sobre la actividad cerebral que en principio tenga usos terapéuticos puede ser empleado para acceder a, modificar y controlar la memoria, las percepciones, los hábitos y los juicios del individuo.

La dignidad de los niños nacidos mediante diseño genético puede verse comprometida por responder a fines distintos de los suyos “intrínsecos”, como satisfacer las preferencias de sus padres o de quienes posean el poder para tomar decisiones sobre ellos. Su libertad de elección puede verse coartada (si, por ejemplo, se les predispone genéticamente para desarrollar unas habilidades en lugar de otras).

¿Pueden las tecnologías de mejora poner en peligro el desarrollo moral? La madurez del ser humano, la realización de sus potencialidades, implica para muchas personas el planteamiento de unas metas a las que llegar mediante el esfuerzo y el sacrificio. De modo que si la tecnología permite todo tipo de mejoras sin esfuerzo, entonces se perderán oportunidades clave para que el carácter moral pueda desarrollarse. (President’s Council on Bioethics, 2003). En la cultura occidental, al menos, los logros son usualmente atribuidos a una persona como agente individual y responsable de sus actos. Si el rendimiento de una persona ya no puede ser contemplado como el resultado de un agente genuino, entonces la idea de mejora que estamos discutiendo puede reducir nuestro sentido de la individualidad, la responsabilidad y la agencia humana (Ach, 2008).

¹¹ Personas con mejoras sensoriales (oído, vista...) podrían acceder con mayor facilidad a informaciones confidenciales.

¹² Los sistemas de comunicación podrían estar incorporados, literalmente, en el individuo.

Esto lleva otra preocupación aparejada, a saber, si en cualquier caso las tecnologías en cuestión harán que nuestras vidas sean más felices. Si la insatisfacción con lo logrado es constitutiva del ser humano, ninguna tecnología lo conseguirá, por muy espectaculares que sean sus logros —a menos que se recurra a las drogas, el lavado del cerebro y otros procedimientos de muy dudosa moralidad.

El sentido comunal de la vida puede perderse si cada individuo se desarrolla en una línea que lo aleja de los demás. La “buena vida” supone un planteamiento común, al menos parcialmente. La sociabilidad humana podría difuminarse con el paso del tiempo. Los seres humanos somos seres sociales (de momento); nuestra idea de la buena vida, y de su sentido, tiene un aspecto comunitario que quedaría amenazado a medida que las mejoras radicales se extendieran, separándonos probablemente cada vez más los unos de los otros. La solidaridad y la compasión podrían verse en entredicho, más de lo que ya lo están en el con frecuencia despiadado mundo moderno.

REPENSANDO LA ÉTICA¹³

En una gran medida, nuestra ética depende del tipo de seres que somos y de lo que en cuanto tales consideramos pueden ser la felicidad y la vida buena. Tradicionalmente, los filósofos han basado sus teorías éticas en suposiciones sobre la naturaleza humana. Con los nuevos procedimientos tecnológicos de mejora podemos convertirnos en seres distintos en un grado relevante, y con ello tendríamos que repensar nuestras posiciones éticas básicas. Por ejemplo, ¿seríamos igual de solidarios con otros humanos que difieran sustancialmente de nosotros? A mediano plazo parece plausible pensar que las tecnologías convergentes permitirán la realización de mejoras espectaculares, lo cual torna ese escenario en algo a considerar con la debida seriedad.

Hay un cierto sentimiento de urgencia ética a la hora de decidir qué tecnologías deseamos y cuáles queremos evitar. Se requieren mejores condiciones de acceso a la información de relevancia ética y una acción ética mejor en términos proactivos, es decir, de adelantarse a los acontecimientos y de acompañar las tecnologías de mejora a medida que se conciben y se comienzan a poner en práctica. Esperar a que las aplicaciones tecnológicas ya estén en uso permite que éstas se “atrincheren”, de manera que es prácticamente imposible la vuelta atrás, aunque con el tiempo se hayan percibido con mayor claridad los dilemas éticos que presentan. Hasta donde sea posible, hay que hacer el esfuerzo por anticipar las consecuencias claramente indeseables de estas innovaciones, estableciendo políticas que minimicen sus efectos negativos. Existen vacíos en las normas y leyes que deben ser rellenados hasta donde alcanzan el mejor conocimiento técnico y el mejor juicio ético disponibles. La ambivalencia ética que pueden presentar muchas nuevas aplicaciones, la borrosidad terminológica, la falta de percepción social de los problemas, las presiones económicas y otros obstáculos no deben impedir el esfuerzo de desarrollar una completa evaluación ética de cada aplicación y más en general, de justificar una política pública sobre la misma.

Las dificultades pueden enfrentarse mejor con la colaboración más eficaz de los éticos, los científicos, los ingenieros y el resto de actores implicados. Junto a ello, cabe desarrollar análisis éticos que dependan menos de teorías éticas simplificadas, que ofrecen poca guía en situaciones particulares. Esto no significa depender únicamente

¹³ Esta sección se basa en la discusión contenida en Moor (2005).

de enfoques de coste-beneficio, de una evaluación monetaria que en definitiva ignore o minusvalore los valores éticos.

CONCLUSIONES

En las páginas precedentes hemos realizado un reconocimiento de los elementos principales que pueblan el paisaje moral de la mejora humana mediante las nuevas tecnologías convergentes. La controversia ética sobre este tema está ganando impulso y complejidad, de modo que no podemos pretender otra cosa que haber ofrecido una primera introducción a la misma.

La controversia viene impulsada por el desarrollo de un impresionante conjunto de aplicaciones tecnológicas en la forma de nuevos materiales, nuevas sustancias, nuevos dispositivos. Tales posibilidades alientan ciertas visiones utópicas (y distópicas) del futuro humano. Algunas de esas visiones y, en todo caso, escenarios a corto plazo más pegados a tierra, nos alertan de la llegada de un conjunto de problemas éticos y sociales que hoy en día apenas se esbozan de manera incipiente. De modo que a fin de que la ética, por decirlo así, no actúe con retraso, vale la pena optar por la prudencia y comenzar una reflexión y debate que nos permita, en su caso, preparar convenientemente la normativa y legislación que se requiera con tiempo suficiente (Allhoff *et al.*, 2009). Como en tantos otros campos de la innovación tecnológica, sugerimos la gran utilidad, si no necesidad, de llevar a cabo una evaluación ética de las tecnologías de mejora humana en colaboración con quienes las desarrollan, una evaluación temprana, “en tiempo real” y continuada (de Cózar, 2009b). Tal evaluación deberá dedicar una atención especial a la pregunta de si las mejoras tecnológicas del cuerpo y de la mente contribuyen realmente a la consecución del ideal de vida buena.

BIBLIOGRAFÍA

- Ach, J. S. 2008. “Improving human performance?”. En J. S. Ach y B. Lüttenberg (eds.) *Nano-biotechnology, nanomedicine and human enhancement*. Berlín: LIT Verlag: 97-111.
- Ach, J. S., y Lüttenberg, B. 2008. *Nanobiotechnology, nanomedicine, and human enhancement*, Münster: LIT Verlag.
- Allhoff, Fritz, Lin, Patrick, Moor, James y Weckert, John. 2009. “Ethics of human enhancement; 25 Questions and Answers”, US National Science Foundation <http://www.humanenhance.com/>
- Bostrom, N. y Roache, R. 2008. “Ethical issues in human enhancement”. En J. Ryberg, T. S. Petersen y C. Wolf (eds.) *New waves in applied ethics*. New York: Palgrave Macmillan.
- Bruce, Donald. 2007. *Human enhancement? Ethical reflections on emerging nano-biotechnologies*; Report of the NanoBio-RAISE expert working group on converging technologies and human functional enhancement, Edinburgh: EdinEthics/NanoBio-RAISE. <http://files.nanobio-raise.org/Downloads/NBR-enhancement%20final.pdf>
- Coenen, Christopher *et al.* 2009. *Human Enhancement*, STOA, European Parliament, Brussels http://www.europarl.europa.eu/stoa/publications/studies/default_en.htm
- de Cózar, José Manuel 2009. “Aspectos sociales de las nanotecnologías”, en Varios Autores, *¿Qué es la nanotecnología? Avances, expectativas y riesgos*, Donostia, Cátedra Sánchez Mazas, colección poliedro: 95-137.

- de Cózar, José Manuel 2009b. "Gobernar la nanotecnología: un (breve) ensayo de democracia técnica", en Jorge Riechmann, Ed. *Nanomundos, multiconflictos. Una aproximación a las nanotecnologías*, Barcelona, Icaria: 93-107.
- de Cózar, José Manuel 2010. "La vida en una nanocasa. Efectos socioambientales de las nanotecnologías", en María Casado, Coordinadora, *Bioética y nanotecnología*, Pamplona, Civitas Thomson Reuters: 255-269.
- European Group on Ethics in Science and New Technologies (EGE) 2005. *Ethical Aspects of ICT Implants in the Human Body*, Opinion N° 20 delivered by the European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission, Brussels 16 March http://ec.europa.eu/european_group_ethics/publications/docs/avis20compl_en.pdf
- Invernizzi, Noela, Guillermo Foladori & Donald Maclurcan 2008. "Nanotechnology's Controversial Role for the South", *Science Technology Society* 13: 123.
- Khushf, George 2008. "Stage Two Enhancements" en F. Jotterand Ed. *Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology* (pp. 203-218), Springer.
- Malsch, I. y K. Hvidtfelt-Nielsen. 2010. *Nanobioethics*. Observatory Nano 2nd Annual Report on Ethical and Societal Aspects of Nanotechnology.
- McKibben, B. 2003. *Enough: Staying human in an engineered age*. Nueva York: Henry Holt.
- Moor, James H. 2005. "Why we need better ethics for emerging technologies". *Ethics and Information Technology* 7: 111-119.
- NanoMed Roundtable. 2010. *A report on the nanomedicine environment*. NanoMed Roundtable www.nanomedroundtable.org
- Nordmann, A. 2004. *Converging technologies: Shaping the future of the european societies*. Bruselas, Bélgica, Comisión Europea.
- President's Council on Bioethics. 2003. *Beyond therapy: Biotechnology and the pursuit of happiness*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Roco, M. and Bainbridge, W.S. 2003. *Converging technologies for improving human performance: Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Savulescu, J. y N. Bostrom (eds.). 2009. *Human enhancement*. Oxford University Press.
- Wolbring, Gregor. 2005. *The triangle of enhancement medicine, disabled people, and the concept of health: a new challenge for HTA, health research, and health policy*, HTA Initiative series, #23, AHFMR Health Technology Assessment Unit, Alberta.
- Young, Liane, Joan Albert Camprodonb, Marc Hauserc, Alvaro Pascual-Leoneb y Rebecca Saxe. 2010. "Disruption of the right temporoparietal junction with transcranial magnetic stimulation reduces the role of beliefs in moral judgments", *PNAS*, abril 13, vol. 107 no. 15 6753-6758. <http://www.pnas.org/content/107/15/6753>

Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias

MARTHA ELOÍSA APARICIO CEJA* Y GREGORIO GUADALUPE
CARBAJAL ARIZAGA*

RESUMEN: La difracción de rayos x (DRX) es una herramienta que se ha utilizado durante el último siglo para el estudio de minerales, compuestos y materiales. Las nanociencias descubrieron que, en dimensiones nanométricas, materiales antes conocidos muestran nuevos fenómenos y propiedades. Esto llevó a que se aplicaran técnicas de caracterización en estado sólido tradicionales, como la DRX a sistemas nanométricos. En este trabajo recopilamos casos publicados principalmente en América Latina en los que la DRX ayudó a resolver problemas en la escala nano.

PALABRAS CLAVE: difracción, rayos x, nanociencia.

ABSTRACT: X-ray diffraction (XRD) has been a useful tool to study minerals, compounds and materials for the past century. Nanosciences discovered new phenomena and properties in matter with nanometric dimensions. Several instruments of solid state analysis (like XRD) were applied to the study of nanometric systems. Our article reviews some studies conducted especially in Latin America where XRD played a key role in the analysis of nanometric materials.

KEYWORDS: diffraction, x-ray, nanoscience.

INTRODUCCIÓN

La difracción de rayos x (DRX) se ha utilizado para analizar la composición de suelos e identificar minerales, aleaciones, metales, materiales catalíticos, ferroeléctricos y luminiscentes entre otros. Este tipo de análisis se ha incorporado al estudio de materiales en el área de nanociencias, debido a que la información que arroja un difractograma ayuda a determinar la estructura cristalina y la composición de un material, e incluso, a partir de un difractograma se pueden calcular los tamaños de grano. El difractograma está formado por reflexiones (picos) que corresponden a las distancias de dimensiones nanométricas entre familias de planos de átomos. Las dimensiones se tornan relevantes en las nanociencias cuando aparece una nueva propiedad en los materiales asociada a esa dimensión y esto es objeto de estudio en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Este trabajo está enfocado a ejemplos en los que la DRX ha sido crucial para resolver cuestiones en sistemas nanométricos especialmente en América Latina.

* Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Apdo. Postal 14, CP 22800. Ensenada, Baja California, México. Teléfono: +52 (646) 174 46 02. Fax: +52 (646) 174 46 03. e-mail: eloisa@cny.n.unam.mx. Agradecimientos: G.G.C.A. agradece la beca posdoctoral de DGAPA-UNAM y el financiamiento de los proyectos DGAPA IN101509 y CONACYT 82984.

HISTORIA

En 1895, Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos x. Al principio, los rayos x tuvieron aplicaciones en el campo de la medicina. La noticia más antigua sobre los rayos x en la República mexicana data del 19 de febrero de 1896 y fue publicada en el diario *El Estandarte* de San Luis Potosí. En la Ciudad de México, la primera radiografía aplicada al diagnóstico quirúrgico de la que se tiene noticia fue realizada por el Dr. Tobías Núñez, el 29 de octubre de 1896 (Stoopen, 1997).

En 1913, William Henry Bragg y su hijo William Lorentz establecieron las bases de la ciencia conocida como *roentgen cristalografía* o *radiocristalografía*, la cual estudia la estructura de los cristales usando difracción de rayos x (Cordero, 2000a). La DRX llegó a México treinta y siete años después de las investigaciones de Bragg, con los trabajos pioneros de Carlos Graef Fernández, Octavio Cano Corona y Francisco José Fabregat Guinchard (Cordero, 2000b).

En el Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN), la Difracción de rayos x (DRX) dio inicio propiamente con la llegada del difractor Philips modelo X'Pert (figura 1a) en marzo de 1996, en el entonces Laboratorio de Física de Ensenada del Instituto de Física de la UNAM. Los primeros análisis fueron efectuados en la alteración de vidrio volcánico de la península de Baja California (Aparicio *et al.*, 1996 y Avalos *et al.*, 1996). En 1997, se inició formalmente el análisis de muestras por estudiantes e investigadores del ahora CNYN. En promedio se analizan anualmente mil muestras de polvo o películas delgadas; se han identificado fases en catalizadores, materiales ferroeléctricos y minerales arcillosos, entre otros.

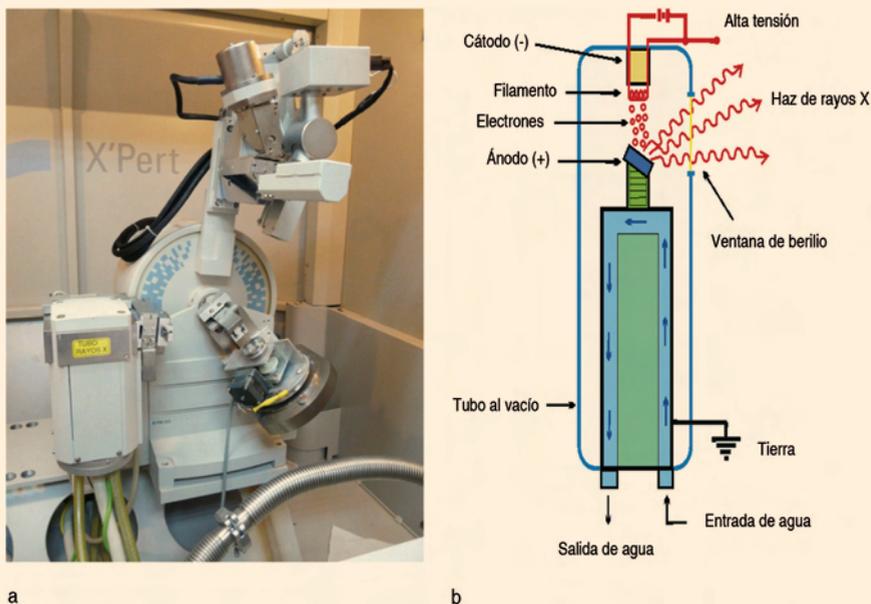
LABORATORIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DEL CNYN

El laboratorio de difracción de rayos x alberga un difractor Philips modelo X'Pert. El equipo tiene la configuración Bragg-Brentano. Los principales componentes son el tubo de rayos x con ánodo de cobre, con un sistema cerrado de enfriamiento (agua), rejillas, monocromador y el detector. El detector contiene xenón; este tipo de gas es adecuado para detectar la radiación de longitud de onda Cu K α o longitud de onda larga.

Los rayos x se generan en el tubo, que es una ampolla al vacío que alberga al electrodo positivo (ánodo) y el negativo (cátodo). El cátodo contiene un filamento de tungsteno por donde viajan los electrones, producidos por una diferencia de potencial de 45,000 voltios, que chocan con el blanco de cobre (puede ser de Mo, Fe, Co, etc.). Los electrones que chocan con el blanco producen los rayos x de fondo que atraviesan por una ventana de berilio que, debido a su bajo número atómico, permite el paso de los rayos x (figura 1b).

La información que se obtiene a partir de los difractogramas permite determinar el sistema cristalino al que pertenece el compuesto así como los parámetros de celda, es decir, la unidad mínima con que se organiza un cristal. Con las intensidades de las reflexiones es posible determinar la distribución de los átomos dentro de la celda (análisis estructural). La geometría de los perfiles en los "picos" o máximos de difracción, permite determinar el tamaño de los cristales.

FIGURA 1. (a) Difractómetro Philips modelo X'Pert del CNYN y (b) Esquema del tubo generador de rayos x.



USOS DE LA DRX EN SISTEMAS NANOMÉTRICOS

Una de las aplicaciones de la DRX en las nanociencias consiste en determinar las estructuras de nuevos compuestos a partir de sus patrones de difracción (Petrick-Casagrande y Castillo-Blanco, 2005) para posteriormente asociar la estructura del compuesto con sus propiedades. Otra aplicación rutinaria es la de identificar la composición de una muestra con base en su estructura cristalina. Esto es común cuando se quiere preparar un compuesto que ya se conoce pero utilizando métodos nuevos, ya sea porque son más baratos, de mayor rendimiento o menos tóxicos.

La identificación se hace a partir del perfil (o patrón) de difracción de rayos x característico para cada compuesto natural o sintético, que es como una huella digital. Los materiales se identifican en la base de datos del *International Centre for Diffraction Data* (ICDD, 2010) que reporta las condiciones del análisis así como los perfiles de difracción de polvos, las distancias interplanares, las intensidades relativas y los índices de Miller, entre otros.

Una de las contribuciones de la DRX a la identificación de un compuesto al realizar una síntesis nueva fue durante la preparación de nanotubos de carbono (NTC) cuyo catalizador era fibra de acero utilizada para lavar platos y que empleaba benceno como fuente de carbono (Koch, 2007). En este caso, los investigadores se auxiliaron de la DRX para confirmar que estaban obteniendo NTC, ya que en esta síntesis, justo por ser nueva, existía la posibilidad de obtener carbono amorfo (estructura sin orden) y otros compuestos de hierro como impurezas. En los difractogramas que se obtuvieron de muestras colectadas en tres puntos diferentes del reactor, se detectó que aparecieron reflexiones características de grafito (marcadas con un rombo en la

FIGURA 2. Difractogramas de estructuras de grafito de NTC (rombo) obtenidos (a) al inicio, (b) al centro y (c) a la salida de un reactor tubular. El catalizador fue fibra de acero utilizada para lavar platos. El difractograma ayudó a identificar la presencia de grafito, que es indicio de la formación de nanotubos de carbono (Koch, 2007).

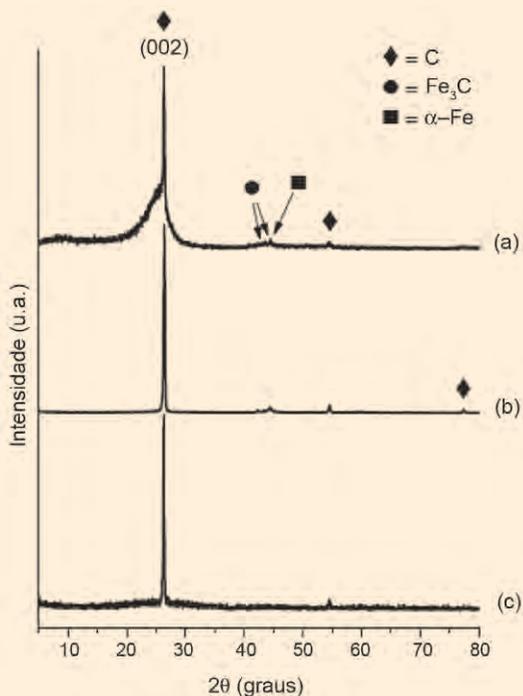


figura 2) que forma las estructuras de NTC. En este caso, la DRX les dio a los investigadores, de manera rápida, indicios de la formación de NTC que posteriormente fue corroborada con imágenes de microscopía electrónica de transmisión.

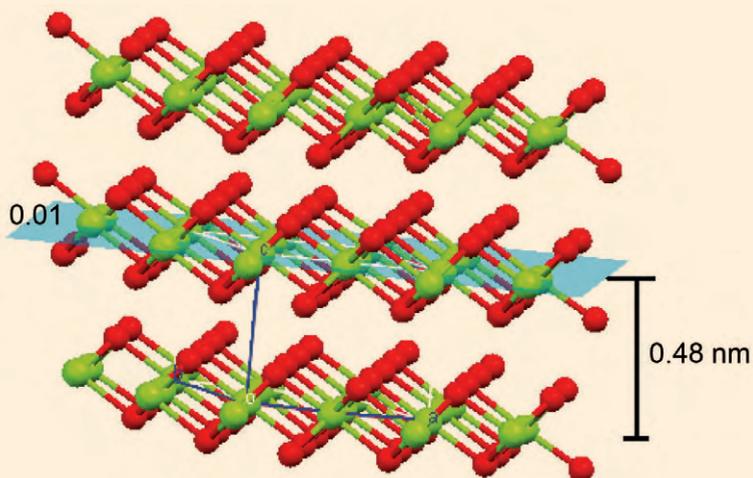
Otra información que dió el difractograma fue que junto con la formación del grafito, también hubo impurezas de hierro y carburo de hierro en poca cantidad. Esto se sabe porque las reflexiones que corresponden a estos compuestos (su huella digital) fueron de baja intensidad (figura 2a, b)

El caso de los compuestos laminares

La aplicación de la DRX en nuestra área de trabajo se relaciona con el estudio de compuestos laminares. Se les llama así porque están formados por diversas láminas como las que se muestran en la figura 3.

Los compuestos laminares han sido estudiados ampliamente en todo el mundo, debido a que entre las láminas de este material inorgánico se pueden insertar diferentes tipos de moléculas que pueden ser orgánicas. Esto da como resultado la formación de compuestos híbridos con propiedades combinadas de material inorgánico y orgánico. La DRX juega un papel importantísimo, porque la primera reflexión de los

FIGURA 3. Estructura laminar del hidróxido de magnesio con distancia interplanar basal (distancia entre láminas) de 0.48 nm, correspondiente al plano 001. (Ficha 9003876 de la Crystallography Open Database, visualizada con Mercury 2.2).



difractogramas, que muchas veces es la más intensa, (como las de la figura 4), corresponde a la distancia existente entre una lámina y otra, denominada espacio interlaminar basal (figura 3). El espacio interlaminar basal se calcula a partir del difractograma con la ecuación de Bragg:

$$\lambda = 2 D \text{ sen}\theta$$

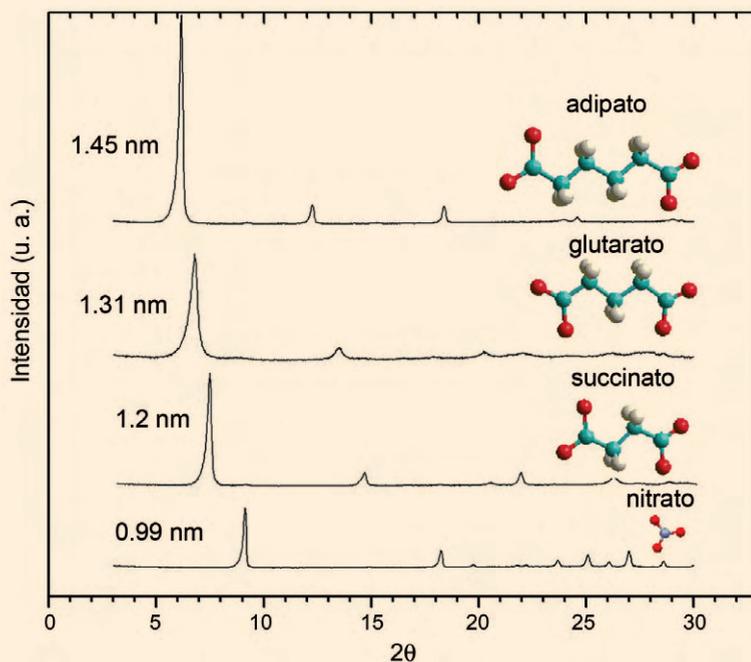
donde λ es la longitud de onda de los rayos x, que en este caso se trató de una radiación emitida por cobre de 0.15418 nm; D es el valor de la distancia entre los planos y θ es el valor del ángulo donde aparece la reflexión (eje x del difractograma).

Es importante determinar el valor de la distancia basal en los compuestos laminares porque se puede saber de qué forma está orientada una molécula en el espacio interlaminar. Los difractogramas presentados en la figura 4 corresponden a láminas de hidroxinitrato de zinc, que inicialmente estaban separadas por iones de nitrato situados entre ellas formando un espacio basal de 0.99 nm. Mediante reacciones de intercambio iónico, los iones de nitrato se sustituyeron por iones orgánicos de diferentes tamaños. Nótese que a medida que aumenta el número de carbonos en la cadena del ion (4 carbonos en succinato, 5 en glutarato y 6 en adipato) el espacio basal aumenta de 1.20 a 1.31 y a 1.45 nm.

Los compuestos laminares intercalados con moléculas orgánicas tienen nuevas propiedades y, en algunos casos, se han encontrado resultados sorprendentes como la detección de distintos comportamientos magnéticos cuando se modifica la distancia entre las láminas en fracciones de nanómetros.

El ejemplo específico se observó en láminas formadas por hidróxido de cobalto. Entre las láminas se introdujeron iones de diversos tamaños para separarlas. El resultado fue que a cada distancia de separación hubo un cambio en la susceptibilidad

FIGURA 4. DRX de hidroxinitrato de zinc (un compuesto laminar) con diferentes dimensiones en el espacio basal. Originalmente están separadas por el ión nitrato y se expanden a medida que aumenta la cadena de los iones orgánicos intercalados: succinato, glutarato y adipato (adaptado de Carbajal, 2004).



magnética. Hubo fenómenos de transición antiferromagnética a paramagnética (T_N) cuando la separación de las láminas era de 0.47 a 0.69 nm, y transiciones ferromagnéticas a paramagnéticas (T_C) con separaciones de 0.92 a 2.54 nm (tabla 1) manifestadas a diferentes temperaturas. La difracción de rayos ayudó en este caso a demostrar que una separación nanométrica entre las láminas induce grandes cambios en las propiedades magnéticas.

TABLA 1. Láminas de hidróxido de cobalto separadas por distintos aniones a diferentes temperaturas de ordenamiento determinadas por ensayos de susceptibilidad magnética.

Compuesto	Separación de las láminas (nm)	Temperatura (I) de ordenamiento (K)
$\text{Co}(\text{OH})_2$	0.47	$T_N = 10.0$
$\text{Co}_2(\text{OH})_3(\text{NO}_3)$	0.69	$T_N = 9.8$
$\text{Co}_7(\text{OH})_{12}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0.92	$T_C = 23.4$
$\text{Co}_2(\text{OH})_3(\text{acetato})$	0.94	$T_C = 13.0$
$\text{Co}_2(\text{OH})_3(\text{acetato}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.28	$T_C = 18.0$
$\text{Co}_2(\text{OH})_3(\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.54	$T_C = 7.9$

*Adaptada de Laget *et al.* (1996).

Determinación de tamaños de partículas (ecuación de Scherrer)

Además de que un difractograma nos ayuda a identificar composiciones y a medir las dimensiones de las estructuras cristalinas, también es posible utilizarlo para determinar el tamaño de las partículas que generan las reflexiones del difractograma.

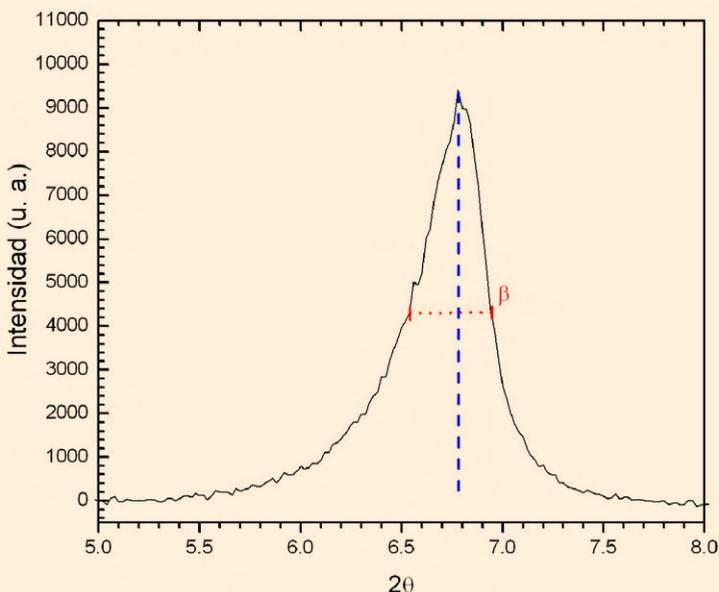
La ecuación de Scherrer relaciona la forma de la reflexión de un plano de átomos y la dimensión del cristal en la dirección de ese plano. La ecuación es (Barbosa *et al.*, 2005):

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

donde: D es tamaño del cristal en la dirección evaluada; λ es la longitud de onda de la radiación de rayos x; θ es el ángulo de difracción de la reflexión evaluada; k es una constante que depende de la forma del cristal, en el caso de partículas esféricas se considera $k = 0.9$; y β es el ancho que presenta la reflexión a la mitad de la altura, conocida como FWHM por sus siglas en inglés.

Retomando como ejemplo el compuesto laminar intercalado con ácido glutárico de la figura 4, para calcular la dimensión del cristal a lo largo del eje basal (dirección de apilamiento de las láminas), se traza la altura de la reflexión basal (línea azul en la figura 5) y se mide el ancho (β) a esa altura (línea roja). Con estos datos, y sabiendo que la longitud de onda del equipo que utilizamos es una emisión de cobre $K_{\alpha} = 0.15404$ nm, el resultado nos indica que este cristal tiene una dimensión de 14.0 nm.

FIGURA 5. Reflexión basal del difractograma de un compuesto laminar intercalado con glutarato de la figura 4. A la mitad de la altura se determina el ancho para el cálculo en la ecuación de Scherrer.

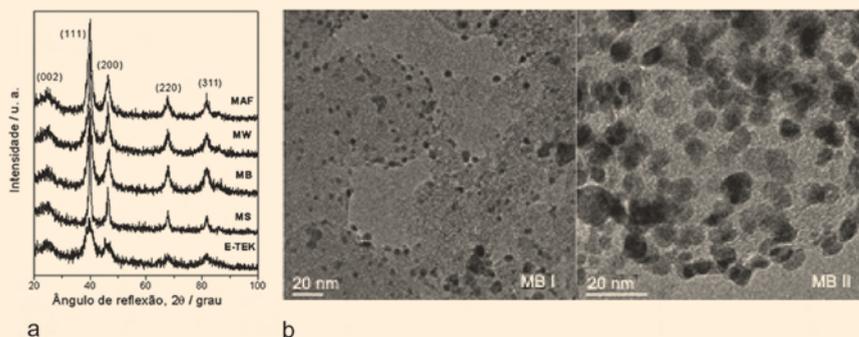


Comparación del tamaño de partícula calculado con la ecuación de Scherrer e imágenes de microscopía electrónica de transmisión

La eficiencia de algunos catalizadores (compuestos o materiales que aceleran una reacción química) depende del tamaño de las partículas y por lo tanto es necesario conocer sus dimensiones. Un ejemplo lo tenemos en la preparación de catalizadores de platino dispersados en carbono que se utilizan en celdas de combustible. Una vez que los autores obtuvieron el catalizador por medio de diversas condiciones de síntesis, calcularon los tamaños de los cristales a partir del perfil de DRX, utilizando la ecuación de Scherrer que arrojó resultados de tamaños entre 2.8 a 9.3 nm (Salgado, 2003). Los datos utilizados para el cálculo se obtuvieron a partir de la reflexión más intensa del difractograma (plano (111)) mostrado en la figura 6a.

Los resultados tuvieron buena correlación con las dimensiones que mostraron las imágenes de microscopía electrónica de transmisión (figura 6b), demostrando que la estimación de tamaños de partícula por medio de un difractograma es confiable.

FIGURA 6. (a) Perfiles de DRX de diversas muestras de platino y (b) las imágenes de microscopía electrónica de barrido que ratifican los tamaños de las nanopartículas (zonas oscuras) calculados con la ecuación de Scherrer (Salgado, 2003).



Tamaño de partículas y cristalinidad relativa

Podemos mencionar otro ejemplo en el que, además de estimar los tamaños de partículas nanométricas de un pigmento de zinc y antimonio ($Zn_7Sb_2O_{12}$), se utilizó la DRX para determinar variaciones de cristalinidad cuando a la estructura se le introdujo praseodimio en cantidades de 0.01 a 0.10 % (Barbosa *et al.*, 2005). El $Zn_7Sb_2O_{12}$ se utiliza como colorante en recubrimientos cerámicos, y la introducción de praseodimio se hizo para buscar nuevas propiedades en este óxido. Para evaluar la calidad de los cristales de las estructuras con praseodimio, se utilizó la DRX para monitorear la cristalinidad relativa por un método simple:

se tomó como referencia el perfil de DRX del compuesto original ($Zn_7Sb_2O_{12}$) con más alta cristalinidad, y se comparó con el ensanchamiento y caída de la intensidad de los difractogramas de las muestras dopadas con praseodimio utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cristalinidad relativa} = (A_2/A_1) \times 100$$

donde: A_1 es el área de la reflexión del compuesto de referencia (máxima cristalinidad); y A_2 es el área del pico del compuesto dopado con praseodimio. En este trabajo, la DRX ayudó a saber que el grado de cristalinidad, observado por medio de la cristalinidad relativa, no cambió cuando se insertaron los átomos de praseodimio en los cristales de $(Zn_7Sb_2O_{12})$, es decir, la calidad de los cristales se mantuvo. Sin embargo, cuando utilizaron la ley de Bragg para verificar las dimensiones de la estructura, observaron que la celda sufrió cambios en sus dimensiones, aumentando de 0.8597 a 0.8613 nm con la inserción de 0.01 y 0.10 % de praseodimio, respectivamente.

Determinación del tamaño de partículas con el modelo Williamson Hall

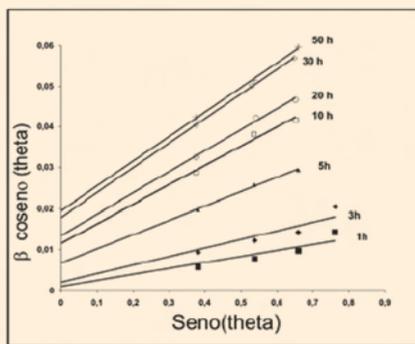
Hay procesos en que las partículas nanométricas que se obtienen presenten varios defectos en su cristalinidad, como lo sería la preparación de partículas metálicas mediante molienda (D'Angelo *et al.*, 2006). Las colisiones constantes entre partículas favorecen la formación de defectos, y estos defectos, a su vez, influyen en el ensanchamiento de las reflexiones en un DRX.

En estos casos, el método Williamson-Hall ayuda a separar el ensanchamiento causado por los defectos del cristal y el ensanchamiento debido al tamaño de partícula. La expresión utilizada se basa en la ecuación de Scherrer y se describe como (D'Angelo *et al.*, 2006):

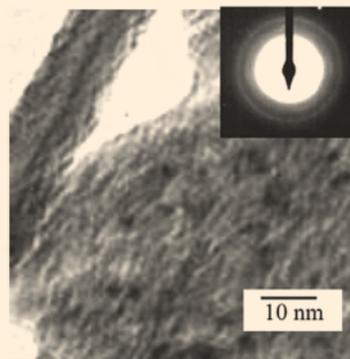
$$\beta \cos \theta = \frac{0.9\lambda}{D} + \eta \sin \theta$$

en donde η es la pendiente que se relaciona con la deformación (defectos) que es inversamente proporcional al tamaño de la partícula (D). Dicha pendiente es extraída al graficar los valores de $\sin \theta$ con $\beta \cos \theta$ como en la gráfica de la figura 7, que corresponde a muestras de hierro y aluminio de alta pureza, molidas en diversos intervalos de tiempo.

FIGURA 7. (a) Gráfico que muestra la relación de los cambios de una reflexión (D'Angelo *et al.*, 2006) y (b) las imágenes de microscopía electrónica de transmisión que muestran tamaños de partículas de 5 nm y casi 20 nm.



a



b

Una vez que se conoce la contribución de los defectos de las partículas en el ensanchamiento de las bandas del difractograma, se puede estimar el tamaño de la partícula. En el caso de la muestra molida por 50 horas, el método de Williamson Hall indicó que las partículas tenían tamaños de 5.9 nm, dato que se confirmó con las imágenes de microscopía electrónica de transmisión (figura 7). Si la ecuación de Scherrer se hubiera aplicado directamente, el tamaño estimado hubiera sido de 9.97 nm, dado que esta ecuación no es para partículas con grandes cantidades de defectos.

CONCLUSIÓN

La difracción de rayos x se ha consagrado como una herramienta indispensable para estudios en estado sólido y ciencia de materiales, incluyendo los materiales a escala nanométrica.

Los tipos de información que pueden ser extraídos de un difractograma son: (a) la geometría de la celda y las dimensiones, determinadas a partir de la posición de las reflexiones; (b) la distribución de los átomos dentro de la celda unitaria y las cantidades de los compuestos cuando se trata de mezclas que se estiman tomando en cuenta la intensidad de las reflexiones (picos); (c) analizando la geometría de las reflexiones es posible determinar el tamaño de los cristales; (d) y al hacer un análisis cualitativo se pueden identificar los componentes de una mezcla.

Con los pocos ejemplos citados, en su mayoría de estudios realizados en Latinoamérica, demostramos la utilidad que ha tenido la difracción de rayos X en el estudio de sistemas nanométricos. Esto es sólo una muestra de los incontables trabajos que se desarrollan hoy en día en los que la DRX juega un papel indispensable como herramienta de caracterización cristalográfica de compuestos nanoestructurados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio-Ceja M. E. *et al.* 1996. *Caracterización mineralógica de los productos de alteración de los depósitos piroclásticos del Plioceno, en la Provincia Volcánica de Puertecitos, Baja California*. Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jalisco.
- Avalos Borja M. *et al.* 1996. *Estudios de difractometría en el Instituto de Física en Ensenada*. III Reunión Nacional, Sociedad Mexicana de Cristalografía y la Asociación Mexicana de Microscopía, Morelia, Michoacán.
- Barbosa, R. *et al.* 2005. "Síntese e caracterização do espinélio $Zn_7Sb_2O_{12}$ dopado com terras raras". *Revista Matéria*, vol. 10, núm. 2: 364.
- Carbajal-Arizaga, G.G. 2004. *Modificação química de superfícies da brucita (hidróxido de magnésio) e hidróxinitrato de zinco com ácidos mono e dicarboxílicos*, tesis de maestría. Universidad Federal do Paraná.
- Cordero Borboa, A. E. 2000a. "Referencias Recientes para la Historia de la Cristalografía Mexicana", *Boletín de la Soc. Mex. de Física*. vol. 14, núm. 2: 57.
- Cordero Borboa, A. E. 2000b. "El origen del estudio de los cristales por rayos X en México". *Ciencia y Desarrollo*, vol. xxvi, núm.154, 7
- Crystallography Open Database. Accesado en julio de 2010. <<http://www.crystallography.net/>>.

- D'Angelo, L. J. *et al.* 2006. "Estudio de las transformaciones estructurales producidas por el proceso de aleación mecánica en el sistema Fe-Al". *Revista de la facultad de Ingeniería, UCV*, vol. 21, núm.1: 39.
- International Centre for Diffraction Data (ICCD). 2010. The Powder Diffraction File (PDF-2).
- Koch, H. 2007. *Utilização de esponja de lã de aço comercial como catalisador para a síntese de nanotubos de carbono*, tesis de maestría. Universidad Federal do Paraná.
- Laget, V. *et al.* 1996. "Long range ferromagnetism in tunable cobalt (II) layered compounds up to 25 Å apart". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 154, núm. 1: L7.
- Mercury 2.2 (Build RC5). Copyright CCDC 2001-2008 <<http://www.ccdc.cam.ac.uk/mercury>>
- Petrick-Casagrande, S., Castillo-Blanco, R. 2005. "Método de Rietveld para el estudio de estructuras cristalinas". *Revista de la Facultad de Ciencias de la UNI : REVCUNI*. vol. 9, núm. 1: 1-5.
- Salgado, E. R. González. 2003. "Correlation between catalytic activity and particle size of Pt/C prepared by different methods". *Eclética Química*, vol. 28 núm. 2.
- M. Stoopen Rometti. 1997. *Una máquina Röntgen en San Luis Potosí*. Primer Congreso Nacional de Cristalografía, San Luis Potosí. México.

Red Temática de Nanociencia y Nanotecnología

Conacyt
Dirección Adjunta de Desarrollo Científico y Académico
Dirección de Redes

Dr. Sergio Fuentes Moyado
Responsable técnico

Comité Técnico Académico de la Red

Dra. Cecilia Noguez Garrido
Instituto de Física (UNAM)
Dr. Emmanuel Haro Poniatoski
Universidad Autonoma Metropolitana
Dr. Enrique Camps Carvajal
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Dr. Gerardo Cabañas Moreno
Instituto Politécnico Nacional
Dr. Jean Philippe Vielle-Calzada
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
Dr. Jesús González Hernández
Centro de Investigación en Materiales Avanzados
Dr. Sergio Fuentes Moyado
Centro de Nanociencias y Nanotecnología (UNAM)
Dr. Humberto Terrones Maldonado
Colaborador
M. C. Edgardo Berea Montes
Farmaquimia

Representante Empresarial

Ing. Jesús Serrano Landeros
Secretaría de Economía
Representante Gubernamental

INTRODUCCIÓN

En los últimos 5 años los temas de nanociencias y nanotecnología se han planteado con grandes expectativas debido a su importancia e impacto en una gran cantidad de aplicaciones en diferentes áreas de la industria y la sociedad. Su relevancia es tan grande que se ha dado en llamar como la tercera revolución industrial por su amplia

variedad de aplicaciones en campos muy diferentes como la medicina, energía y medio ambiente por mencionar sólo algunas.

En el año 2006, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) lanzó una Convocatoria para la “Presentación de Ideas para la realización de megaproyectos de investigación científica o tecnológica”. Después de revisar todas las propuestas presentadas de cada megaproyecto en todos los temas, se decidió crear redes temáticas que aglutinaran el esfuerzo de colaboración, apoyos a proyectos y desarrollaran líneas de investigación de acuerdo con las necesidades y oportunidades en temas de interés nacional. Se aprobaron 14 redes y se estableció el objetivo de llegar a 20. En el tema de nanociencias y nanotecnología, las principales propuestas fueron del Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV), del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), del Laboratorio Nacional en Nanoelectrónica del INAOE y de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En este contexto se creó la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología y se formó un comité técnico académico integrado por los responsables de cada una de las propuestas presentadas al CONACyT.

Un objetivo común de los megaproyectos en nanociencias y nanotecnología fue la creación de una Iniciativa Nacional en Nanotecnología con la finalidad de generar y fortalecer ambas disciplinas con diferentes enfoques, pero todas orientadas a la creación de una mayor capacidad científica y tecnológica en el país y a la búsqueda de impactos económicos, sociales, ambientales y científicotecnológicos.

Las propuestas consideraban la coordinación de la red o instituciones participantes así como el fortalecimiento de las capacidades a nivel nacional, para poder alcanzar un desarrollo nacional con tecnología propia, que pudiera competir a nivel mundial con productos innovadores. Con excepción de la propuesta del INAOE referida a un campo muy específico de electrónica, el resto de las propuestas presentaron en forma más amplia un campo de aplicaciones muy diverso involucrando una estructura u operación con temas o nodos muy definidos respecto de las oportunidades y campos de investigación que permitían de una forma más ágil la presentación y realización de proyectos de investigación, innovación y colaboración entre las instituciones.

En las líneas de acción se puede apreciar el impacto de la nanotecnología sobre áreas muy diversas; sin embargo, se observan como líneas generales comunes la creación de recursos humanos y posgrados de excelencia, el fortalecimiento de la infraestructura de las redes planteadas así como compartirla, la orientación de proyectos que atiendan las demandas del sector industrial, el trabajo de colaboración interdisciplinaria, el análisis y medición del impacto de la nanotecnología en el medio ambiente y la sociedad, la realización de investigación científica de frontera y la de proyectos de desarrollo tecnológico y de innovación, todo lo anterior permite precisar que el modelo de operación se debe orientar a la definición de proyectos basados tanto en su impacto científico como en la innovación, orientados en temas de interés nacional que sean definidos por el actual Comité de la Red.

En el estudio a nivel nacional acerca de la nanotecnología, publicado en un reporte realizado por el CIMAV para la Secretaría de Economía, se identifica la siguiente tabla de FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas:

Fortalezas

- Infraestructura básica de investigación

- Masa crítica para investigación y desarrollo en las plataformas tecnológicas con capacidades para su desarrollo en México
- Presencia de empresas manufactureras nacionales con proyectos de nanotecnología en desarrollo
- Acuerdos y tratados internacionales

Oportunidades

- Incorporación oportuna a la megatendencia de la nanotecnología
- Amplio mercado potencial de productos nanotecnológicos
- Opciones pertinentes para la formación y capacitación de recursos humanos
- Formación de redes nacionales de nanotecnología de carácter incluyente
- Acceso a fuentes internacionales de financiamiento

Debilidades

- Carencia de un programa o iniciativa nacional de nanotecnología
- Carencia de ámbitos colaborativos entre los diferentes grupos de investigación
- Escaso apoyo gubernamental a la CyT
- Inexistencia de un modelo de transferencia del conocimiento a la sociedad
- Falta de cultura empresarial en inversiones de riesgo
- Falta de equipo científico de vanguardia y de plantas piloto
- Excesivos trámites y burocracia pesada
- Desconocimiento generalizado del tema de la nanotecnología

Amenazas

- Ampliación de la brecha tecnológica con respecto a países más avanzados
- Desconocimiento de riesgos ambientales, en la seguridad y en la economía
- Pérdida de ventajas competitivas ante países como China, India, Singapur, etc.
- Crisis financiera en el ámbito internacional

Con base en este análisis es posible proponer una serie de estrategias y acciones tendientes a impulsar el área de NyN en el país.

ORGANIZACIÓN DE LAS REDES TEMÁTICAS

A través de la Dirección de Redes se llevó a cabo el proceso de creación de las redes temáticas, considerando, como ya se mencionó anteriormente, las propuestas surgidas de la convocatoria de megaproyectos. A continuación se describen los objetivos, organización, funciones y atributos de las redes

1. Objetivos del programa de redes temáticas

1. Promover y fortalecer la construcción y desarrollo de redes científicas nacionales en temas estratégicos que respondan a problemas científicos, tecnológicos y sociales y procuren la vinculación academia-empresa.

2. Un consejo asesor. Instancia de evaluación y seguimiento del desempeño de las redes temáticas. Conformado por tres representantes institucionales (IES), un representante del sector técnico-empresarial, dos distinguidos académicos, un representante de las áreas sustantivas del CONACyT, dos representantes de la Junta de Gobierno del CONACyT, el director adjunto de desarrollo científico y académico como coordinador.
3. Un representante académico de la red designado por el comité académico.
4. Despacho externo que llevará el control de las ministraciones, pagos y comprobaciones de cada gasto de las redes.
5. Investigadores participantes de cada red temática de reconocido prestigio en el tema y que lleve a cabo proyectos que tengan compatibilidad temática.

IV. Funciones y atributos

1. Comité técnico académico:
 - a. Elegir al representante del comité técnico académico de la red.
 - b. Aprobar la integración de nuevos miembros de la red.
 - c. Elaborar y aprobar:
 - a) Programa general de trabajo de la red
 - b) Presupuesto ejecutivo
 - d. Desarrollar manual interno de la red (normas operativas).
 - e. Determinar acciones y proyectos a realizar por la red (a propuesta de los miembros de la red).
 - f. Rendir los informes técnicos.
 - g. Calendario de ministraciones
 - h. Nueva red o cancelación de la existente.
 - i. Faculta al representante académico
2. Consejo asesor:
 - a. Evalúa y aprueba el programa general de trabajo de la red y el presupuesto Ejecutivo de cada red a propuesta del comité técnico-académico.
 - b. Evalúa el desempeño de la red para determinar su continuidad.
 - c. Aprueba la creación de nuevas redes.
 - d. Propone programas y presupuesto.
 - e. Observaciones y recomendaciones de la operación de la red.
3. Representante académico:
 - a. Representar los intereses de la red temática ante CONACyT y dentro del fideicomiso.
 - b. Mantener la comunicación entre la red y CONACyT
 - c. Suscribir el convenio de asignación de recursos.
 - d. Instruir la dispersión de recursos a los investigadores de la red.
 - e. Convocar a las sesiones del comité técnico académico.

- f. Entregar los informes técnico-financieros
 - g. Llevar el seguimiento de acuerdos del comité técnico académico.
 - h. Presenta proyectos e integrantes de la red.
 - i. Desarrolla el manual interno de la red.
4. Despacho externo
- a. Documentos fiscales a nombre del FOINS.
 - b. Elegibilidad.
 - c. Determinación de diferencias.
5. Investigadores participantes en la red.

Habrá tantos investigadores como sea posible de acuerdo con los criterios de aceptación y pertinencia tanto de su reconocimiento y prestigio como de los proyectos de investigación tengan compatibilidad y pertinencia con los objetivos de la red. El investigador hará personalmente la comprobación de los recursos a través de un sistema diseñado e instalado en su computadora. También hará la presentación de los resultados del mismo.

Esta forma de operación ya está aprobada y sólo es cuestión de tiempo para que salgan las convocatorias y que se pueda implementar en cada una de las redes temáticas por lo que con esta base se propone el manual de operación sin que éste entre en conflicto con lo que ya está aprobado y listo para ser puesto en marcha en los meses de febrero o marzo del 2009.

Un cambio significativo respecto a otras formas de operación y administración es que la participación de los investigadores es a título personal y no con base en el apoyo de una institución, si bien ésta última continuará respaldando al investigador, no será la primera responsable en el gasto y seguimiento de los proyectos ni tampoco de la evaluación de los proyectos que el investigador realice al interior de cada red. Otro cambio es la administración externa de los recursos ya que no se utilizará la infraestructura de las instituciones en la que colabora el investigador, lo que se busca es agilizar el proceso de entrega de recursos, comprobación de gastos y hacer más rápida y eficiente la evaluación de los proyectos para que los recursos no se detengan y se pueda continuar con la realización de los proyectos.

Aunque está mencionado como parte de los objetivos específicos en realidad con la organización, como se propone, falta contar con un puente de vinculación más dedicado en tiempo y forma para poder contar en forma eficiente y rápida con retroalimentación de los sectores gubernamental y empresarial y al mismo tiempo sirva como brazo de inteligencia estratégica a la red.

RED TEMÁTICA DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGIA

Objetivos, metas, estrategias, acciones y entregables

Debido a que en México la nanociencia y la nanotecnología (NyN) es un área emergente con gran potencial que todavía no cuenta con una masa crítica en el país que pueda tener impacto nacional, se deben unir fuerzas entre varias instituciones y sectores con la finalidad de establecer una red de excelencia que aproveche las fortalezas

y reduzca las debilidades para impactar en la sociedad y el sector productivo. Esta red pretende lograr los siguientes objetivos:

Objetivo 1

Efectuar estudios diagnósticos que presenten el “estado del arte”, los retos y las oportunidades existentes en México, en materia de la temática de la red.

Este objetivo busca actualizar y complementar los estudios y diagnósticos ya existentes sobre el estado del arte de NyN, considerando los retos más importantes y los nichos u oportunidades en los que nuestro país puede competir.

META 1: Actualizar los estudios de capacidades en recursos humanos e infraestructura

Se cuenta con información inicial sobre recursos humanos e infraestructura que estará a disposición de la red. Sin embargo, ésta se debe actualizar y enfocar a las líneas de investigación en que la red pueda ser más fuerte, tenga mayor impacto y refleje el estado actual del tema.

META 2: Fortalecer de manera importante a la red a través de una estrategia que permita al país incursionar en nanobiotecnología.

Los estudios previos que se tienen van enfocados a la parte de materiales inorgánicos, con la participación del CINVESTAV-Irapuato, se aporta su experiencia en la parte biológica y se enriquece a la red. Es un hecho que la actividad multidisciplinaria en nanobiotecnología es un área en la que se están realizando proyectos de gran impacto de nivel internacional

Estrategias

Aunque ya se cuenta con una base de datos que indican las capacidades académicas en relación a recursos humanos y equipos de laboratorio, se realizará la actualización del inventario de capacidades nacionales en el tema de nanociencias y nanotecnología, el cual deberá incluir:

- Conocer los recursos humanos capacitados, tomando en cuenta el grado obtenido
- Determinar la infraestructura experimental utilizada en actividades relacionadas con el tema
- Censar la formación de recursos humanos a nivel de grado y de posgrado. Se incluirán los diferentes programas nacionales por institución

Acciones

- Primeramente, se redactará un cuestionario que identifique las instituciones y las empresas nacionales que realizan o planean realizar actividades en el tema de nanociencias y nanotecnología. A través del cuestionario se deberá obtener información sobre las capacidades existentes y humanas. Se solicitará información a instituciones como: UNAM, IPN, Sistema de Centros CONACyT, UAM, centros sectorizados (CENAM, IIE, IMP, ININ), universidades e institutos públicos y privados.

- Se identificarán los programas de grado y posgrado que formen recursos en el tema de nanociencias y nanotecnología, registrando las diversas modalidades, esto es, programas dedicados al tema o aquellos que ofrecen otras alternativas como opciones terminales o que incluyen materias en el programa sobre el tema en su currículum. Será importante conocer las temáticas en las cuales los estudiantes de posgrado están realizando su trabajo de tesis.
- Se identificarán los laboratorios, por institución, que realicen actividades en nanociencias y nanotecnología, esto con el fin de determinar la infraestructura experimental (equipos, plantas piloto, capacidades de cómputo, etc.) con que cuentan las instituciones académicas y empresas. Con esta información se obtendrá el inventario de capacidades experimentales y así poder ofertarlo a la comunidad.
- Se identificarán las líneas de investigación y los proyectos que actualmente se están realizando en los diferentes laboratorios, incluyendo la fuente de financiamiento. Esto nos ayudará a reconocer las áreas en las que tenemos nuestras competencias clave, así como el diseño de las plataformas científico tecnológicas con mayor potencial en el entorno global.
- A través de los investigadores del área de biotecnología se realizarán los estudios de prospectiva de colaboración entre la parte biológica y la de nanomateriales.

En los estudios y diagnósticos sobre el estado del arte incluiremos el impacto ambiental y en seres vivos. Se contribuirá a implementar los acuerdos de estándares internacionales en colaboración con el Centro Nacional de Metrología (CENAM) y los grupos encargados en la OECD y el Instituto Nacional de Ecología.

Es importante mencionar que los dos laboratorios nacionales en NyN apoyados por el CONACyT con fondos concurrentes, participan en la red (IPICyT y CIMAV), por lo que infraestructura de punta con un costo aproximado de 80 millones de pesos estará disponible para la red, así como infraestructura ya existente en las instituciones participantes. Por otro lado, el IPICyT cuenta con un posgrado en NyN que podrá ser el inicio de un posgrado nacional en el campo.

Entregables

- Documento del estado del arte en nanociencias y nanotecnología, identificando fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas.
- Análisis de la Comisión Técnico Académica acerca de cuáles son los retos y las oportunidades existentes en nanociencias y nanotecnología, así como las recomendaciones para que México pueda ser competitivo en el área.

OBJETIVO 2

Obtener un catálogo de recursos humanos en nanociencias y nanotecnología de México.

Se cuenta con información inicial sobre recursos humanos que estará a disposición de la red. Sin embargo, ésta se debe actualizar y enfocar a las líneas de investigación en que la red pueda ser más fuerte y tener mayor impacto.

Estrategia

- Conocer los recursos humanos capacitados en las instituciones de educación superior del país.
- Determinar la infraestructura experimental disponible para los estudiantes involucrados en investigaciones relacionadas con el tema.
- Censar la capacidad de formación de recursos humanos a nivel de grado y de posgrado.

Entregables

Consideramos que los puntos anteriores estarán terminados en un plazo de seis meses y constituirán parte importante de la justificación de la red. Sin embargo, hay que decir que esta información es dinámica y se actualizará regularmente en la página electrónica de la red temática NyN.

- Un catálogo de programas de formación de recursos humanos identificando las potencialidades de cada región.

OBJETIVO 3

Análisis de proyectos académicos multi institucionales en ciencia básica u orientada de interés e importancia nacional argumentando y sustentando su viabilidad.

Se identificarán áreas estratégicas para generar proyectos multidisciplinarios, que aporten soluciones integrales en el entendimiento de la nanotecnología y sus posibles aplicaciones. Se buscará conjugar la experiencia de diversos grupos para la resolución de tópicos o áreas de interés primordial para la innovación tecnológica.

META: Establecer programas que fomenten las actividades científicas que incrementen el conocimiento.

Se promoverá la generación de proyectos de ciencia básica, que busquen incrementar el conocimiento de los fenómenos a la nanoescala y que puedan generar en el mediano o largo plazo, nuevas tecnologías que incrementen la competitividad económica o beneficien a la sociedad.

Se promoverá la investigación en campos multidisciplinarios, a través de redes y macroproyectos, incluyendo aportaciones de tipo químico, físico, biológico, así como de ingeniería y materiales.

Estrategias

- Identificar áreas estratégicas y las capacidades del país para generar proyectos de investigación básica, que generen conocimiento y conceptos innovadores en el estudio de propiedades, procesos, estructuras, arquitecturas, simulación así como técnicas de alta resolución espacial y temporal.

Acciones

- Proponer proyectos de nanociencia y nanotecnología, en las modalidades de proyectos individuales y de grupo.

- Proponer la creación de infraestructura de caracterización a la nanoescala en regiones específicas del país.
- Crear subredes de nanociencia a nivel nacional.
- Establecer un programa de entrenamiento y capacitación en el extranjero del personal técnico que va a operar los equipos de alta tecnología.
- Favorecer el intercambio académico a nivel nacional e internacional.

Entregables

- Documento de áreas potenciales de desarrollo en nanociencias y nanotecnología, identificando fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas.
- Recomendación de la Comisión Técnico Académica acerca de cuáles son los campos en nanociencias y nanotecnología en los que México puede ser competitivo.
- Propuesta de formación de subredes de nanociencia entre los principales grupos de investigación en el país.
- Reportes de avances de las reuniones temáticas.
- Programas de cursos formativos y de entrenamiento para las universidades e industria.
- Reporte de acciones de intercambio académico internacional.

OBJETIVO 4

Diseño y ejecución de proyectos en ciencia aplicada susceptibles de lograr la vinculación con el sector público y privado. Además de buscar financiamiento de fuentes tanto nacionales como extranjeras, se dará prioridad a los proyectos que permitan esquemas ejecutables y que consideren la solución de problemas reales de la sociedad mexicana.

Este objetivo busca detectar las posibles áreas de vinculación entre los grupos de investigación y las entidades gubernamentales o empresariales que requieren de resolver problemas o innovar sus procesos basados en el uso de nanociencias y nanotecnología. Una vez identificados los aspectos de interés común se procederá a armar proyectos de índole tecnológica que contemplen la aplicación, transferencia y/o producción de materiales o sistemas.

META 1: Transferir los avances tecnológicos en productos que incrementen la mano de obra, el crecimiento económico y el bienestar de la sociedad.

La nanotecnología ha pasado de ser una promesa a una serie de realizaciones que empiezan a tener impacto en la manera diaria de vivir. Se han desarrollado productos innovadores en muchas áreas, como textiles, cosméticos, transporte, alimentos y probablemente los de mayor impacto en medicina. También se esperan grandes avances en computación.

Estrategias

- Identificar las capacidades del país en investigación científica aplicada e investigación tecnológica.
- Promover la interacción de los grupos de investigación con la industria.

- o Organizar foros de intercambio de ideas entre ambos grupos.
 - o Establecer redes de colaboración entre grupos de investigación e industria.
 - o Establecer grupos de trabajo conjunto (investigación-industria) en los institutos, centros y laboratorios nacionales.
 - o Promover el uso de las instancias y programas del CONACyT para el financiamiento de proyectos a empresas.
- Buscar financiamiento para los proyectos estratégicos dirigidos a resolver problemas relacionados con las áreas en las que México requiere incrementar su capacidad de innovación.
 - Promover las capacidades de innovación que se pueden lograr a través de la nanotecnología en el sector privado y los tres niveles de gobierno, para incrementar las posibilidades de financiamiento y desarrollo de los programas y proyectos.

Acciones

PROMOCIÓN

- Establecer un programa de incentivos al desarrollo tecnológico en la industria y los laboratorios de investigación.
- Mantener canales de comunicación e información abiertos que promuevan la incorporación de nuevas empresas a la iniciativa.
- Apoyar a las universidades estatales para que se incorporen a los proyectos estratégicos.
- Favorecer el intercambio de recursos humanos entre la universidad y la industria.

PROYECTOS ESTRATÉGICOS

- Proponer proyectos estratégicos, en las modalidades de proyectos de grupo.
- Proponer la creación de infraestructura para los Proyectos Estratégicos en regiones específicas del país.
- Proponer equipamiento dedicado al estudio de las principales enfermedades que afectan a los mexicanos.
- Proponer un programa de entrenamiento y capacitación en el extranjero del personal técnico que va a operar los equipos de alta tecnología.
- Favorecer el intercambio académico a nivel nacional e internacional.

META 2: Desarrollo sustentable y ético de la nanotecnología

Se deberá establecer que todas las acciones comprendidas en esta iniciativa que buscan crear desarrollos en nanotecnología, incrementar la competitividad, proporcionar mayor valor agregado y al mismo tiempo aumentar la oferta de empleo y los ingresos de los trabajadores, que se realicen con un estricto apego a la conservación del medio ambiente y a un desarrollo ético de la nanotecnología. Asimismo, se debe considerar una meta importante el mantener al público informado de las repercusiones de la nanotecnología y promover su aceptación.

Estrategias

- Promover el contacto entre las agencias gubernamentales reguladoras, los investigadores y la industria.
- Proteger que los desarrollos en nanotecnología se encuentren en el marco jurídico adecuado.
- Estudiar los riesgos potenciales de los nanomateriales.
- Establecer las normas y estándares relacionados con el uso de los productos y procesos nanotecnológicos.
- Promover reuniones entre autoridades del medio ambiente e investigadores para evaluar riesgos ambientales.
- Adherirse a los acuerdos internacionales sobre desarrollo responsable de la nanotecnología.
- Establecer el ciclo nacimiento-vida-muerte de los productos nanotecnológicos para poder disponer ecológicamente de ellos.
- Analizar el impacto de la nanotecnología en el crecimiento económico, el estándar de vida y la competitividad.
- Incluir cursos sobre desarrollo sustentable de la nanotecnología en licenciatura y posgrado.
- Reglamentar los experimentos con seres vivos.

Se analizarán los acuerdos de estándares internacionales en colaboración con el Centro Nacional de Metrología (CENAM) y los grupos encargados en la OECD y en el Instituto Nacional de Ecología.

OBJETIVO 5

Conjuntar la información generada por los estudios diagnósticos que identifiquen los retos y las oportunidades existentes en México, en un Proyecto Nacional.

Este objetivo busca generar un proyecto ejecutivo del estado del arte de NyN, considerando los retos más importantes y los nichos u oportunidades en los que nuestro país pueda competir.

META: Generar un documento ejecutivo que contenga los planes de desarrollo a nivel científico, tecnológico, desarrollo y capacitación de recursos humanos e infraestructura.

Entregables

- Proyecto ejecutivo nacional en nanociencias y nanotecnología, conteniendo las recomendaciones de expertos en el área y las acciones que se deberán realizar para que México pueda ser competitivo en el área.

Además de los objetivos específicos identificados se incluirán otras acciones muy relevantes en el tema.

Acciones en medio ambiente y salud

- Financiar investigaciones de los efectos de la nanotecnología en el medio ambiente y la salud.

- Financiar investigaciones sobre el ciclo de vida de los nanomateriales y el reciclado.
- Financiar investigaciones que evalúen el riesgo a la salud, durante la producción y el manejo de nanomateriales en las investigaciones, el escalamiento y la producción.
- Establecer reglas y manuales de uso para trabajar con nanomateriales.
- Difundir en todos los niveles las normas de seguridad.

Acciones en comunicación

- Fomentar la comunicación y el diálogo con el público a través de televisión, museos, exposiciones, etcétera.
- Crear materiales enfocados a divulgar los avances en nanotecnología.
- Hacer encuestas sobre la percepción del público.
- Detectar los obstáculos al desarrollo nanotecnológico y la manera de superarlos.
- Fomentar el desarrollo ético de la nanotecnología.
- Determinar los efectos a corto, mediano y largo plazo de la nanotecnología.
- Informar a la ciudadanía sobre los avances en nanotecnología para incrementar la aceptación de los procesos.

VALORES Y PRINCIPIOS GUÍA DE LA RED

El integrarse en una red temática conlleva múltiples ventajas, siendo la principal el trabajo coordinado, lo cual optimiza las capacidades humanas y físicas existentes en México. Esto permitirá abordar las temáticas identificadas como de mayor oportunidad con una amplia posibilidad de éxito, tanto en el ámbito académico como en el tecnológico.

Por lo anterior, se propone un modelo orientado hacia:

- El desarrollo de investigación científica básica
- El desarrollo de proyectos con base en las líneas de investigación definidas en cada área temática y proceso crítico en la red temática.
- El desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo identificados a partir de necesidades detectadas en el mercado nacional o internacional.
- La 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.
- El fortalecimiento de cooperaciones con instituciones expertas y reconocidas a nivel mundial en nanociencias y nanotecnología y que permita fortalecer la infraestructura humana y física para el desarrollo en México.

Lo anterior permitirá un seguimiento continuo y un enfoque dirigido hacia la obtención de resultados concretos.

Listado de valores y principios guía

1. Fortalecer y fomentar la colaboración entre los miembros de la red de nanociencias y nanotecnología.

- Trabajo en equipo, multidisciplinario y orientado a resultados.
 - Generación de plataformas efectivas de comunicación que fortalezcan la colaboración de los miembros de la red y aseguren su operación.
 - Programas de colaboración de interés común para los miembros de la industria y la academia que cuente con mecanismos para el desarrollo de investigaciones conjuntas que permitan el flujo de conocimiento y capacidades entre sus miembros.
 - Trabajo colaborativo con el sector productivo y gubernamental, que permita la detección de grandes temas nacionales para el desarrollo de proyectos de investigación e innovación en el tema de Nanociencias y Nanotecnología.
2. Desarrollo y fortalecimiento de capacidades para formar recursos humanos de calidad internacional.
- Fortalecimiento y creación de programas de posgrado de calidad internacional en instituciones educativas mexicanas.
 - Programa con orientación a fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas en nanociencias y nanotecnología para formar recursos humanos de calidad internacional.
 - Fortalecimiento de las plantillas de profesores (repatriación, intercambios, estancias, entre otros).
3. Fortalecimiento de las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación basadas en nanociencias y nanotecnología.
- Definición de líneas de investigación aplicada, desarrollo tecnológico e innovación en nanociencias y nanotecnología.
 - Apoyo a las iniciativas de investigación y desarrollo precompetitivo para los sectores y nichos de oportunidad que sean definidos como estratégicos para la red.
 - Desarrollo de productos innovadores que sean llevados hasta la etapa de comercialización
4. Utilización de infraestructura de investigación, de manera compartida por los miembros de la red.
- Fortalecimiento de la infraestructura existente y puesta en servicio
 - Definición de mecanismos de colaboración y operación de la red de Laboratorios de innovación de nanociencias y nanotecnología.
 - Actualización de equipos y modernización de procesos
5. Trabajo de inteligencia estratégica para definir sectores industriales y nichos de oportunidad en nanociencias y nanotecnología con posibilidad de generar impacto en México en 5 años.
- Desarrollo de metodologías y herramientas para actividades de inteligencia y vigilancia tecnológica en nanociencias y nanotecnología.

- Prospectiva tecnológica para el análisis y desarrollo de mapas tecnológicos y estudio de arte con visión global para identificar sectores industriales clave, nichos de oportunidad, líneas de desarrollo y nuevos productos.
6. Facilitar la participación de los sectores industriales y gubernamentales estratégicos en México que se puedan beneficiar con el uso de nanociencias y nanotecnología.
 - Proyectos de alto contenido científico tecnológico y de impacto en los sectores industriales identificados como de mayor oportunidad para la nanociencias y la nanotecnología.
 7. Fomentar la cultura de la propiedad intelectual.
 - Capacitación de miembros de la red en temas de propiedad intelectual.
 - Esquemas de colaboración en proyectos conjuntos para la generación de propiedad intelectual (patentes y derechos de autor).
 8. Propiciar la colaboración internacional de calidad para fortalecer la red.
 - Establecer alianzas estratégicas con expertos de instituciones internacionales líderes en nanociencias y nanotecnología.
 - Vinculación efectiva y transparente entre instituciones nacionales e internacionales.
 9. Programas efectivos de promoción y difusión de las actividades y logros de la red.
 - Promoción del programa de nanociencias y nanotecnología a nivel nacional e internacional, a través de talleres, seminarios, congresos, eventos, relacionados con el tema.
 - Desarrollo de herramientas efectivas de difusión y promoción de la red.
 10. Enfoque operativo.
 - Compromiso de participantes de la red en la elaboración de proyecto alineados a los temas o nodos que defina la red.
 - Integración de comités *ad hoc* para las diversas actividades de la red.
 - Indicadores de impacto cuantitativo y cualitativo de las iniciativas de la red.
 - Asignación de recursos a los beneficiarios a través de procesos de calidad, factibilidad y pertinencia.
 - Actividades de la red orientadas a crear valor.
 11. Implementación de acciones que permitan el financiamiento nacional e internacional.

- Identificar fuentes de financiamiento en la red de nanociencias y nanotecnología. Pueden provenir del sector privado, gubernamental (federal y estatal) o internacional.
12. Propuestas para mejoras de políticas científico tecnológicas que impulsen el desarrollo y uso de nanociencias y nanotecnología en México
- Crear visión nacional y regional para impulsar y promover iniciativas en el campo de las nanociencias y la nanotecnología.

ORGANIZACIÓN

a. Propuesta

Con base en la propuesta ya aprobada del Conacyt se presenta la siguiente organización para la red de nanociencias y nanotecnología, en la que se añade el área de inteligencia estratégica y casos de negocio para poder apoyar en forma más estrecha la colaboración de la red con los sectores empresariales y gubernamentales.

Para la operación y manejo de la red se propone una organización matricial con la siguiente estructura:

1. Un comité técnico académico (CTA). Órgano colegiado para la toma de decisiones de la red temática (1 por cada red). Conformado de acuerdo con lo establecido en las reglas de Conacyt.
2. Un consejo asesor. Instancia de evaluación y seguimiento del desempeño de las redes temáticas. Conformado de acuerdo con lo establecido en las reglas de Conacyt. El consejo asesor es una instancia superior por arriba del CTA y es común a todas las redes.
3. Un representante académico de la red designado por el comité técnico académico.
4. Un área de inteligencia estratégica y casos de negocio conformado de acuerdo a los lineamientos del representante académico y el comité técnico académico. Se propone a una empresa externa para coordinar las actividades con reconocido prestigio en el tema y con conocimientos en inteligencia estratégica y casos de negocio.
5. Despacho externo que llevará el control de ministraciones, pagos y comprobaciones de cada gasto de las redes.
6. Investigadores participantes de cada red temática de reconocido prestigio en el tema y que lleve a cabo proyectos que tengan compatibilidad temática.

Se recomiendan que se integren como punto de partida para los trabajos de la red nodos o competencias claves para la presentación y operación de los proyectos

Se recomienda que se haga una clasificación por aplicación y relevancia en el entorno nacional.

Cada tema o nodo contará con una matriz con la información de las instituciones que participan en esa línea de investigación y el nombre de los investigadores, personal técnico que participa y los laboratorios y equipos que se están utilizando.

b. Roles y responsabilidades

COMITÉ TÉCNICO ACADÉMICO

- a. Elige al representante del comité técnico académico de la red.
- b. Aprueba la integración de nuevos miembros de la red.
- c. Elabora y aprueba:
 - a) Programa general de trabajo de la red.
 - b) Presupuesto ejecutivo.
- d. Desarrolla el manual interno de la red (normas operativas).
- e. Determina acciones y proyectos a realizar por la red (a propuesta de los miembros de la red).
- f. Rinde los informes técnicos.
- g. Propone el calendario de ministraciones.
- h. Faculta al representante académico.
- i. Participa en la presentación de resultados de las diferentes instituciones y los líderes de proyecto en una reunión anual.
- j. Aprueba, supervisa, evalúa y asegura el cumplimiento de las funciones del representante académico de la red y el consejo asesor.
- k. Difunde las actividades y los logros de la red al público.

CONSEJO ASESOR

- a. Evalúa y aprueba el programa general de trabajo de la red y el presupuesto Ejecutivo de cada red a propuesta del comité técnico-académico.
- b. Evalúa el desempeño de la red para determinar su continuidad.
- c. Aprueba la creación de nuevas redes.
- d. Propone programas y presupuesto.
- e. Emite observaciones y recomendaciones de la operación de la red.
- f. Fortalece la vinculación a nivel internacional y fuentes de financiamiento para proyectos de la red.

REPRESENTANTE ACADÉMICO

- a. Representa los intereses de la red temática ante Conacyt y dentro del fideicomiso.
- b. Mantiene la comunicación entre la red y Conacyt.
- c. Suscribe el convenio de asignación de recursos.
- d. Instruye la dispersión de recursos a los investigadores de la red.
- e. Convoca a las sesiones del comité técnico académico.
- f. Entrega los informes técnico-financieros.
- g. Lleva el seguimiento de acuerdos del comité técnico académico.
- h. Presenta proyectos e integrantes de la red.
- i. Desarrolla el manual interno de la red.
- j. Revisa las políticas de propiedad intelectual generadas para la adecuada explotación del conocimiento generado con los proyectos de I+D.
- k. Propone los requerimientos para la generación de posgrados de calidad internacional y el reforzamiento de los ya existentes.

- l. Presenta los resultados y los logros alcanzados ante instituciones como el Conacyt y el público en general.
- m. Establece convenios con las instituciones nacionales e internacionales.
- n. Establece el calendario de reuniones con el consejo asesor.
- o. Coordina la presentación de los logros alcanzados una vez por año al comité técnico académico.
- p. Canaliza los proyectos detectados por el área de inteligencia estratégica y establece los acuerdos necesarios con el sector productivo para la realización de proyectos y su implementación.
- q. Establece una comunicación continua entre el sector productivo y la red.
- r. Genera los lineamientos para política de la protección intelectual.
- s. Propone la realización de estudio de mercado para detectar las oportunidades y necesidades en las empresas.

ÁREA DE INTELIGENCIA ESTRATÉGICA

- a. Determina los estudios de patentes, artículos y en general mantener un constante monitoreo de la información generada a nivel mundial sobre los avances en el área de nanociencias y nanotecnología.
- b. Detecta las oportunidades de mercado en conjunto con los investigadores.
- c. Revisa y dar seguimiento al plan estratégico a 5 años de la red de acuerdo con los temas de interés nacional y las nuevas oportunidades que se detecten en el mercado y las tendencias a nivel mundial.
- d. Prepara la información al representante académico para presentar la rendición de cuentas del proyecto.
- e. Prepara los logros y los impactos al Comité Técnico Académico para presentar la información al público y a las autoridades competentes.
- f. integra la información completa de cada proyecto que se realiza en la red su implicación y el tipo de propiedad intelectual que se puede generar.
- g. Construye una política de transferencia de tecnología para los proyectos y sus resultados, que permita la transferencia a empresas o aquellas interesadas en un proyecto específico.
- h. Integra los casos de negocio que se puedan generar con los proyectos de I+D incluyendo plan de negocio, requerimientos de inversión y fuentes de financiamiento.
- i. Presenta los proyectos en conjunto con cada investigador a posibles empresas interesadas en la tecnología que se desarrolló.
- j. Implementa la política de propiedad intelectual para la transferencia tecnológica y comercialización de los proyectos de I+D.
- k. Integra las soluciones requeridas para llevar hasta la aplicación comercial los casos de negocio exitosos.

DESPACHO EXTERNO

- a. Recaba documentos fiscales a nombre del FOINS.
- b. Determina la elegibilidad.
- c. Determina las diferencias.
- d. Revisa los montos del presupuesto autorizado para cada proyecto.

- e. Da seguimiento al gasto corriente y en inversión de la red.
- f. Hace la entrega del presupuesto a cada proyecto de investigación aprobado por el comité técnico académico.
- g. Lleva el control administrativo y financiero de la red.

INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN LA RED

- c. Mantienen estrecha vinculación con otros investigadores de la red.
- d. Mantienen la comunicación con el representante académico.
- e. Presentan la información de cada proyecto de I+D ante el comité técnico académico.
- f. Hacen un levantamiento general de los recursos tanto humanos como en infraestructura que aplica en su proyecto.
- g. Coordinan las actividades de los investigadores y personal a su cargo para la realización del proyecto.
- h. Presentan nuevos proyectos en forma conjunta con el área de inteligencia estratégica o en forma individual así como los avances de los proyectos ante el consejo asesor, representante académico y el comité técnico académico.
- i. Realizan reuniones de avance de proyectos con el personal que participa en el mismo.
- j. Presentan ante el representante académico la información que se requiera para la preparación de los reportes.
- k. Revisan en forma conjunta con el área de inteligencia estratégica los artículos o patentes generados, para evaluar el camino a seguir en su publicación.
- l. Presentan en la reuniones con el comité técnico académico y el Consejo asesor los avances y logros del proyecto de I+D a su cargo.
- m. Generan necesidades para la formación de recursos humanos necesarios para la consecución de los proyectos tanto de investigación básica, aplicada, o de equipo y proceso, como de los productos definidos a ser desarrollados por la red.
- n. Colaboran en la evaluación de los nuevos casos de negocio generados en cada producto que se desarrolló mediante I+D e Innovación.
- o. Programan el presupuesto asignado a su proyecto de desarrollo.
- p. Presentan la comprobación de los recursos al Despacho externo para su revisión.

c. Integración de participantes a la Red

COMITÉ TÉCNICO ACADÉMICO

Estará integrado inicialmente por un representante de cada una de las partes integrantes o promotores de la red, pudiendo llegar a tener un máximo de 10 miembros, los cuales deberán pertenecer a sectores académicos y el director de redes temáticas, un representante del sector técnico empresarial, un representante del sector gubernamental, un académico distinguido.

De entre ellos, habrá un representante académico, elegido unánimemente o por simple mayoría de votos, y quien asumirá la obligación de representar a la red por convocatoria, sin perjuicio de que los demás miembros lo hagan y tendrá voto de calidad para el caso de empate en las decisiones que se tomen, además de las facultades que deriven de este pacto.

El comité quedará integrado en un plazo no mayor de tres meses, a partir de la firma del convenio o acuerdos de formación de la red.

Los cargos desempeñados en el comité técnico académico serán de carácter honorífico y no recibirán retribución económica o en especie por la ejecución de dichos cargos.

REPRESENTANTE ACADÉMICO

El representante académico será quien funja como el encargado de presentar los proyectos en la red, entre otras responsabilidades mencionadas anteriormente, será electo por el comité técnico académico y será remplazado cada dos años de su función o en su caso el comité técnico puede solicitarle la extensión por un máximo de un año.

El representante académico sólo puede ser electo de entre los representantes de las instituciones promotoras para la creación de la red.

A su vez el representante académico podrá contar con el apoyo de personal que lo auxilie en su labor al interior de la red.

CONSEJO DE ASESORES

El consejo de asesores será conformado por tres representantes institucionales (IES), un representante del sector técnico empresarial, dos distinguidos académicos, un representante de las áreas sustantivas del CONACyT, dos representantes de la Junta de Gobierno del CONACyT, el director adjunto de Desarrollo Científico y Académico como Coordinador en forma adicional y por acuerdo de los miembros del consejo asesor se podrá invitar hasta un máximo de dos distinguidos académicos de instituciones internacionales para promover la vinculación y trabajo conjunto con organismos internacionales.

El cargo de los consejeros asesores de la red serán de carácter honorífico y por tanto no recibirán retribución económica o en especie por la ejecución de dichos cargos.

El periodo como consejero no será mayor de tres años y en cualquier momento se puede presentar la renuncia y analizar el ingreso de un nuevo consejero por parte del comité técnico académico en sus sesiones normales de operación.

INTELIGENCIA ESTRATÉGICA

La integración del área de inteligencia estratégica se puede estructurar de la siguiente forma:

1. Con el apoyo externo de una empresa con reconocido prestigio en el tema de vigilancia tecnológica, estudios de arte, vinculación al mercado, elaboración y experiencia en casos de negocio.
2. Contratación por honorarios de personal para la elaboración de los trabajos y coordinación de los mismos con empresas expertas en el tema y que a su vez puedan elaborar trabajos de inteligencia estratégica para la red.

El representante académico será quién proponga al comité técnico académico a la o las empresas para su aprobación y el reporte de los trabajos elaborados se presentarán al representante académico de la red y al comité técnico académico.

INVESTIGADORES

Los investigadores participantes de la red sólo podrán ser admitidos a través de la convocatoria que emita la dirección de redes y sean evaluados positivamente por el comité evaluador de la red.

El comité técnico académico dará su respuesta en la siguiente sesión de revisión de resultados y el Investigador firmará un convenio de adhesión a la red en la que se compromete a cumplir con el manual interno de operación.

ACCIONES DE INICIO EN 2009

Para el inicio de las acciones de trabajo de la red se llevaron a cabo las siguientes acciones:

1. Se construyó una página electrónica (nanored.org.mx) que sirve como un vínculo de comunicación con diferentes sectores como el científico, educativo, el gubernamental, el empresarial y el social a través de una página electrónica interactiva diseñada por expertos. Se da mantenimiento constante a la red para que contenga información científica y tecnológica de actualidad relativa a los avances del país y especialmente de material que refleje el impacto de la nanociencia y la nanotecnología.
2. Se organizó un taller temático el 27 y 28 de marzo de 2009 en la ciudad de Puebla, intitulado “Taller de la Red de nanociencias y nanotecnología” con 50 expertos nacionales y 5 internacionales. Se presentaron los principales grupos de investigación y se analizaron las posibles interacciones entre los diferentes grupos para establecer prioridades nacionales explotando las fortalezas de los participantes y disminuyendo las debilidades.
3. Con la finalidad de incorporar al sector empresarial a la red, se organizó una reunión con empresarios en la ciudad de Monterrey, el 9 de septiembre de 2009, para definir la estrategia que permita que la red se involucre con este sector. La nanotecnología requiere de la vinculación con las empresas nacionales.
4. Se contrató a una compañía experta que realizó una prepropuesta de organización y administración de la red para poder tener desde el inicio un instrumento que permita el funcionamiento eficiente de la red.
5. Se realizó un video informativo dirigido al público en general que busca extender el conocimiento sobre Nanociencia y Nanotecnología en México y sus alcances. Con este video se busca reforzar desde un inicio el vínculo informativo con la sociedad, además de de la página electrónica.
6. Se organizaron reuniones del comité técnico académico de la red para dar seguimiento a las acciones de arranque.

ACTIVIDADES DE LA RED DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA EN 2010

Reuniones del comité técnico académico de la red

En el transcurso del 2010 se han realizado 9 reuniones, de las cuales 7 han sido por medio de videoconferencias y 2 de manera presencial. En dichas reuniones se resuelven los casos administrativos, presupuestales y de logística que conlleva el manejo de

esta red, se promueve la labor conjunta de los miembros del comité para el fortalecimiento y reconocimiento de esta nueva área de investigación y se establecen los medios por los cuales se otorgarán los recursos destinados para la investigación.

Página de la red de nanociencias y nanotecnología

La red cuenta con una página electrónica, en la cual se puede encontrar información acerca de:

- Miembros del comité técnico académico
- Líneas de investigación en la que trabajan los miembros de la red
- Eventos relacionados con las nanociencias
- Avisos importantes para la comunidad científica

Esta página fue creada desde el 2009.

Miembros de la red de nanociencias y nanotecnología

Universidad Nacional Autónoma de México	51
Centro de Investigación en Materiales Avanzados	16
Centro de Investigaciones en Óptica	10
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	6
Universidad Autónoma de Nuevo León	6
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo	4
Dirección General de Educación Superior Tecnológica - Cancún	3
Universidad Autónoma de Chihuahua	3
Universidad de Guadalajara	3
Universidad de Sonora	3
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	2
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica	2
IPN / Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Querétaro	2
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	2
Universidad Autónoma Metropolitana	2
Universidad Veracruzana / Dirección General de Investigaciones	2
Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco	1
Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica	1
CIATEC AC	1
Universidad Autónoma de Baja California (Tijuana)	1
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	1
Universidad Autónoma de México	1
Universidad Autónoma del Estado de México	1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos	1
Total	125

Líneas temáticas en las que trabajan los miembros de la red

Con base en los proyectos presentados por los investigadores en el momento de su solicitud de ingreso a la red se determinaron diez áreas principales:

Nanoestructuras y sistemas nanoestructurados
Síntesis y aplicación de nanomateriales
Cálculo teórico y modelos computacionales
Nanocatálisis y aplicaciones ambientales
Películas delgadas
Nanomedicina y nanobiotecnología
Nanopartículas y nanocompuestos poliméricos
Nanofotónica y nanoelectrónica
Aspectos sociales, éticos y de sustentabilidad
Sensores de gases

Convocatorias para el otorgamiento de recursos económicos

En el transcurso de 2010 se han lanzado 2 convocatorias para otorgamiento de recursos económicos, la primera de ellas fue lanzada en el mes de mayo y la segunda en el mes de julio. Se planea lanzar una tercera próximamente.

Los rubros de apoyo son:

- Apoyos para pasajes y viáticos (100)
- Apoyos para estancias académicas (50)
- Apoyos para becas de licenciatura (15)
- Apoyos para becas de maestría, hasta seis meses (15)
- Apoyos para becas de doctorado, hasta seis meses (15)
- Apoyos para organización eventos Académicos (15)
- Apoyos para adquisición de equipo de Laboratorio (6)
- Apoyos para Registros de propiedad intelectual (4)

De los cuales se otorgaron en la primera convocatoria:

- 40 apoyos para pasajes y viáticos
- 20 apoyos para estancias académicas
- 10 apoyos para becas de licenciatura
- 5 apoyos para becas de maestría
- 4 apoyos para becas de doctorado
- 10 apoyos para eventos académicos
- 1 apoyo para adquisición de equipo de laboratorio
- 0 apoyo para el registro de la propiedad intelectual

En la segunda convocatoria se otorgaron:

- 33 apoyos para pasajes y viáticos
- 11 apoyos para estancias académicas
- 15 apoyos para beca de licenciatura
- 14 apoyos para beca de maestría
- 4 apoyos para beca de doctorado
- 0 apoyo para eventos académicos
- 1 apoyo para registro de la propiedad intelectual

* El número de becas otorgadas aumentó, pues no en todos los casos se solicitaron los 6 meses y al ser menor el tiempo solicitado, se abrió la posibilidad de otorgar más becas.

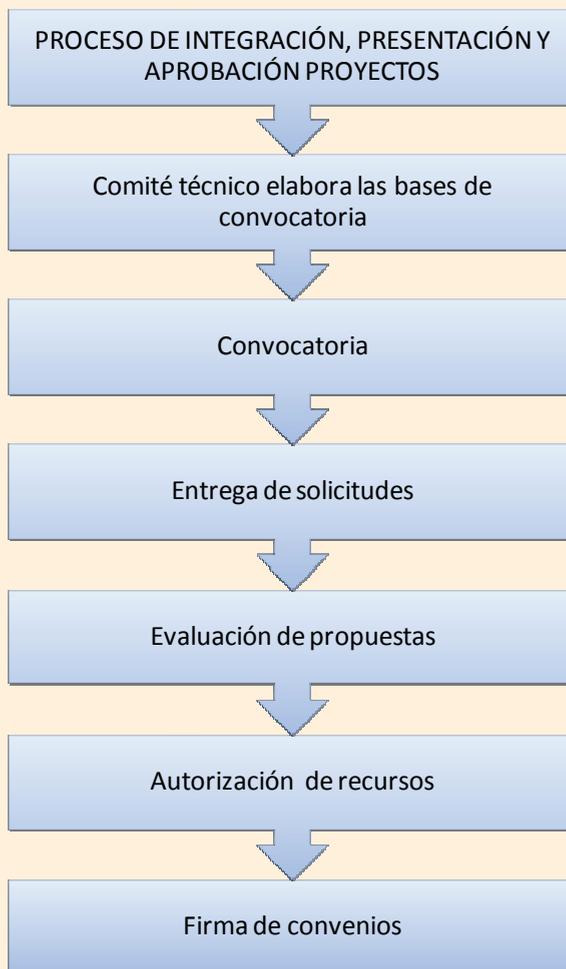
Está en proceso de decidirse el apoyo para la compra de equipo.

4. Procesos sustantivos

Los procesos sustantivos son los relacionados directamente con la razón de ser de la organización y son importantes tanto para la estrategia global como para los clientes y los logros de la red.

a. Integración, presentación y aprobación de proyectos

DIAGRAMA DE PROCESO



DESCRIPCIÓN

I. Convocatorias de propuestas

Durante el año el comité técnico realizará una convocatoria para la presentación de propuestas a la red temática, con el fin de ser evaluadas por el comité técnico académico y revisadas en conjunto con la planeación estratégica alineada a los temas definidos como prioritarios por la red, con la finalidad de poder ser autorizados de acuerdo con los criterios definidos por el Conacyt.

II. Las propuestas de proyectos

El paquete de información relevante de la convocatoria para las propuestas describe el contenido de una propuesta.

A fin de ayudar a simplificar la propuesta, la información proporcionada debe ser sólo de suficiente «nivel de gestión» detallada como para permitir la evaluación objetiva del merito científico técnico de la propuesta y de los recursos que se emplearán. Más detalles pueden ser solicitados según sea necesario durante la evaluación y las fases de negociación.

Además, a los solicitantes se les pedirá que sólo proporcionen una descripción resumida de las actividades para la duración completa del proyecto.

En el momento de presentar su propuesta, los participantes deben tener al menos colectivamente el potencial de recursos (humanos y materiales) necesarios para llevar a cabo el proyecto.

ETAPA DOS PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

La red temática también podrá optar por organizar sus convocatorias de propuestas en dos etapas donde, en la primera, es presentado un esbozo de propuesta de los aspectos esenciales del proyecto y es evaluado con la ayuda de expertos externos; una propuesta completa se presenta en una segunda etapa de los preaprobados después de la evaluación inicial. Cuando se va a seguir un enfoque en dos fases, éste será especificado en la convocatoria.

III. Presentación de proyectos

La solicitud de recursos seguirá el orden siguiente:

El Investigador presentará su solicitud de recursos dentro de las fechas señaladas en el sistema establecido para ese propósito, en la página electrónica de la RNYN. Las solicitudes serán evaluadas por el CTA, con base en la calidad, viabilidad y pertinencia de los proyectos presentados. Los proyectos deberán estar alineados a la visión y estrategia general de la red. La autorización de recursos la hará el comité técnico académico (comité de I+D y evaluación de proyectos) y la entrega de los mismos será responsabilidad del representante académico apoyado en el despacho externo.

El apoyo será de la siguiente forma:

Transferencias financieras por cada ministración solicitada de acuerdo con la política definida por Conacyt.

IV. Evaluación de propuestas

Los principios fundamentales que rigen la evaluación de las propuestas son los siguientes:

- Calidad: los proyectos para ser financiados deben demostrar un alto nivel científico, técnico y de gestión de calidad en el contexto de los objetivos del programa específico en cuestión.
- Enfoque: orientación a la planeación estratégica con enfoque a los sectores de mercado definidos y a la definición de proyectos I+D e I+D+i.
- Transparencia: con el fin de proporcionar un marco claro para los investigadores, la preparación de propuestas de financiación y para la evaluación de las propuestas evaluadoras, el proceso de llegar a las decisiones de financiación debe estar claramente descrito y estar a disposición de cualquiera de las partes interesadas. Además, la debida información debe ser proporcionada a los proponentes sobre los resultados de la evaluación de sus propuestas.
- Igualdad de trato: todas las propuestas deberán ser tratadas por igual, independientemente de su lugar de origen o la identidad de los proponentes.
- Imparcialidad: todas las propuestas deberán ser tratadas con imparcialidad en sus méritos.
- Eficacia y rapidez: los procedimientos deberán ser diseñados para ser lo más expeditos, manteniendo la calidad de la evaluación, para ser rentables y respetar el marco jurídico dentro del programa específico.
- Consideraciones éticas: cualquier propuesta que contravenga los principios éticos fundamentales podrá ser excluida de ser evaluada o seleccionada en cualquier momento.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Las iniciativas y proyectos de investigación y desarrollo se integrarán de acuerdo con dos lineamientos.

1. Proyectos de I+D que tengan un avance significativo para lograr su aplicación en temas prioritarios definidos por la red.
2. Proyectos generados de I+D a partir de las oportunidades detectadas en el ámbito nacional y que sean tema prioritario para la Red.

Las propuestas se deberán integrar con las siguientes etapas:

1. Conceptualización.
2. Diseño.
3. Implementación.

En cada etapa se deberán especificar los recursos humanos y de infraestructuras requeridos, el monto de gasto y el tiempo de consecución así como los resultados esperados por etapa, tanto humanos como técnicos y los factores clave para su seguimiento y evaluación.

El siguiente conjunto básico de criterios está destinado a ser común a todos los temas prioritarios para la evaluación de las propuestas de proyectos integrados. Estas cuestiones serán detalladas y complementadas, en caso necesario, en las convocatorias de propuestas.

- Relevancia de los objetivos en la medida en que:
 - El proyecto propuesto se dirija a los objetivos del programa de trabajo en las áreas abiertas para la convocatoria.
- Posibles consecuencias en la medida en que:
 - El proyecto es ambicioso adecuadamente en términos de su posición estratégica en el fortalecimiento de la competitividad o en la solución de los problemas nacionales;
 - Las actividades relacionadas con la innovación y la explotación o difusión de los planes son suficientes para garantizar un uso óptimo de los resultados del proyecto.
 - Excelencia en la medida en que:
 - El proyecto tiene objetivos claramente definidos.
 - Los objetivos representan un claro avance más allá del estado actual del arte
 - La propuesta permite que el proyecto alcance sus objetivos en la investigación y la innovación.
- Calidad de la red temática en la medida en que:
 - Los participantes constituyen colectivamente una red de alta calidad.
 - Los participantes se adaptan bien y se comprometen con las tareas asignadas.
 - Existe una buena complementariedad entre los participantes.
 - Los perfiles de los participantes, incluidos los que se añadirán más adelante, han sido claramente descritos.
- Calidad de la gestión en la medida en que:
 - La estructura de la organización está bien adaptada a la complejidad del proyecto y el grado de integración necesario.
 - La gestión del proyecto es demostrablemente de alta calidad.
 - Existe un plan satisfactorio para la gestión del conocimiento, de la propiedad intelectual y de otras actividades relacionadas con la innovación.
- Movilización de los recursos en la medida en que:
 - El proyecto moviliza la masa crítica de recursos (personal, equipo, finanzas, entre muchos otros) necesarios para el éxito;
 - Los recursos son integrados de manera adecuada para formar un proyecto coherente
 - El plan de financiación para el proyecto es adecuado.

Además de los criterios mencionados, así como las interpretaciones de los criterios especificados en la correspondiente convocatoria de propuestas, las siguientes preguntas también se abordarán en cualquier momento adecuado en la evaluación:

- ¿Hay ética o cuestiones de seguridad relacionadas con el tema de la propuesta? En caso afirmativo, ¿se han tenido debidamente en cuenta en la preparación de la propuesta? ¿La investigación es compatible con los principios éticos fundamentales, en su caso? Antes de que sean seleccionadas para financiación, todas las propuestas que se ocupan de cuestiones éticas sensibles y cualquier propuesta de preocupaciones éticas que se hayan identificado durante la evaluación científica podrán ser revisadas por un panel de revisión ética.
- ¿Hasta qué punto la propuesta demuestra una disposición a entablar con los actores más allá de la comunidad investigadora un público en su conjunto, para ayudar a difundir la conciencia y el conocimiento y, asimismo, explorar las repercusiones sociales más amplias del trabajo propuesto?
- Disponer de sinergias con todos los niveles de educación (en su caso) ¿están claramente establecidos?

V. AUTORIZACIÓN DE RECURSOS

Los proyectos aprobados serán presentados al área definida por el Conacyt por parte del representante académico para su captura y procedimientos necesarios con el fin de entregar los recursos a los investigadores de acuerdo con el proceso aprobado y las normas de operación del despacho externo que controla la revisión y entrega de los recursos.

Los participantes se comprometen a cumplir con las auditorías, revisiones y todos los requisitos solicitados por el Conacyt y el o los despachos externos asignados para el control de los recursos.

Microscopía de barrido de efecto túnel: ojos y dedos para nano

MARÍA BASSIOUK* Y VLADIMIR A. BASIUK**

DESCUBRIMIENTO Y PRINCIPIOS

Mientras que la microscopía en general juega un papel crucial en el desarrollo científico al revelar detalles, inalcanzables para el ojo humano, acerca de la estructura y función de diversos componentes de nuestro entorno, la microscopía de barrido de efecto túnel (STM por sus siglas en inglés) es indudablemente una de sus variantes más fascinantes. La técnica de STM es capaz de producir imágenes con resolución atómica de las superficies analizadas, permitiendo obtener información detallada acerca de su estructura química. Además, puesto que las imágenes se obtienen en tiempo real, es posible estudiar procesos moleculares que se llevan a cabo *in situ* en la superficie de la muestra, registrando las diferentes etapas del proceso. Por otro lado, la técnica de STM puede permitir la manipulación de moléculas y átomos individuales con precisión nanométrica gracias a las interacciones entre la punta y la muestra. Todas estas posibilidades hacen de la STM una herramienta de gran utilidad e importancia para la nanociencia y la nanotecnología, sirviendo como los “ojos” que observan las estructuras de interés, y los “dedos” que las manipulan. El STM fue desarrollado por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer en 1981 en el laboratorio de IBM Zürich en Rüschlikon, Suiza [1]. Por esta invención, ambos investigadores se hicieron acreedores al Premio Nobel en Física en 1986.

Antes de revisar algunos ejemplos de las sorprendentes aplicaciones del STM, veamos brevemente los principios fundamentales de la técnica (fig. 1a). En el STM una punta metálica muy aguda se aproxima a una muestra eléctricamente conductora a una distancia tan cercana como 1 nm y se aplica un pequeño voltaje de aproximadamente 0.1 V entre ambas. Esta proximidad y diferencia de potencial hacen que los electrones fluyan de la punta a la muestra (o viceversa, dependiendo de la polaridad del voltaje), logrando atravesar la barrera que representa el espacio entre ambas, y produciéndose el fenómeno de mecánica cuántica conocido como *corriente de túnel*. La corriente de túnel depende exponencialmente de la distancia entre la punta y la muestra; de esta forma, para una corriente de túnel de alrededor de 1 nA un cambio de 0.1 nm en esta distancia cambiaría la corriente por un factor de 10. Esta de-

* Estudiante de doctorado en ciencias bioquímicas de la UNAM. Autora/coautora de 5 artículos en revistas internacionales.

** Investigador Titular y jefe del Departamento de Química de Radiaciones y Radioquímica del Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. Editor en jefe de la revista *Journal of Advanced Microscopy Research* (American Scientific Publishers) y editor asociado de la *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* (misma casa editorial). Autor/coautor de más de 160 artículos en revistas internacionales; editor de cuatro libros, incluyendo *Chemistry of carbon nanotubes* en tres tomos. E-mail: basiuk@nucleares.unam.mx. Los autores agradecen el apoyo para su investigación a través del proyecto UNAM DGAPA-IN100610. M. B. agradece el apoyo del Posgrado de Ciencias Bioquímicas de la UNAM, así como la beca para estudios de doctorado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

pendencia le confiere al STM sensibilidad en escala atómica [2]. Para este propósito, una buena resolución en el STM se considera de 0.1 nm lateral y 0.01 nm de profundidad. Una vez que comienza el flujo de la corriente de túnel, la punta barre la superficie de la muestra con la ayuda de un escáner fabricado de cerámica piezoeléctrica que se comprime y expande con precisión nanométrica, con base en el voltaje aplicado. Esta cerámica puede controlar los movimientos ya sea de la punta o de la muestra, dependiendo de la estructura de cada equipo de STM en particular. El movimiento se realiza en direcciones X, Y y Z, controlado por diferentes señales de voltaje. X y Y son movimientos sobre la superficie de la muestra, y Z es el movimiento de la distancia punta-muestra. Una red de retroalimentación coordina la corriente de túnel y la posición de la punta, de forma que la punta sigue la superficie de la muestra, mientras se registran las variaciones en Z necesarias para mantener la corriente de túnel constante como función de la posición en el plano X-Y. Estas variaciones en Z dependen de la densidad de estados en la superficie de la muestra, y de su relieve. Como resultado, se obtiene un conjunto de perfiles, ensamblados en una imagen que representa la estructura electrónica de la superficie, traducida en su topografía. La topografía se representa mediante una escala de color, cuya intensidad indica la altura del relieve [3]. Esta modalidad del STM se denomina *corriente constante*, es la más común y se utiliza para muestras con relieve marcado. Otra posible modalidad del STM es la de *altura constante*, en que se registran los cambios en la corriente de túnel necesarios para mantener constante la distancia punta-muestra; sin embargo, se utiliza con poca frecuencia ya que requiere de la muestra ser atómicamente plana.

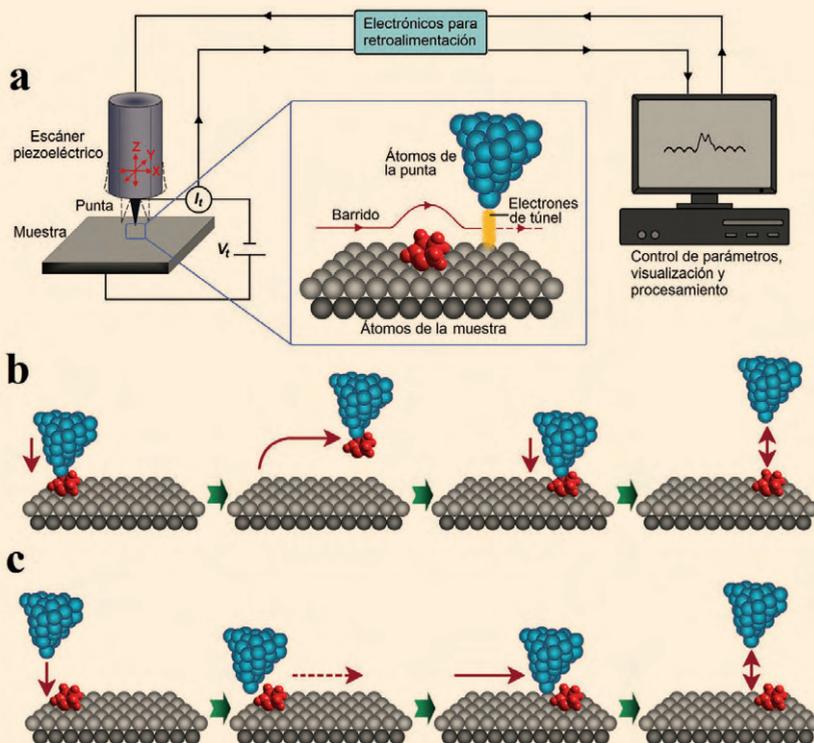
Además de la precisión nanométrica, el STM presenta varias otras ventajas. Por ejemplo, existe la posibilidad de operación en distintos ambientes como aire, vacío, diversos gases y solución, así como temperaturas bajas o altas; todo esto permite adaptar las condiciones de análisis de acuerdo con la naturaleza del material de interés, y demás criterios importantes en cada estudio particular. Una gran ventaja adicional es que el STM no es destructivo para moléculas orgánicas, permitiendo conservar sus valiosas propiedades intrínsecas durante el análisis.

Los componentes esenciales de un equipo de STM incluyen una punta muy aguda, un portapuntas, un sustrato conductor, un portamuestras, un escáner controlado por un piezoeléctrico, un sistema de aislamiento antivibratorio, una computadora con el software necesario para controlar distintos parámetros del barrido y registrar, integrar y traducir la información obtenida, así como un conjunto de electrónicos para la comunicación entre el software y el mecanismo que realiza el barrido. La punta puede ser de materiales como tungsteno (W) o platino/iridio (Pt/Ir), entre otros, y, para lograr la mejor resolución posible, debe terminar en un solo átomo. Las puntas de Pt/Ir se usan principalmente para la operación en aire por su resistencia a la oxidación. Elafilamiento de la punta se puede realizar por métodos físicos ó químicos, dependiendo del material y de la resolución buscada. El material a analizar se debe depositar sobre un sustrato conductor, limpio y de superficie plana, que puede ser por ejemplo el oro Au(111) o grafito pirolítico altamente ordenado (HOPG por sus siglas en inglés), este último siendo el más frecuentemente utilizado gracias a la facilidad de limpiar su superficie. Como se había mencionado, en principio, el STM puede operar en distintas condiciones; sin embargo, estas posibilidades dependen de la estructura del equipo del que se dispone.

La aplicación más frecuente del STM es la caracterización a nanoescala de las propiedades estructurales, químicas y electrónicas de diversos átomos y moléculas. No

obstante, la técnica recientemente se ha comenzado a utilizar para la manipulación en escala nanométrica o *nanomanipulación* de átomos y moléculas pequeñas sobre superficies sólidas. La nanomanipulación aprovecha la interacción entre la punta y la muestra para realizar el rearrreglo inducido y controlado de los materiales depositados sobre el sustrato. La estrecha dependencia entre la distancia punta-muestra y la intensidad de la corriente de túnel permite ya sea incrementar o disminuir la interacción entre la punta y la muestra, posibilitando realizar la manipulación y después observar el resultado. La nanomanipulación por STM puede ser vertical o lateral. En la nanomanipulación vertical (fig. 1b) se utilizan cambios controlados en el voltaje

FIGURA 1. Mecanismo general del STM en modo de corriente constante (a); y nanomanipulación (b) vertical y (c) lateral por medio de la punta del STM. (a) En el STM una punta metálica muy aguda se acerca a una muestra eléctricamente conductora a una distancia de aprox. 1 nm aplicando un pequeño voltaje entre ambas, para que se produzca el flujo de la corriente de túnel. La punta barre la superficie de la muestra por medio de un escáner piezoeléctrico en direcciones X, Y y Z. Un conjunto de electrónicos de retroalimentación coordinan la corriente de túnel y la posición de la punta, para que ésta siga la superficie de la muestra, mientras se registran las variaciones en Z necesarias para mantener la corriente de túnel constante. Se obtiene un conjunto de perfiles ensamblados en una imagen que representa la estructura electrónica de la superficie, traducida en su topografía. La nanomanipulación aprovecha la interacción entre la punta y la muestra para recomodar átomos o moléculas depositadas sobre un sustrato, y puede ser vertical (b) o lateral (c). En la vertical (b), la punta se acerca a la molécula de interés y se utilizan cambios controlados en el voltaje para primero transferir a la molécula de la muestra a la punta, llevarla a su nueva ubicación, y transferirla nuevamente al sustrato. En una variante de nanomanipulación lateral (c), se aprovecha el efecto de atracción entre la punta y la molécula de interés para empujarla lentamente siguiendo la trayectoria de la punta hacia su nueva ubicación sobre el sustrato.



para transferir el átomo/molécula manipulada de la muestra a la punta o viceversa. De esta forma, es posible primero acercar la punta al material de interés, levantarlo, transferirlo hacia otro sitio, y volver a colocarlo sobre el sustrato. En la nanomanipulación lateral se utiliza la interacción punta-muestra para desplazar al átomo o molécula adsorbida en la superficie de la muestra, aprovechando los efectos de repulsión y de atracción entre ambos. El efecto de repulsión se puede emplear para producir un “salto” del átomo/molécula a un sitio vecino para alejarse de la punta. El efecto de atracción se puede emplear también para producir un “salto” del átomo/molécula pero en este caso desde un sitio vecino hacia la punta, o también para arrastrar o empujar lentamente al átomo/molécula siguiendo la trayectoria de la punta (ejemplo ilustrado en la figura 1c). La elección del tipo de nanomanipulación entre la vertical o algún modo de la lateral depende de la naturaleza química del átomo/molécula de interés, sustrato, punta, así como de la distancia buscada para el desplazamiento ([4] y referencias de ahí).

EQUIPOS COMERCIALES

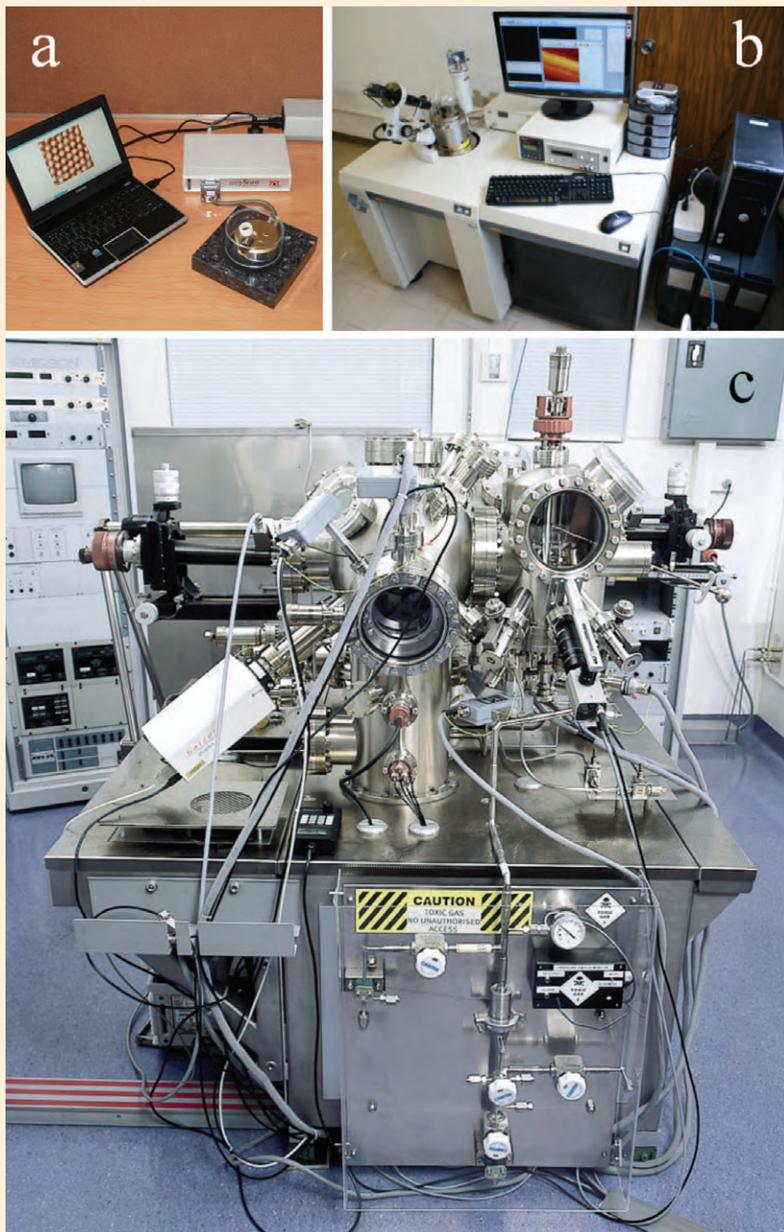
Actualmente, se fabrican diversos equipos de STM comerciales de distintos alcances, niveles de sofisticación y costos. También existe la posibilidad de fabricación de equipos “caseros” improvisados que pueden resultar más económicos; aun así, es indispensable contar con todos los componentes esenciales tanto como con un nivel de conocimiento que permita ensamblar adecuadamente dichos componentes para producir un equipo de STM funcional. Una posibilidad adicional es añadir componentes caseros a un equipo comercial, dependiendo de las necesidades.

Dentro de los equipos comerciales, se pueden encontrar desde dispositivos sencillos, compactos, económicos, fáciles en su manejo y portátiles, hasta aparatos muy sofisticados, costosos y de alto alcance, cuyo manejo requiere de un conocimiento profundo, destreza, y condiciones de trabajo muy específicas para explotar todas las posibilidades que ofrecen.

Veamos un ejemplo de un equipo comercial sencillo, el Nanosurf easyScan E-STM (fig. 2a). Este equipo es portátil, compacto, económico y de fácil manejo. Consta de una cabeza que contiene a la punta fijada en una plataforma conectada a tres piezo-cristales X, Y y Z, el portamuestras en que se coloca el sustrato con el material a analizar, y una cubierta transparente que protege a los componentes anteriores. La cabeza se encuentra montada sobre una base antivibratoria, y conectada a una caja que contiene a todos los electrónicos que, a su vez, se conecta por medio de una serie de cables a una computadora en que se ha instalado el software provisto junto con el equipo [5]. A pesar de que este ensamble de componentes esenciales del STM es quizá el más minimalista posible, la modestia de este equipo no le impide producir imágenes con resolución atómica de diversos materiales. Las principales limitaciones de este equipo incluyen que únicamente puede operar en condiciones ambientales (en cuanto a temperatura y presión), restringiendo la variedad de materiales que se pueden analizar; su reducida área de barrido, así como la falta de automatización en algunas funciones, como, por ejemplo, el cambio del área de barrido (que se debe realizar manualmente). Este equipo es ideal para fines educativos y para aquéllos que están comenzando a familiarizarse con la técnica de STM.

En cuanto a equipos comerciales más complejos, un ejemplo es el JEOL JSPM-5200 (fig. 2b). Este equipo es estacionario, demanda un espacio de trabajo bastante amplio,

FIGURA 2. Ejemplos de equipos comerciales de STM. (a) Nanosurf easyScan E-STM (sencillo, portátil, fácil en su manejo, económico – un costo aproximado de US\$ 10,000); (b) JEOL JSPM-5200 (sofisticado, estacionario, requiere de conocimiento más profundo de la técnica, medianamente costoso – un costo aproximado de US\$ 200,000); y (c) Omicron VT UHV SPM (muy sofisticado, estacionario, requiere de conocimiento muy profundo de la técnica de STM, muy costoso – un costo aproximado de US\$ 800,000). La imagen (c) es cortesía de la Dra. Michelle Simmons (Atomic Fabrication Facility, Centre of Excellence for Quantum Computer Technology, University of New South Wales, Sydney, Australia).



tiene un costo mediano, y su manejo requiere de condiciones de operación más específicas así como un conocimiento más profundo de la técnica de STM. JEOL JSPM-5200, además de STM, también opera con otras variantes de microscopía de barrido como la de fuerza atómica (AFM) y espectroscopía de barrido de efecto túnel (STS), entre otras, por lo que algunos componentes como, por ejemplo, el amplificador de AFM y el láser son parte del equipo pero no se usan para STM. Los componentes principales del equipo incluyen una cabeza, una base, una mesa antivibratoria, una bomba de vacío, un controlador, una computadora con el software correspondiente, un compresor de aire para aislamiento antivibratorio, una cámara de video CCD, además de una serie de conectores y puertos. La cabeza contiene al portapuntas con la punta, conectores a la base, además de algunos componentes necesarios para el modo AFM. La base contiene al escáner en que se monta el portamuestras con el sustrato y material a analizar (por lo que, a diferencia del easyScan E-STM, en este caso se mueve la muestra con respecto a la punta, y no viceversa), tornillos para aproximación manual y cambios de posición, diversos conectores, puertos para gases, etc. La cabeza y parte de la base se cubren por una tapa de vidrio que sirve para proteger los componentes expuestos y posibilita la creación de un sistema cerrado y controlado para la operación en diversas condiciones de presión, gas y temperatura. El equipo trabaja en condiciones de presión desde 1 atm hasta alto vacío, mientras que la temperatura de operación abarca entre los 130 y 773 K [6]. El escáner es cilíndrico, y se puede encontrar en diversas longitudes, dependiendo del área de barrido que se quiere abarcar y resolución que se pretende alcanzar. Este equipo de STM brinda una gran precisión analítica por su estructura y aislamiento antivibratorio, y gracias a su versatilidad en las condiciones de operación permite analizar muestras de naturaleza muy variada. Por otro lado, el software permite modificar diversos parámetros del barrido, por lo que éstos se pueden adaptar conforme a las propiedades de la muestra, condiciones, y los objetivos del análisis. Una desventaja del JEOL JSPM-5200 es que, al operar en condiciones de alto vacío o baja temperatura, la tapa de vidrio que protege la cabeza no puede ser separada de la base, imposibilitando el intercambio de la muestra o la punta. Asimismo, la colocación manual de la muestra en el portamuestras puede ocasionar daño mecánico al escáner. Por otro lado, no hay forma de marcar la superficie de la muestra con el fin de volver a analizar determinado sitio de interés.

El equipo de STM más sofisticado fabricado hasta la fecha es posiblemente el Omicron VT UHV SPM (fabricado por Omicron NanoTechnology; VT, temperatura variable, y UHV, ultra-alto vacío, por sus siglas en inglés) (fig. 2c). Es un equipo de alto rendimiento, precisión y versatilidad. Al mismo tiempo, es costoso y requiere de condiciones de instalación muy estrictas así como un conocimiento sumamente profundo de la técnica de STM. Desde 1996 a la fecha, se han instalado más de 400 unidades en diversos laboratorios del mundo. El Omicron VT UHV SPM opera a temperaturas en un rango de 25 a 1500 K, lo cual permite no solamente analizar materiales con distintas propiedades, sino también estudiar y controlar diversos procesos moleculares que ocurren sobre la superficie de la muestra. La presión con que se puede trabajar abarca de 1 atm hasta condiciones de UHV. Con este equipo es posible el crecimiento de algunos materiales simultáneamente con la obtención de imágenes del proceso, lo cual es extremadamente útil en la nanociencia y nanotecnología. El equipo también opera en modo de AFM y espectroscopía de STS, e igual que en el caso del JEOL JSPM-5200 puede incluir una cámara CCD para el control de la posición de la punta con respecto a la muestra. El escáner en este caso también es cilíndrico. El equipo tiene un

excelente aislamiento antivibratorio, lo que permite la obtención exitosa de imágenes con resolución atómica de diferentes materiales. En el Omicron VT UHV SPM existe la posibilidad de marcar la muestra para ubicar las nanoestructuras de interés en la superficie; esto último es una ventaja significativa con respecto a otros equipos de STM ya que resulta muy conveniente poder analizar un sitio repetidamente, especialmente al estudiar un proceso molecular. Otra ventaja importante es el manejo automatizado de las muestras ya que el equipo tiene un dispositivo de transferencia (manipulador) desde la cámara en que se prepara la muestra hacia la cámara de UHV, en principio inaccesible desde el exterior durante la operación. Asimismo, es posible el intercambio de punta automatizado para condiciones de UHV. Una ventaja adicional es que el manejo del escáner se hace de forma automatizada mediante control remoto, lo cual reduce el riesgo de daño mecánico [7]. El Omicron VT UHV SPM es más apropiado para expertos en STM, así como para fines muy específicos de nanociencia y nanotecnología. El Omicron LT UHV SPM (LT, temperaturas bajas, por sus siglas en inglés) es un equipo muy parecido al Omicron VT UHV SPM, pero en este caso la temperatura de operación puede ser aún menor que 5 K. Esto, junto con su excelente aislamiento antivibratorio, es de gran utilidad para reducir la movilidad de los átomos y moléculas sobre el sustrato en que fueron depositadas, permitiendo obtener imágenes de excelente calidad, aún tratándose de átomos y moléculas individuales [8].

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

El STM comúnmente se utiliza en conjunto con algunas herramientas computacionales que, por ejemplo, pueden servir para el procesamiento de las imágenes obtenidas, o para simular teóricamente el sistema analizado. Tales herramientas son disponibles a través de diversos programas que se pueden descargar de Internet sin costo, o se pueden adquirir comercialmente en un amplio rango de precios.

Tras una sesión de STM, se obtienen imágenes “en crudo” que frecuentemente deben pasar por un proceso de manipulación para mejorar su calidad así como para analizarlas y obtener información más profunda de lo registrado en la imagen. Existen diversos programas computacionales que sirven para ambos propósitos. Con el fin de mejorar la calidad de las imágenes, los programas permiten mejorar el contraste, aumentar o disminuir el brillo, remover líneas de ruido, cambiar el modelo de iluminación, aplanar la imagen, etc. Para el análisis de las imágenes, tales programas permiten medir el tamaño de las estructuras de interés capturadas, construir perfiles topográficos, recortar la imagen para únicamente mostrar el área de interés, hacer un “zoom” hacia alguna estructura en particular, rotar la imagen, modificar la paleta de colores con fines ilustrativos, mostrar la imagen en 3D, etc. Este conjunto de posibilidades es de suma importancia para obtener la mayor cantidad de información admisible a partir de una imagen de STM. Frecuentemente, los equipos de STM comerciales incluyen algún programa propio para el procesamiento de las imágenes; asimismo, existen programas gratuitos como, por ejemplo, el WSxM [9] que se pueden descargar de Internet.

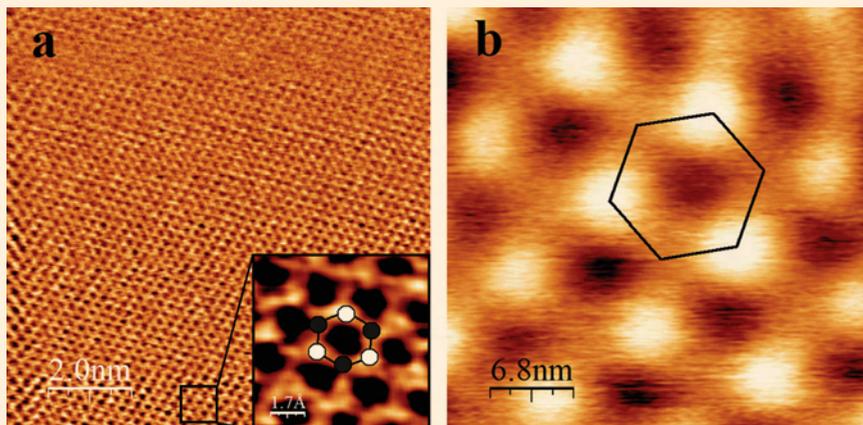
Por otro lado, para obtener un panorama más amplio de los fenómenos registrados en las imágenes de STM, es común recurrir a su comparación con simulaciones por *modelado molecular*. Para este fin, se han diseñado diversos programas computacionales de diferentes niveles de dificultad, costos computacionales y sistemas que son capaces de analizar. Dentro de cada programa, existen diversas opciones que per-

miten configurarlo con base en las propiedades químicas y dimensiones de las moléculas de interés, así como el propósito del análisis. Algunos programas inclusive pueden simular las condiciones de la muestra, incluyendo la temperatura, solvente, sustrato, etc. El objetivo general de las simulaciones es construir un modelo lo más similar posible al experimental, para predecir el comportamiento más energéticamente favorable de las moléculas involucradas, abarcando su estructura tridimensional, posición con respecto a otros componentes del sistema, interacción con los mismos y con el medio, las posibles geometrías de ensamble entre varias moléculas, etc. La gran ventaja de esto es poder predecir o comprobar lo que está ocurriendo en la realidad, e interpretar con mayor fundamento teórico las imágenes de STM. Las simulaciones, además, pueden servir a modo de un diagrama explicativo de los fenómenos capturados en las imágenes, como se verá a continuación. Un ejemplo de programa comercial para modelado molecular es el HyperChem de Hypercube Inc. [10] (mediante el cual se construyeron algunos de los modelos mencionados abajo en este artículo).

IMAGENES A NANOESCALA

A la fecha, el STM ha permitido obtener imágenes a nanoescala de una diversidad extraordinaria de materiales, comenzando por los sustratos mismos, moléculas tanto individuales como arregladas en ensambles complejos, materiales híbridos, etc. El análisis de los sustratos empleados para depositar los materiales a estudiar es el caso más sencillo para la obtención de imágenes a nanoescala, pero también representa un área de gran interés en la nanociencia. Un ejemplo destacado es el grafito en su forma de HOPG que, como se había mencionado, es uno de los sustratos más ampliamente utilizados para los análisis por STM. Es un material de carbono de alta pureza, anisotrópico, hidrofóbico, no polar, buen conductor, inerte, estable, de superficie plana y fácil de limpiar. Tiene una estructura laminar compuesta de hojas de grafeno, apiladas a una distancia de aproximadamente 0.335 nm y unidas entre sí por fuerzas de van der Waals. En la hoja de grafeno los átomos de carbono tienen hibridación sp^2 resultando en una red de hexágonos en que cada átomo se conecta con otros tres, a una distancia de aproximadamente 0.142 nm y con ángulos de 120° . La limpieza de la superficie del HOPG se realiza por remoción de las capas superficiales mediante un trozo de cinta adhesiva, produciendo un sustrato sin impurezas adsorbidas, adecuado para el depósito de los materiales de interés. La caracterización previa del sustrato es importante desde tres puntos de vista principales. Primero, el HOPG, a pesar de sus ventajas, frecuentemente presenta algunos defectos de superficie, como por ejemplo fibras, escalones, tiras, impurezas y trozos de grafito roto, que pueden complicar la interpretación de las imágenes de STM [11]. Segundo, debido a que los defectos alteran la estructura electrónica original del HOPG, pueden servir como sitios preferenciales de adsorción para algunas moléculas depositadas. Y tercero, al encontrar los parámetros de STM para lograr la resolución atómica del HOPG, resulta más fácil calibrar los parámetros del barrido para visualizar con resolución atómica las moléculas depositadas. Las imágenes con resolución atómica de la superficie del HOPG se pueden obtener utilizando los equipos más sencillos de STM. En tales imágenes se pueden observar patrones de distintas tonalidades que representan el relieve de la superficie del grafito (fig. 3a). Los puntos más claros que sobresalen en la superficie se denominan *sitios β* y representan a átomos de carbono que carecen de un átomo de carbono vecino en la capa de grafeno inmediata inferior a la superficial. Los puntos más oscuros se ubi-

FIGURA 3. Imágenes de STM a nanoescala de la superficie de HOPG. (a) Superficie del HOPG normal con resolución atómica. Se observa un patrón de distintas tonalidades, donde los puntos más claros sobresalen en la superficie, mientras que los puntos más oscuros se ubican más abajo; representando a átomos de carbono sin y con un átomo de carbono en la capa inmediata inferior, respectivamente. La distancia entre dos puntos claros o dos puntos oscuros contiguos es de aprox. 0.246 nm. (b) Súperred formada en la superficie de HOPG. Se observa una red hexagonal súperperiódica, causada por la alteración en la correspondencia entre los átomos de carbono de la capa superficial y la inmediata inferior del HOPG. Estas imágenes fueron obtenidas mediante un equipo JEOL JSPM-5200; sin embargo, un Nanosurf easyScan E-STM es capaz de producir en HOPG una resolución similar.



can más abajo y denominan *sitios α* , representando a átomos de carbono que tienen a un átomo de carbono vecino en la capa inmediata inferior, lo cual causa una reducción en su densidad de estados electrónicos en el nivel de Fermi. De esta forma, la superficie del grafito se compone de dos subredes: α y β , donde la distancia entre dos sitios α o β contiguos es de aproximadamente 0.246 nm [11]. Conocer esta periodicidad es de gran importancia para distinguir al sustrato de los materiales depositados y de defectos topológicos del HOPG conocidos como *súperredes*. El fenómeno de súperredes se produce principalmente por defectos intrínsecos del cristal de grafito durante su fabricación o por daños físicos durante su manejo, ocasionando la rotación de una o más hojas de grafeno superficiales con respecto a las capas inferiores [11]. Las súperredes también se pueden observar incluso con los equipos más sencillos de STM. En las imágenes topográficas de STM, las súperredes se observan como estructuras hexagonales superperiódicas (fig. 3b). Esto se debe a que, al ocurrir la rotación, se altera la correspondencia entre los átomos de carbono de la(s) capa(s) superficial(es) del HOPG con aquéllos de la capa inmediata inferior. Consecuentemente, los átomos de carbono de la capa superficial pueden ahora encontrarse por encima de cualquier sitio de la capa inmediata inferior, como puede ser un sitio α , β o algún punto entre ambos, resultando en el cambio de periodicidad observada en la imagen de STM. La periodicidad de la súperred depende del ángulo de rotación. La presencia de las súperredes puede complicar el análisis de las imágenes de STM debido a que se puede confundir, por ejemplo, con ensamblajes de moléculas depositadas, sobre todo si éstos se forman como estructuras periódicas [11]. Por otro lado, las súperredes presentan propiedades electrónicas peculiares, por lo que posiblemente podrían servir como

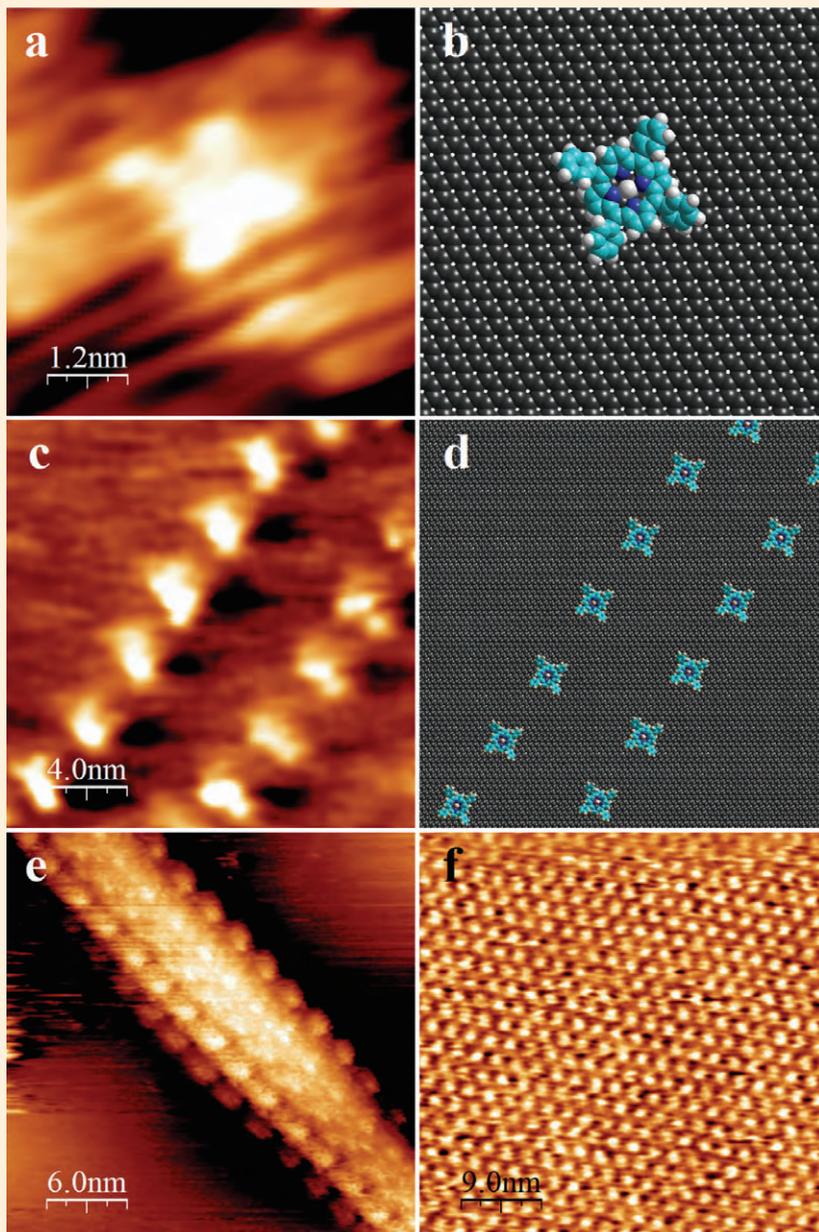
una especie de moldes para la adsorción ordenada con periodicidad regular de algunos materiales [12]. De todo lo anterior se puede concluir que la caracterización detallada por STM del HOPG usado como sustrato es crítico para conocer la superficie en que se van a depositar los materiales a analizar, tomando en cuenta la posible presencia de defectos topológicos, entre ellos las súperredes. Cabe mencionar que la obtención de imágenes de la estructura atómica del grafito resalta la gran sensibilidad de la técnica de STM.

AUTOENSAMBLES MOLECULARES

Recientemente, el STM se ha podido utilizar exitosamente para analizar los autoensambles moleculares (MSA por sus siglas en inglés), que juegan un papel crucial en la nanociencia y la aproximación *bottom-up* de la nanotecnología. El fenómeno de MSA consiste en la formación espontánea de estructuras supramoleculares complejas, definidas por la forma y propiedades de las moléculas involucradas, y donde los factores externos no dirigen el proceso del ensamble [13]. El autoensamble es una estrategia frecuentemente observada en los sistemas biológicos, un ejemplo ilustrativo siendo el virus del mosaico del tabaco (TMV por sus siglas en inglés) en el que 2130 subunidades idénticas de la proteína de cubierta se autoensamblan de forma helicoidal para producir la cápside viral. La nanotecnología tiene gran interés en imitar los autoensambles que ocurren naturalmente en sistemas biológicos, a raíz de la gran especificidad y eficiencia del proceso. Un tipo de MSAs son las monocapas autoensambladas (SAMs por sus siglas en inglés). Las SAMs se forman por la adsorción y asociación espontánea de moléculas en una sola capa sobre la superficie de un sustrato cuya interacción con las moléculas depositadas es energéticamente favorable. Las SAMs permiten transferir las propiedades de las moléculas depositadas a una superficie homogénea [14], y pueden ser muy versátiles ya que tanto las moléculas de interés como el sustrato pueden ser de forma, tamaño y propiedades variadas. Un ejemplo de moléculas ampliamente utilizadas para producir y estudiar a las SAMs son las porfirinas. Estas moléculas presentan diversas ventajas incluyendo su alta estabilidad, geometría planar, intensa adsorción y emisión electrónicas, y la facilidad de modificar sus propiedades ópticas y redox por una metalación apropiada ([15] y literatura de ahí). Las porfirinas son capaces de formar autoensambles de distintas arquitecturas. En estos autoensambles, las moléculas se mantienen unidas por interacciones no covalentes como las hidrofóbicas, van der Waals, puentes de hidrógeno, apilamiento π - π , etc., resultando en sistemas termodinámicamente estables y capaces de autorreparación [16]. Las SAMs de porfirinas tienen aplicaciones en la fabricación de sensores y catalizadores, sustratos para reacciones químicas, sistemas colectores de energía, entre muchas otras. Por medio de la técnica de STM se han podido estudiar SAMs de diversas porfirinas en distintos sustratos, el HOPG y el Au(III) siendo los más utilizados. El HOPG es un sustrato muy cómodo para la obtención de SAMs de porfirinas dado que las interacciones no covalentes entre ambos permiten la movilidad necesaria para que las porfirinas encuentren el acomodo más energéticamente favorable. Las imágenes a nanoescala de autoensambles de porfirinas representan un ejemplo más complejo de la aplicación de la técnica de STM que el estudio de los sustratos, y son difíciles de obtener con los equipos más sencillos debido a factores como la movilidad de las moléculas analizadas sobre el sustrato. Por esta

razón, para obtener imágenes de calidad óptima de estos sistemas, se requiere de un excelente aislamiento antivibratorio, la posibilidad de modificar numerosos parámetros de barrido, así como en ocasiones la capacidad de operar en ambientes de UHV y temperatura baja. El análisis de tales imágenes de STM, apoyado además en simulaciones por modelado molecular, ha permitido obtener información valiosa acerca del proceso del autoensamble de porfirinas sobre HOPG, desde los arreglos más sencillos hasta los más complejos como las SAMs. Un ejemplo interesante son los autoensambles de *meso*-tetrafenilporfinas (TPPs por sus siglas en inglés). Estas porfirinas son sintéticas, y se pueden emplear en su forma de ligando libre (H_2TPP) o con metales de transición en el centro de la molécula, que pueden ser de cobalto (Co(II)), níquel (Ni), magnesio (Mg), etc. El ligando libre consiste en una porfina con cuatro grupos fenilo como sustituyentes en posición *meso*, resultando en una molécula planar (en su mayor parte), simétrica y rica en electrones π . La *meso*-tetrafenilporfina de níquel o NiTPP representa un caso muy atractivo para su estudio por STM gracias a la presencia del átomo central de Ni. Al analizar por STM muestras de NiTPP depositadas sobre la superficie de HOPG, se obtienen imágenes en que cada molécula se distingue como una mancha brillante puesto que la corriente de túnel pasa intensamente a través del átomo del metal de transición. Un ejemplo de una molécula individual de NiTPP se muestra en la figura 4a. Esta molécula se encuentra aislada sobre la superficie del HOPG, y exhibe una notable apariencia helicoidal, similar a la que se puede observar en un modelo molecular construido mediante el programa HyperChem 7.5 [10] para simular la adsorción de una molécula de NiTPP sobre la capa superficial del HOPG (fig. 4b). Las imágenes de STM sugieren que el autoensamble de NiTPP ocurre en monocapa, en que las moléculas individuales adsorbidas sobre el sustrato interactúan entre sí a través del apilamiento π entre los anillos C_6H_5 para formar largas hileras aisladas (fig. 4c). En la figura 4d se presenta un modelo molecular que ilustra lo que ocurre en la figura 4c. Las imágenes revelan que tales hileras aisladas de NiTPP posteriormente se ensamblan entre sí para formar arreglos más complejos, que frecuentemente ocurren en forma de cintas anchas (cuyo tamaño depende del número de hileras involucradas) y varios micrómetros de longitud sobre la superficie del HOPG (fig. 4e). Estos arreglos indican ser altamente estables, lo cual es evidente por su gran longitud y por el hecho de que permanecen ininterrumpidas al cruzar por encima de diversos defectos topológicos del HOPG. Tales cintas también se han observado repetidamente en los casos de H_2TPP y CoTPP, sugiriendo que este fenómeno es un caso común para las *meso*-tetrafenilporfinas. Además, similares cintas autoensambladas de distintos tipos de porfirinas se han reportado en múltiples estudios, indicando que efectivamente hay una tendencia de las porfirinas por formar tales arquitecturas. Los autoensambles de TPPs también pueden encontrarse en forma de tapetes que cubren grandes superficies del sustrato, es decir, en forma de SAMs. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 4f, en que se puede observar la superficie de HOPG completamente cubierta por moléculas de CoTPP formando una SAM. Sin embargo, para que ocurra la formación de tal arreglo, deben confluir diversas condiciones que lo favorezcan, como, por ejemplo, una concentración de CoTPP adecuada, una distribución relativamente homogénea sobre el sustrato, una evaporación del solvente relativamente lenta como para proveer un medio en que las moléculas se puedan desplazar con mayor facilidad, así como una temperatura adecuada para otorgar la energía necesaria para que múltiples moléculas de porfirinas se encuentren en el espacio y formen tapetes extensos. Las imágenes de la figura 4 fueron

FIGURA 4. Autoensambles de TPP sobre la superficie de HOPG. Imagen de STM (a) y modelo correspondiente de una molécula individual de NiTPP aislada sobre el sustrato (b). Imagen de STM (c) y modelo correspondiente (d) de hileras individuales de NiTPP. (e) Imagen de STM de un cinta autoensamblada de una monocapa autoensamblada (SAM) de moléculas de CoTPP, que se visualiza como un tapete extenso que cubre por completo la superficie del HOPG. Imágenes obtenidas mediante el equipo JEOL JSPM-5200 (en colaboración con el Dr. Edgar Álvarez Zauco).

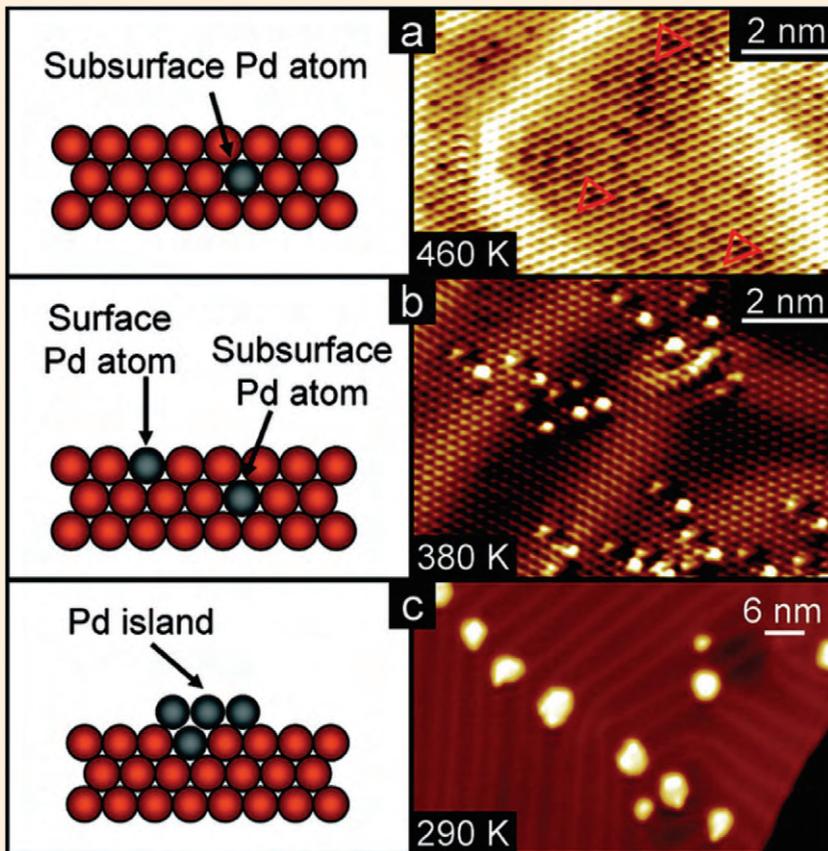


obtenidas en condiciones de temperatura y presión ambientales, empleando JEOL JSPM-5200, descrito previamente, e ilustran la capacidad de este equipo para analizar fenómenos como los autoensambles moleculares. Cabe mencionar que este tipo de equipos de STM presentan limitaciones para visualizar la estructura atómica de moléculas como las porfirinas por la dificultad de operación en condiciones de alto vacío y a bajas temperaturas. Esto se debe a que la punta frecuentemente se ensucia con partículas presentes en la muestra (impurezas o las porfirinas mismas), mientras que por la configuración del equipo, durante la operación en estas condiciones la punta y la muestra se encuentran inaccesibles, imposibilitando el intercambio de la punta sucia por una nueva.

GEOMETRÍA DE LAS MOLÉCULAS

Mientras que la observación de autoensambles moleculares es accesible para equipos de STM de mediana complejidad, sólo equipos tan sofisticados como el Omicron VT UHV SPM u Omicron LT UHV SPM pueden permitir el análisis con precisión atómica del comportamiento de los sistemas de interés en un amplio rango de temperaturas. Un ejemplo ilustrativo es el estudio realizado por Baber y colaboradores [17], en el que se empleó el Omicron LT UHV SPM para investigar la estructura en escala atómica de aleaciones bimetálicas de Pd/Au(111) (paladio con oro). Estas aleaciones son útiles como catalizadores de múltiples reacciones químicas importantes, mientras que su arreglo en escala atómica (dado por las interacciones electrónicas resultantes entre ambos metales) puede afectar significativamente su reactividad y selectividad. El estudio consistió en la deposición directa de átomos de Pd (provenientes de un alambre de este material) sobre un cristal de Au(111) dentro de la cámara de preparación de muestras del Omicron LT UHV SPM a distintas temperaturas. Las muestras posteriormente se analizaron por STM durante varias horas a una temperatura constante de 7 K de la punta y de la muestra. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 5 (mediante un esquema y la imagen de STM correspondiente), donde se ilustra la dependencia entre la temperatura durante el proceso de la aleación y la incorporación de los átomos de Pd sobre el Au(111). Según estos resultados, a una temperatura alta de 460 K, la mayoría de los átomos de Pd se encuentran en la capa subsuperficial (por debajo de la superficie) del Au(111) y se visualizan como depresiones trilobuladas en la imagen de STM (fig. 5a). A una temperatura de 380 K, los átomos de Pd se incorporan principalmente sobre la capa superficial pero también por debajo de ella, observándose en la imagen de STM como protrusiones y depresiones trilobuladas, respectivamente (fig. 5b). Por último, tras una deposición a 290 K, se encontró que los átomos de Pd intercambian de lugar con los átomos de Au en sitios de dislocaciones de borde y, posteriormente, sirven como centros de nucleación para el crecimiento de monocapas en forma de islas de Pd (fig. 5c). Este estudio ejemplifica la aplicación del equipo de STM modelo Omicron LT UHV SPM para la fabricación de materiales como las aleaciones bimetálicas de Pd/Au de distintas geometrías empleando distintas temperaturas durante la deposición, y la observación de las arquitecturas obtenidas en escala atómica a una temperatura baja y constante. Este tipo de estudios son de crucial importancia para la nanofabricación dado que permiten controlar con gran precisión las condiciones para la construcción de diversos materiales, y el análisis detallado de los resultados obtenidos.

FIGURA 5. Dependencia entre la temperatura durante el proceso de la aleación y la incorporación de los átomos de Pd sobre el Au(111) (esquema de vista lateral y la imagen de STM correspondiente). (a) Después de la deposición de Pd a 460 K, los átomos de Pd residen en la capa subsuperficial y aparecen en la imagen de STM como depresiones trilobuladas (indicadas con triángulos rojos). (b) A una temperatura más baja (380 K), los átomos de Pd se incorporan en las capas superficiales y subsuperficiales: los átomos superficiales se visualizan como protusiones, mientras que los subsuperficiales aparecen como depresiones trilobuladas. (c) Tras una deposición a 290 K, los átomos de Pd intercambian de lugar con los átomos de Au en sitios de dislocaciones de borde, y posteriormente sirven como centros de nucleación para el crecimiento de monocapas en forma de islas pronunciadas de Pd en la superficie de Au, constituidas por una mezcla de Pd y Au rica en Pd. Imágenes de STM obtenidas mediante el equipo Omicron LT UHV SPM. Reproducido con permiso de A. E. Baber et al. [17], *ACS Nano*, 2010, 4, 1637. © 2010 American Chemical Society.



ROTORES MOLECULARES

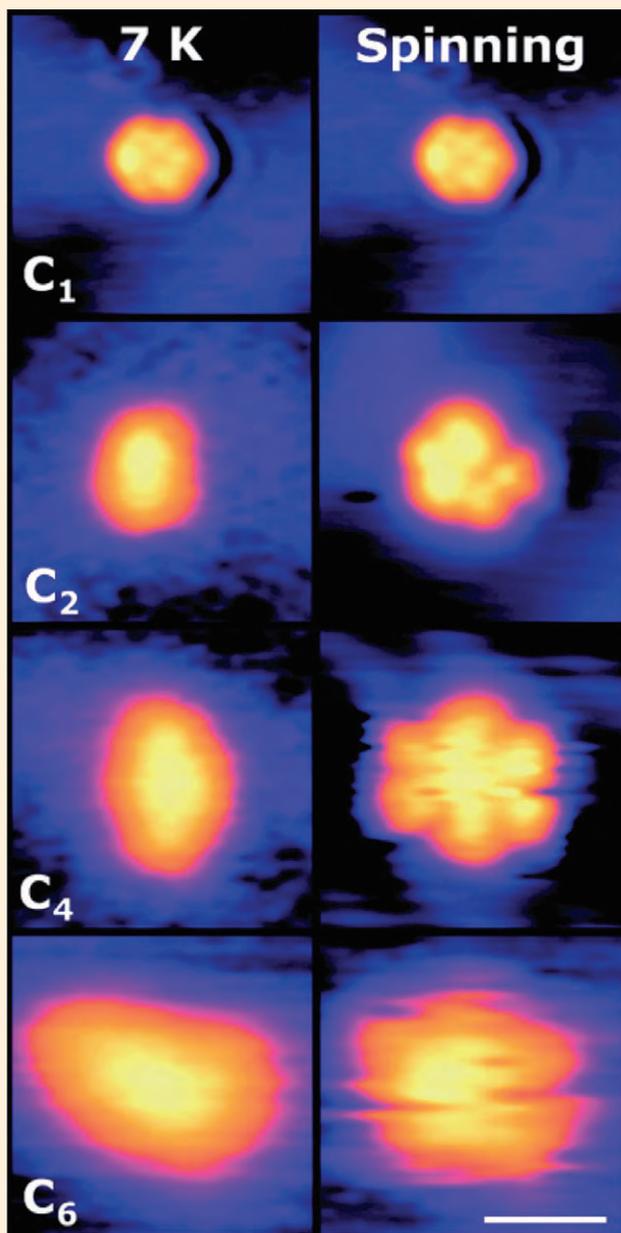
Otro caso llamativo de la aplicación de la técnica de STM es la observación del movimiento de las moléculas en tiempo real. Esta aplicación juega un papel central para la fabricación de nanomáquinas denominadas *rotores moleculares*, activadas térmica o mecánicamente. Para volver realidad las diversas aplicaciones nanotecnológicas potenciales de estos dispositivos, es necesario dilucidar los mecanismos que rigen el

fenómeno. Por ejemplo, en el estudio realizado por Tierney y colaboradores [18], se utilizó el equipo de STM Omicron LT UHV SPM para investigar la dinámica de la rotación de tioéteres (moléculas orgánicas con grupo funcional R-S-R) depositadas sobre sustratos de Au(111). Los tioéteres empleados incluyeron dimetil (C_1), dietil (C_2), dibutil (C_4) y dihexil (C_6) sulfuros. El análisis se realizó en condiciones de UHV, y a temperaturas variadas con el fin de observar su efecto sobre la dinámica rotacional de los distintos tioéteres sobre la superficie del Au(111). Las imágenes de STM obtenidas en este estudio se presentan en la figura 6. Es evidente que a una temperatura de 7 K las moléculas de tioéter permanecen inmóviles y tienen una apariencia lineal, a excepción del dimetil sulfuro (C_1) que se visualiza con forma hexagonal puesto que, por su baja barrera a la rotación, gira incluso a una temperatura tan baja como 7 K. Al calentar la muestra a 16 ± 2 K, las moléculas de C_2 , C_4 y C_6 que permanecían inmóviles, comienzan a rotar, adquiriendo una apariencia hexagonal. Cabe mencionar que en este estudio se recurrió a simulaciones por modelado molecular para comprender mejor la dinámica de la rotación. Los resultados de estas simulaciones correspondieron bien con los resultados experimentales, comprobando la estrecha dependencia entre la temperatura y la rotación de los tioéteres. El estudio de los rotores moleculares implica el análisis del movimiento de moléculas individuales sobre sustratos sólidos, por lo que representa un caso más complejo de la aplicación del STM en la nanociencia y nanotecnología, que los anteriormente mencionados. Tales estudios únicamente se pueden realizar en equipos cuya sofisticación les permite operar en vacío y a una temperatura controlada por la duración del experimento entero, desde la preparación de la muestra hasta su análisis por STM.

REACCIONES QUÍMICAS

Una verdadera aspiración de la nanociencia y la nanotecnología es la posibilidad de observar directamente los eventos de una reacción química paso por paso en escala atómica. Tal posibilidad podría no sólo revelar detalles novedosos, sino también permitir un control más preciso de la reacción con el fin de lograr algún objetivo particular. En este sentido, el STM una vez más resulta una herramienta muy potente: a la fecha ya existen algunos estudios en que se han logrado visualizar reacciones químicas en tiempo real, permitiendo grabar “películas” del proceso completo. Un ejemplo interesante es el reportado por Matthiesen y colaboradores [19], en el que se empleó la técnica de STM para observar el proceso de formación de agua sobre la superficie de dióxido de titanio ($TiO_2(110)$) en su forma rutilo (con estructura cristalina tetragonal). Como se puede ver en el modelo de *bola y palo* de la figura 7a, una celda unitaria de la superficie del $TiO_2(110)$ rutilo está formada por filas de átomos de titanio cinco (5f-Ti) y seis veces coordinados (6f-Ti), intercaladas en el mismo plano con filas de oxígeno tres veces coordinado. Por encima de este plano hay filas de oxígeno dos veces coordinado u oxígeno puente (O_{br}). La superficie del $TiO_2(110)$ presenta algunos defectos puntuales que incluyen vacantes de oxígeno puente (O_{br} vac), átomos de hidrógeno adsorbidos o adátomos de H, y átomos individuales de oxígeno (O_{ot}). En este estudio [19], se aprovechó la presencia de tales defectos para catalizar una reacción de oxidación mediante moléculas de O_2 de adátomos de H sobre la superficie de $TiO_2(110)$ rutilo. Brevemente, el experimento consistió en bombardear el $TiO_2(110)$ con argón (Ar) seguido de su recocido térmico para producir una gran cantidad de O_{br} vac, y su posterior exposición a agua

FIGURA 6. Imágenes de STM que revelan que los rotadores moleculares de dialquil sulfuros unidos en la superficie del Au(111) comienzan a rotar al aumentar la temperatura. Las moléculas de dimetil (C_1), dietil (C_2), dibutil (C_4) y dihexil (C_6) sulfuros se muestran como lineales vs hexagonales a bajas y altas temperaturas, respectivamente, a excepción de C_1 . C_1 tiene una baja barrera a la rotación y parece estar rotando incluso a una temperatura de 7 K. La barra de escala equivale a 1 nm. Imágenes obtenidas mediante el equipo Omicron LT UHV SPM. Reproducido con permiso de H. L. Tierney et al. [18], *J. Phys. Chem. C*, **2009**, 113, 10913. © 2009 American Chemical Society.



para obtener una superficie rica en adátomos de H (h -TiO₂(110)). La formación de h -TiO₂(110) ocurre cuando el oxígeno del H₂O llega a ocupar un sitio de O_{br} vac, y por transferencia de protones al átomo de oxígeno vecino la molécula de agua se disocia para formar dos grupos HO_{br} o adátomos de H. El h -TiO₂(110) resultante se puede ver en la imagen de STM (fig. 7b) donde se indican los adátomos de H formados, incluyendo los individuales, pareados, cercanos, y formando una hilera. Posteriormente, el h -TiO₂(110) se expuso a 4 L de O₂ a ~165 K, causando la formación del primer intermediario OH_O, que, por transferencia de H adicionales presentes en el sistema, pasó a formar intermediarios como OH_{OH} y OH_{OH₂} hasta llegar al producto final de dos moléculas de H₂O. En la imagen de STM de la figura 7c se indican algunos intermediarios así como las moléculas de H₂O recién formadas, mientras que la figura 7d es un acercamiento del área encuadrada en la figura 7c. Las imágenes de STM se obtuvieron a 110 K. Este estudio se realizó empleando una cámara de UHV equipada con un STM casero de temperatura variable; esto ejemplifica la posibilidad de utilizar un equipo de STM comercial, y complementarlo con elementos adicionales conforme a las necesidades. Cabe mencionar que también en este caso se recurrió a la comparación de los resultados experimentales con simulaciones por modelado molecular, lo cual contribuyó tanto para corroborar la información obtenida, como para aclarar los pasos involucrados en el proceso desde la reducción del TiO₂(110) hasta la formación del H₂O en su superficie.

NANOMANIPULACIÓN

Como se mencionó anteriormente, la interacción entre la punta del STM y la muestra analizada se puede aprovechar para manipular los átomos o moléculas depositadas sobre un sustrato. Esta aplicación de la técnica de STM es de gran interés para la aproximación *bottom-up* de la nanotecnología ya que puede permitir la construcción átomo por átomo de nanoestructuras novedosas con múltiples aplicaciones. Por ejemplo, Crommie y colaboradores [20] emplearon un equipo de STM criogénico para observar patrones de interferencia mecánica cuántica, generados por la dispersión de electrones bidimensionales (2D) a partir de átomos de hierro (Fe) artificialmente acomodados sobre la superficie de cobre cristalino (Cu(111)). El experimento se realizó en condiciones de UHV a una temperatura de 4 K. Los autores se basaron en el hecho de que los estados de superficie de las caras densamente empacadas de los metales nobles como el Cu se encuentran ocupados por un gas de electrones 2D casi libres, que puede ser visualizado por el STM. Al introducir una "impureza", como puede ser un átomo de Fe, el estado de superficie del Cu(111) se perturba, ocasionando la dispersión de los electrones 2D y produciendo patrones de interferencia (lo cual ilustra el comportamiento de los electrones como ondas). En el experimento, se utilizó la punta del STM para deslizar cuidadosamente varios átomos individuales de Fe adsorbidos sobre la superficie del Cu(111) y acomodarlos en forma de anillos densamente empacados (con cortas distancias interatómicas), denominados *corrales cuánticos*. El proceso de la construcción de un corral cuántico de 177.4 Å se muestra en la figura 8, donde es evidente la evolución de los cambios en los patrones de interferencia conforme el anillo se va cerrando. Cuando el anillo se cierra por completo, se produce una barrera de dispersión continua donde los electrones se desplazan de un átomo de Fe a otro resultando en la formación de patrones de interferencia más complejos. Este ejemplo ilustra no sólo la posibilidad de manipular átomos individuales por me-

FIGURA 7. (a) Modelo de bola y palo de la superficie de $\text{TiO}_2(110)$ (1×1) con algunos de sus defectos puntuales. Las bolas grises grandes representan átomos de O, las bolas rojas medianas a átomos superficiales de Ti seis veces coordinados (6f-Ti) y cinco veces coordinados (5f-Ti). Las bolas grises pequeñas representan adátomos de H. También se indican las especies de oxígeno puente (O_{br}), vacantes de oxígeno ($\text{O}_{br, vac}$) y especies enlazadas por encima (O_{ot}). (b-d) Imágenes de STM de la superficie de $h\text{-TiO}_2(110)$ antes (b) y después (c) de la exposición a 4 L de O_2 a ~ 165 K. Los símbolos en (b) indican adátomos individuales de H (hexágono), adátomos pareados de H (cuadrado), adátomos de H cercanos (rectángulo de línea completa) y una hilera de adátomos de H cercanos (rectángulo de línea partida). Los círculos en (c) indican las especies nuevas en las depresiones del Ti, mientras que las flechas indican protuberancias pronunciadas dentro de las depresiones del Ti, con alturas típicamente observadas en el STM para moléculas de agua. El área cuadrada indicada en (c) (línea blanca partida) se muestra ampliada en (d). Un entramado cuadrícula se centró por encima de sitios 5f-Ti en (d) tomando como referencia los adátomos de H (puntos blancos pequeños) para alinear en la dirección [001]. Las imágenes de STM se obtuvieron a 110 K, empleando una cámara de UHV equipada con un STM casero de temperatura variable. Reproducido con permiso de J. Matthiesen *et al.* [19], *ACS Nano*, 2009, 3, 517. © 2009 American Chemical Society.

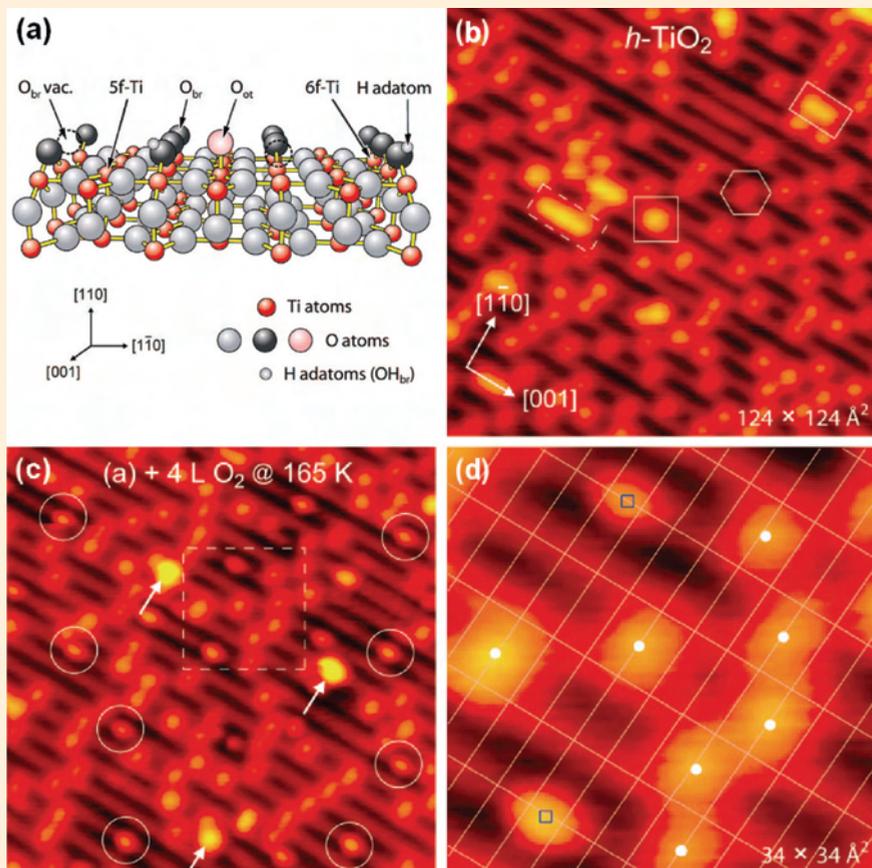
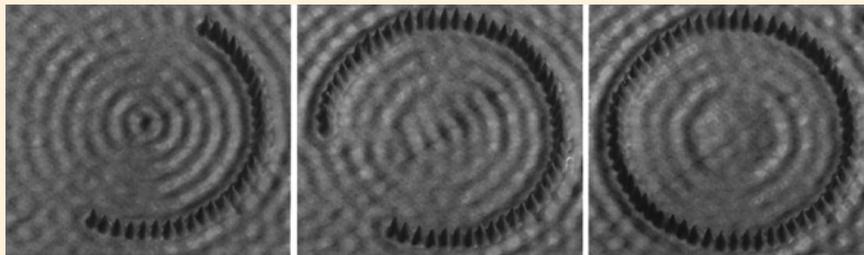


FIGURA 8. Imágenes de STM que ilustran el proceso de la construcción de un anillo de átomos individuales de Fe con diámetro de 177.4 Å. Es evidente la evolución en los patrones de interferencia conforme se va cerrando el anillo. Reproducido con permiso de M.F. Crommie et al. [20], *Surface Science*, **1996**, 864, 361. © 1996 Elsevier.



dio del STM, sino también la capacidad de la técnica para observar fenómenos tan finos como los patrones de interferencia mecánica cuántica.

CONCLUSIONES

Con todo esto se puede ver que la técnica de STM por un lado permite la visualización y caracterización en escala nano de distintos materiales, ya sea átomos, moléculas, arreglos supramoleculares como las SAMs, materiales híbridos, rotores moleculares, e incluso reacciones químicas, por lo que se le puede considerar como los “ojos” que nos hacen posible asomarnos al mundo *nano*. Por otro lado, el STM también puede permitir la manipulación de moléculas o átomos individuales sobre sustratos sólidos, por lo que también se le puede considerar como una especie de “dedos” para la construcción de materiales nuevos o rearrreglo de materiales existentes. Sin embargo, a la fecha, la función del STM como “ojos” se encuentra en una faceta mucho más avanzada que su función como “dedos”. Esto se puede atribuir a múltiples razones. Por un lado, aún existen múltiples retos en la instrumentación de los equipos de STM como, por ejemplo, la automatización de sus funciones y el control preciso de todas las variables existentes. Adicionalmente, a la fecha son relativamente pocos los laboratorios en el mundo que tienen acceso a los equipos de STM suficientemente sofisticados que pueden permitir la manipulación en nanoescala de los materiales de interés. Por otro lado, debido a la juventud de la técnica en sí, y más aún del campo de la nanomanipulación por medio del STM, hace falta personal suficientemente capacitado para manejar una técnica tan compleja y multidisciplinaria. Por último, se debe tomar en consideración la gran complejidad e impredecibilidad de los sistemas analizados, por más sencillos que aparenten ser. Esto no representa una situación desalentadora, al contrario, revela un universo con infinitas posibilidades a explorar, y una multitud de caminos en cuyo recorrido se pueden descubrir fenómenos inesperados y sorprendentes, y nuevas aplicaciones en múltiples áreas de la ciencia. Y, seguramente, con el paso del tiempo, y acumulando los esfuerzos de todos aquéllos involucrados en los campos de la nanociencia y la nanotecnología, la nanomanipulación podrá llegar a una faceta tan avanzada como la de la caracterización de superficies por medio del STM.

REFERENCIAS

- [1] G. Binnig and H. Rohrer. 1986. "Scanning tunneling microscopy". *IBM Journal of Research and Development*, 30, 355.
- [2] L. J. Whitman. 1998. "Tunneling microscopy and spectroscopy". *Encyclopedia of Applied Physics*, 22, 361.
- [3] R. Wiesendanger and H. J. Güntherodt (eds.) 1997, *Scanning tunneling microscopy III. Theory of STM and related scanning probe methods*. Berlín: Springer-Verlag, 2nd ed., 402 pp.
- [4] R. Otero, F. Rosei y F. Besenbacher. 2006. "Scanning tunneling microscopy manipulation of complex organic molecules on solid surfaces". *Annual Review of Physical Chemistry*, 57, 497.
- [5] EasyScan E-STM, 2004. Version 2.1, Operating instructions, Nanosurf AG, Suiza,
- [6] JEOL JSPM-5200 Scanning Probe Microscope. 2003. Instructions, JEOL Ltd., Japón.
- [7] Variable Temperature UHV SPM: Benchmarking UHV STM and AFM Technology, Omicron Nanotechnology GmbH, VT UHV SPM 210-V06 Brochure, 2009. <http://www.omicron.de/products/spm/variable_temperature_instruments/vt_stm/media/vt_stm_1.pdf>.
- [8] Low Temperature UHV STM and AFM Technology, Omicron Nanotechnology GmbH, MULTIPROBE LT 260-V03 Brochure, 2008. <http://www.omicron.de/products/spm/low_temperature_instruments/lt_stm/media/lt_stm_1.pdf>.
- [9] I. Horcas, R. Fernández, J. M. Gómez-Rodríguez, J. Colchero, J. Gómez-Herrero y A. M. Baro. 2007. "WSxM: A software for scanning probe microscopy and a tool for nanotechnology". *Review of Scientific Instruments*, 78, 013705.
- [10] HyperChem Release 7.5 for Windows, Molecular Modeling System, Hypercube, Inc., 2002.
- [11] W. T. Pong y C. Durkan. 2005. "A review and outlook for an anomaly of scanning tunneling microscopy (STM): Superlattices on graphite". *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38, R329.
- [12] J. Xhie, K. Sattler, M. Ge, y N. Venkateswaran. 1993. "Giant and supergiant supergiant lattices on graphite". *Physical Review B*, 47, 15835.
- [13] S. Jasty. 2006. "Introduction to molecular self-assembly". *Sigma-Aldrich Material Matters*, 1, 3.
- [14] A. Ulman. 1991. *An introduction to ultrathin organic films from langmuir-blodgett to self-assembly*. San Diego: Academic Press, 442 pp.
- [15] N. Aratani, A. Takagi, Y. Yanagawa, T. Matsumoto, T. Kawai, Z. S. Yoon, D. Kim, y A. Osuka. 2005. "Giant meso-meso-linked porphyrin arrays of micrometer molecular length and their fabrication". *Chemistry – A European Journal*, 11, 3389.
- [16] G. M. Whitesides, J. P. Mathias, y C. T. Seto. 1991. "Molecular self-assembly and nanochemistry: A chemical strategy for the synthesis of nanostructures". *Science*, 254, 1312.
- [17] A. E. Baber, H. L. Tierney y E. C. H. Sykes. 2010. "Atomic-scale geometry and electronic structure of catalytically important Pd/Au Alloys". *ACS Nano*, 4, 1637.
- [18] H. L. Tierney, A. E. Baber y E. C. H. Sykes, A. Akimov y A. B. Kolomeisky. 2009. "Dynamics of thioether molecular rotors: Effects of surface interactions and chain flexibility". *Journal of Physical Chemistry C*, 113, 10913.

- [19] J. Matthiesen, S. Wendt, J. Ø. Hansen, G. K. H. Madsen, E. Lira, P. Galliker, E. K. Vestergaard, R. Schaub, E. Lægsgaard, B. Hammer y F. Besenbacher. 2009. "Observation of all the intermediate steps of a chemical reaction on an oxide surface by scanning tunneling microscopy". *ACS Nano*, 3, 517.
- [20] M. F. Crommie, C. P. Lutz, D. M. Eigler y E. J. Heller. 1996. "Quantum interference in 2D atomic-scale structures". *Surface Science*, 864, 361.

Nanotecnología y medio ambiente: Entrevista al Dr. Zanella*

POR PAULINA GARCÍA MATÍAS

La nanotecnología no es nuevo, surge desde hace tiempo, y, de hecho, la naturaleza realiza procesos a escala nanométrica. Antes se observaba un efecto y se le utilizaba, pero no se percibía, por ejemplo, que eran nanopartículas, porque no se tenían las bases científicas ni los instrumentos para conocer su tamaño.

Hacia finales de los años setenta empiezan a surgir las primeras descripciones de lo que pudieran ser las incidencias de la nanotecnología, y es hasta la década de los años noventa cuando comienzan a desarrollarse instrumentos sofisticados como el microscopio de fuerza atómica para lograr el aumento exponencial de sus implicaciones en la actualidad.

Muy brevemente diremos que la nanociencia estudia las propiedades de los materiales a escala nanométrica, que la nanotecnología es su manipulación a nivel atómico y que un nanómetro es la unidad que se obtiene al dividir un milímetro un millón de veces.

“Si podemos observar y medir a escala nano, podemos controlar y manipular con más eficiencia los átomos para crear los tamaños y la morfología que queramos.”

¿DR. ZANELLA, QUÉ ES LA NANOTECNOLOGÍA?

Es la manipulación a nivel atómico de los elementos para crear materia o partículas pequeñas (llamadas nanopartículas en las que hay una alta proporción de átomos de superficie) que puedan aplicarse en diversos campos. Cuando se disminuye el volumen, las partículas tienen menos átomos y en lugar de tener



IMAGEN 1. Dr. Zanella en el Laboratorio de Materiales y Nanotecnología (LMN) del CCADET de la UNAM.

más átomos de volumen hay más átomos de superficie.

Los materiales como una mesa, un librero o una taza están compuestos por miles de millones de átomos, sólo 0.0001 % o menos son átomos de superficie, los demás están propiamente en el interior del volumen. Así, si tienes una partícula muy grande, la mayoría de los átomos están formando parte del volumen no de la superficie, si tienes una partícula muy chica el grueso de ellos está en la superficie no en el volumen.

Lo que queremos, es tener muchos átomos de superficie; mientras más chica se haga una partícula las propiedades van cambiando y más átomos de superficie hay. Éstos tienen propiedades diferentes y nosotros buscamos estudiar esas propiedades.

Un compuesto como el oro en forma básica es brillante y amarillo y no ve modificadas sus

¹ Rodolfo Zanella es investigador del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM. Contacto: <rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx>.



IMAGEN 2. Microscopios acoplados a equipos FTIR y Raman del LMN del CCADET, UNAM.



IMAGEN 3. Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas con los que se analizan los gases de entrada y salida de uno de los reactores químicos del LMN del CCADET.

propiedades con el tiempo porque es inerte (no reacciona fácilmente), ése es el oro en forma de millones de átomos: en un arete o en una medalla, por mencionar dos ejemplos. Y si se tienen 100 átomos para formar una nanopartícula sigue siendo oro, sólo que sus propiedades son ahora totalmente diferentes, se vuelve reactivo y tiene propiedades ópticas pues las nanopartículas de oro de un nanómetro ya no son color amarillo sino violeta, su punto de fusión *en el bulto* es de 1064°C; cuando en partículas pequeñas es de 200°C o menos. Esto es las propiedades de una nanopartícula de oro, son completamente diferentes a las propiedades que pudiera tener un lingote de oro. Sin embargo, si se aumenta el tamaño de las nanopartículas por arriba de 10 nm, el oro deja de ser reactivo. El oro sólo es reactivo y se vuelve un excelente catalizador heterogéneo cuando está depositado en forma de partículas menores de 5 nm en un óxido, como el óxido de titanio, el óxido de hierro, etc. La mayor proporción de átomos de superficie en las partículas menores de 5 nm hace que cambien las propiedades de los elementos, entre ellas su reactividad.

Los átomos que están en la superficie de una molécula, tienen propiedades diferentes a los átomos que están en el volumen; por eso es que la nanotecnología ha desatado un revuelo, porque se están encontrando propiedades diferentes a las que se conocían de todos los elementos de la tabla periódica.

La obtención de las pequeñas partículas se realiza a través de reacciones químicas o procesos físicos.

Nosotros utilizamos reacciones químicas, a partir de un precursor químico, donde está incluida una sal (puede ser un nitrato, un cloruro o un ácido), se produce una reacción química y se forman pequeños cúmulos (sitios de enucleación del precursor metálico); después, se realiza el proceso de secado donde maduran y se originan nuevas reacciones químicas; finalmente, se lleva a cabo un tratamiento térmico donde se descomponen los precursores metálicos y se obtiene el metal en forma de nanopartículas.

¿CUÁLES SON LAS APLICACIONES AMBIENTALES MÁS RELEVANTES DE LA NANOTECNOLOGÍA?

Una es el abatimiento en la contaminación atmosférica a través de catalizadores.

La atmósfera está contaminada por diferentes compuestos, los cuales podemos transformar a compuestos inertes (que no hacen daño) o menos nocivos a través de la catálisis (esto, ayuda a que una reacción química suceda más rápido y con menos consumo de energía).

Por ejemplo, un óxido de nitrógeno se puede descomponer para generar nitrógeno y oxígeno



IMAGEN 4. Sistema de Micro-reacción RIG-150 instalado en el LMN del CCADET, operado por un estudiante de la maestría en ingeniería química de la UNAM.



IMAGEN 5. Detalle de los puntos de uso de gases, instalado en el LMN del CCADET.

o bien transformarse por medio de una reacción química con hidrógeno a nitrógeno y agua.

Pero no siempre se pretende separar los contaminantes, también se pueden transformar a unos que sean menos contaminantes. Por ejemplo, del mofle catalítico de los autos emergen contaminantes que pueden tener implicaciones sobre la salud y el medio ambiente; entonces, los gases, al estar en contacto con el catalizador (generalmente formado por metales, más un óxido metálico)¹ se transforman por medio de procesos químicos a compuestos menos nocivos.

Lo importante es encontrar catalizadores eficientes para llevar a cabo todos esos procesos y pasar de compuestos contaminantes a no contaminantes; esto es parte de lo que hacemos en el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental (PUNTA), que forma parte de los proyectos IMPULSA (Proyectos de liderazgo y superación académica) promovidos por la Rectoría de la UNAM y la Coordinación de la Investigación Científica.

Hay diferentes proyectos en PUNTA, no sólo abatimiento de la contaminación del aire, también se estudia la degradación de contaminantes orgánicos en agua y el “atrapamiento” de gases.

En el caso de los fotocatalizadores, se utiliza luz para crear sitios y de este modo provocar una reacción entre el sitio activo, el contaminante del agua y la luz y así ayudar a descomponer los compuestos contaminantes de las aguas. Como ejemplo, la industria textil utiliza azul de metileno para teñir las telas, después genera agua contaminada por compuestos orgánicos, pasa igual cuando los fármacos son desechados a la basura y pueden terminar en el agua, se desprenden compuestos peligrosos para el ecosistema y los seres vivos, por eso hay que degradarlos.

Esa es otra de las líneas de investigación de PUNTA: degradar compuestos orgánicos presentes en aguas contaminadas.

Por último, se encuentra el almacenamiento en sólido de contaminantes o de combustibles. Éste es un proceso en donde se buscan soluciones para poder atrapar los contaminantes que causan el cambio climático, una vez atrapados se liberan en un sitio seguro (calentándolos o disolviéndolos) y pueden ser utilizados. También hay compuestos sólidos capaces de absorber grandes cantidades de contaminantes como el CO₂ (dióxido de carbono) u otros, entonces se bus-

¹ Los tradicionales son platino, paladio y rodio, aunque también se pudieran utilizar oro, plata, cobre y níquel en forma de partículas pequeñas depositadas sobre otra partícula un poco más grande compuesta de óxido de aluminio, óxido de cerio, óxido de zirconio. El catalizador creará sitios donde los contaminantes se pueden absorber y así disociarse para que se lleve a cabo fácilmente una reacción química



IMAGEN 6. Estudiante de la maestría en ingeniería química (Elena Alarcón) controlando uno de los reactores químicos instalados en el LMN del CCADEF.

can procesos en los que se puedan almacenar dichos contaminantes.

Algo similar se logra con compuestos de potencial energético. Por ejemplo, almacenar hidrógeno, el cual puede ser un combustible, un vector energético, que sustituya las gasolinas considerándolo como energía limpia, tendríamos el problema de su explosividad, en este caso habría que almacenarlo en una fuente segura.

¿CUÁLES SON LOS RESULTADOS DE PUNTA?

El programa fue creado hace cinco años, desde entonces se ha publicado una gran cantidad de artículos científicos. También han protegido la propiedad intelectual a través de la solicitud de patentes y estamos en proceso de transferir las tecnologías a empresas públicas o privadas que estén interesadas en aplicar los conocimientos generados. Ello con el objeto de que esta tecnología y estos conocimientos sean útiles a la sociedad.

Se han creado nuevas formulaciones de catalizadores para el abatimiento de la contaminación atmosférica y se están buscando socios para llevarlos a una mayor escala.

Como consecuencia de PUNTA, se tienen al menos tres patentes otorgadas o solicitadas, una

relacionada con la estabilización de nanopartículas de oro, para su uso potencial en mofles catalíticos o en producción o purificación de hidrógeno, otra relacionada con catalizadores de paladio también con aplicaciones potenciales en mofles catalíticos y una más relacionada con materiales para el almacenamiento de gases.

¿CUÁLES SON LAS IMPLICACIONES POSITIVAS DE LA NANOTECNOLOGÍA EN SOLUCIONES MEDIOAMBIENTALES?

Abatir la contaminación atmosférica en el aire o en el agua, almacenar contaminantes para liberarlos en formas seguras y almacenar combustibles más limpios.

La parte negativa pudiera ser que hasta ahora los nanomateriales pueden tener propiedades diferentes que afecten a los seres vivos y a las plantas. Es una parte de ecotoxicidad² que hay que estudiar.

Existen otros esfuerzos con nanomateriales donde hay una exposición directa a los mismos; se plantea que las nanopartículas sean ingeridas por personas o animales (por ejemplo, para la detección o curación de cáncer y otras enfermedades) pero nosotros no estamos trabajando en ese tipo de sistemas. En nuestro caso, las partículas estarían presentes en un mofle catalítico; las partículas se encuentran en filtros, no se dan directamente a personas o animales.

Sí pudiera ser que de los mofles catalíticos se estuvieran desprendiendo nanopartículas y a la larga esto generara diversas complicaciones; por eso hay que trabajar con sustancias que sean lo más biocompatibles posibles y hacer estudios sobre la incidencia que esto pudiera tener sobre la salud. Éste es un trabajo para las personas que hacen bioquímica, fisiología, biología, agronomía, medicina; sería muy importante que especialistas de esas disciplinas se involucraran en el estudio de las implicaciones que pudieran tener los nanomateriales en la salud y en el medio ambiente, incluidos el aire, el agua y los suelos, entre ellos.

² En el campo de la ecotoxicidad de los materiales se estudian todas las implicaciones que puedan tener sobre la salud, los ecosistemas y los seres vivos.

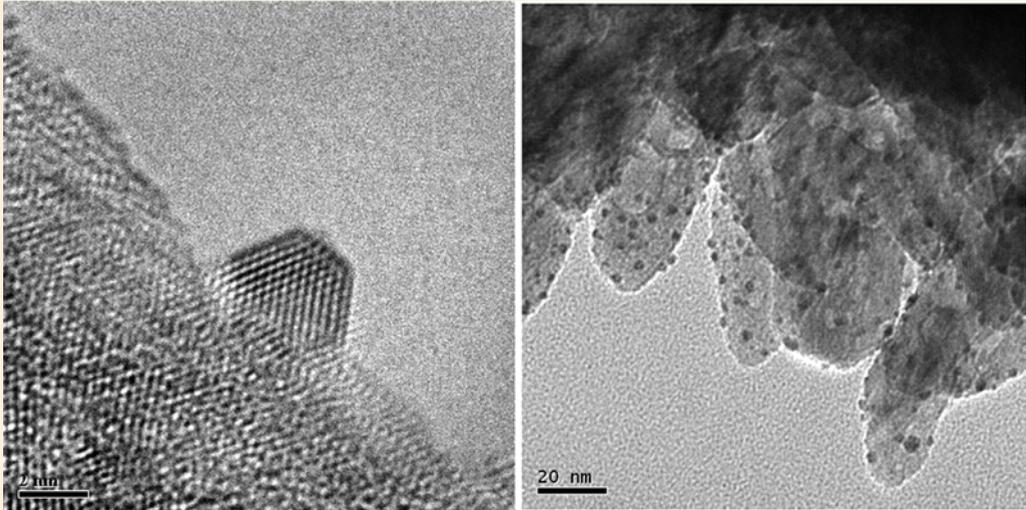


IMAGEN 7. Imágenes de microscopía electrónica de transmisión una en alta resolución (izquierda) y en baja resolución (derecha) de nanopartículas de oro soportadas en óxido de titanio, sintetizadas en el Grupo de Materiales y Nanotecnología del CCADET por el Dr. Zanella.

¿PUNTA REALIZÓ ESTUDIOS DE TOXICIDAD DE LOS MATERIALES QUE UTILIZÓ PARA LAS APLICACIONES MENCIONADAS? ¿ESTÁ HACIENDO USTED ESTUDIOS DE ESA NATURALEZA?

No.

¿EXISTE ALGUNA PROPUESTA PARA REGULAR EL USO INDUSTRIAL DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS?

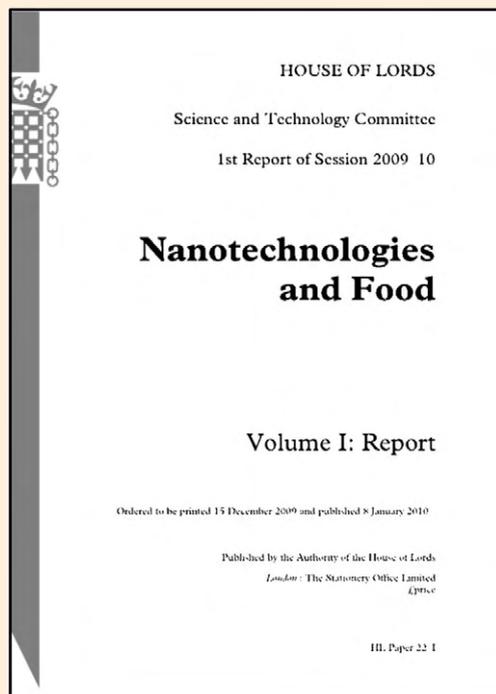
No de nuestra parte.

NANOTECHNOLOGIES AND FOOD (VOL. 1 Y VOL. 2) SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE, HOUSE OF LORDS ENERO DE 2010, REINO UNIDO

Comprensiblemente, la gente es sensible a cambios en los alimentos que come. La actitud del público está influenciada por una serie de consideraciones, como el temor a nuevos riesgos, el nivel de confianza en la eficacia de la regulación y otros factores sociales y psicológicos de mayor espectro (como los puntos de vista sobre la salud, el medio ambiente y la propia ciencia). El desarrollo de las nanotecnologías en el sector de la alimentación puede provocar algunas de estas preocupaciones pero, como muchas tecnologías nuevas en el pasado, pueden ofrecer a los consumidores y a la sociedad en general una serie de beneficios. La Casa de los Lores del Reino Unido ofrece los resultados de una investigación sobre la temática cuyo objeto es valorar si las nanotecnologías pueden desempeñar un papel importante en el sector de la alimentación, dar cuenta si hay sistemas eficaces para garantizar que los consumidores sean conscientes de y protegidos contra los riesgos potenciales, y para comprender y abordar algunas de las inquietudes que el público pueda tener acerca de estas nuevas tecnologías.

Los nanomateriales tienen un rango amplio de posibles aplicaciones en el sector de la alimentación que pueden ofrecer beneficios tanto para los consumidores y la industria. Éstos incluyen la creación de alimentos sin alteración de sabor, pero de niveles más bajos en grasas, sal o azúcar, o del desarrollo de envases y empaques mejorados que mantengan los alimentos frescos durante más tiempo o que le informe a los consumidores si la comida se ha echado a perder.

En la actualidad, el número de productos alimenticios que contienen nanomateriales es pequeño, pero esto puede cambiar en los próximos cinco años, más o menos, dependiendo de cómo las tecnologías se desarrollen. Por estas razones, el informe que consta de dos volúmenes, ofrece



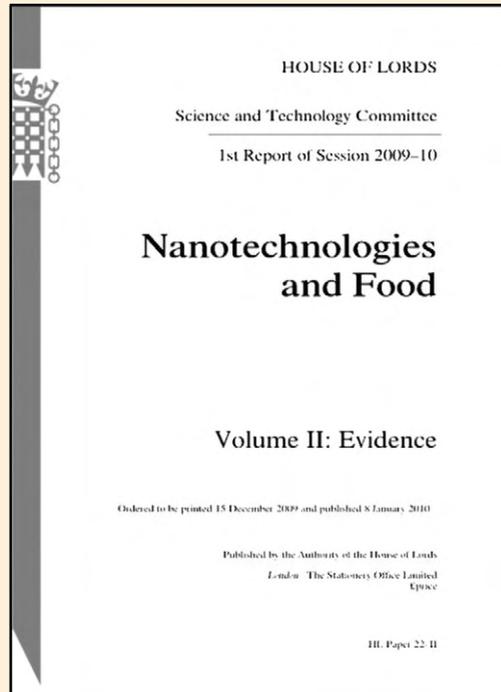
una serie de recomendaciones que tienen como objetivo apoyar el desarrollo responsable de las nanotecnologías en el sector de la alimentación y para asegurar que los beneficios potenciales para los consumidores y la sociedad reciban el apoyo y estímulo, en su caso, por el gobierno.

Las nanotecnologías pueden también representar nuevos riesgos, ello como resultado de sus novedosas propiedades, pero igualmente nuevos beneficios potenciales para los consumidores. Hay una gran variedad de nanomateriales, muchos de los cuales pueden resultar inofensivos. Sin embargo, otros pueden presentar un mayor riesgo. Nuestra comprensión actual de cómo se

comportan en el cuerpo humano aún no ha avanzado lo suficiente como para predecir con certeza qué clase de nanomateriales pueden tener un impacto negativo en la salud humana. Los nanomateriales persistentes son un motivo de especial preocupación, pues no se descomponen en el estómago y pueden tener el potencial de quedarse en el intestino, viajar por todo el cuerpo, y acumularse en las células con efectos a largo plazo que aún no se pueden determinar. Lamentablemente, hay una cantidad limitada de investigación que buscan definir el grado toxicológico de los nanomateriales, en particular sobre los riesgos que representan al ser ingeridos.

La investigación realizada por el gobierno del Reino Unido considera que ha sido necesaria a fin de asegurarse de que los reguladores de las agencias pertinentes tengan elementos para evaluar eficazmente la seguridad de los productos antes de que accedan al mercado. No obstante, los resultados concluyen que la investigación en estas áreas no tienen una prioridad lo suficientemente alta, de ahí que se recomiende tomar un papel más activo en el fomento a la investigación en riesgos potenciales y, en su caso, en el desarrollo de medidas apropiadas para su manejo responsable. Mientras que en principio, la legislación existente en Reino Unido debería asegurar que todos los nanomateriales utilizados en el sector de alimentos pasen por una evaluación de seguridad antes de que se permita su llegada al mercado, el estudio da cuenta de que aún hay ciertamente “áreas grises” a través de las cuales los productos con nanomateriales pueden escaparse de la red regulatoria.

La comunicación efectiva y la transparencia con el público es pues necesaria dadas la sensi-



bilidad existente a cerca de nuevas tecnologías. De este modo se puede asegurar que los consumidores pueden tomar decisiones informadas a cerca del uso de las nanotecnologías. Llama la atención que de la investigación realizada se observe el rechazo de la industria a dialogar sobre sus actividades en esta área, todo indica debido a su preocupación sobre la reacción del público.

§

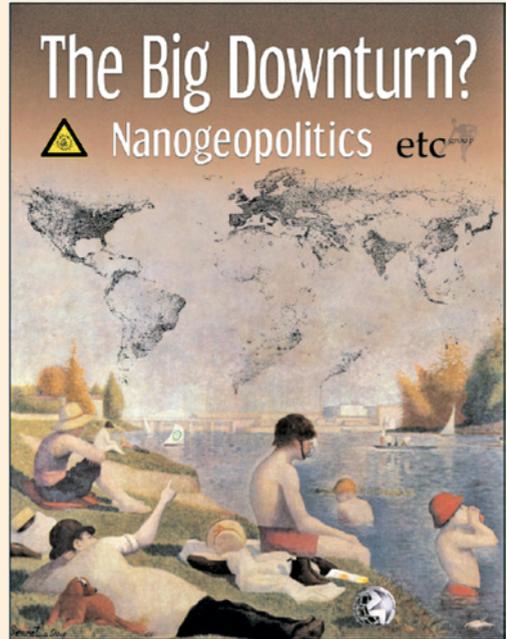
Disponible en: <www.publications.parliament.uk/pa/ld200910/ldselect/.../22/22i.pdf>.

**THE BIG DOWN TURN? NANOGEOPOLITICS
ETC GROUP
DICIEMBRE DE 2010, CANADÁ**

El reporte de ETC Group, entidad con base en Canadá, analiza el estado actual de situación de la nanotecnología, sugiriendo que el avance de la nanotecnología mantiene un perfil bajo. Ello no porque aún haya un mercado suave pero con grandes inversiones de por medio y con promesas un tanto exageradas, sino, sobre todo, porque hay una determinación a no llamar una atención del público indeseada con respecto a su regulación. ETC Group espera que en poco tiempo vaya toda una lluvia de aplicaciones nano hacia el mercado.

El informe analiza la competencia intercapitalista en nanotecnología dando cuenta de un monto global gastado en la última década de unos 59 mil millones de dólares y la existencia de unos 2 mil productos y al menos 60 iniciativas nacionales en el área, incluyendo las de países como Nepal, Sri Lanka y Pakistán. Puntualiza que existen a nivel mundial 2 mil empresas investigando o produciendo nanopartículas a nivel mundial. Y calcula unos 35 mil investigadores en el sector global de la química con aplicaciones de la nanoescala y unos 63 mil trabajadores en Alemania y alrededor de 2 millones en EUA vinculados al sector. Las predicciones para EUA indican unos 10 millones de trabajadores operando materiales nanoestructurados en el lapso de cinco años. El informe ofrece una lectura panorámica de las inversiones, la gobernanza y control y la propiedad intelectual en nanotecnología.

El informe reivindica el llamado a una moratoria en la introducción de productos nano en el



mercado, argumentando la posibilidad de una nueva Primavera Silenciosa al parafrasear las advertencias que hiciera en 1962 Rachel Carson en torno al impacto ambiental del uso masivo de agroquímicos.

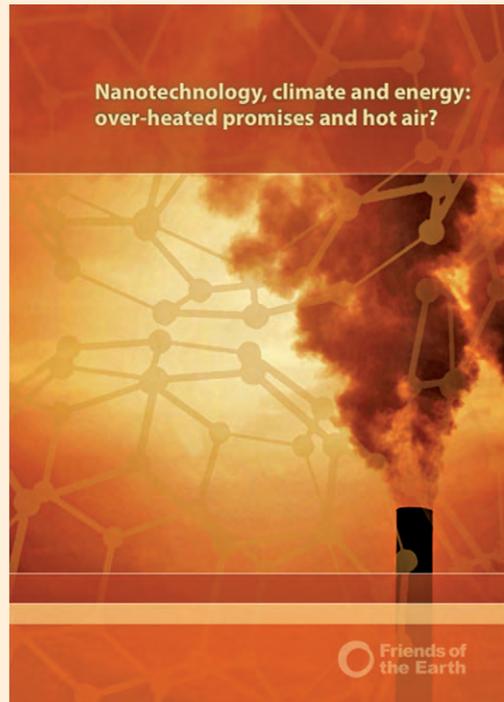
§

Disponible en: <www.etcgroup.org/upload/publication/pdf_file/nano_big4web.pdf>.

NANOTECHNOLOGY, CLIMATE AND ENERGY: OVER-HEATED PROMISES AND HOT AIR? **FRIENDS OF THE EARTH AUSTRALIA** **AUSTRALIA, 2010**

El informe argumenta que las afirmaciones de la industria e impulsores de la nanotecnología en aplicaciones para abatir el cambio climático, la sobreexplotación de recursos naturales, la contaminación o la disminución en la disponibilidad de agua en ciertas regiones, han caído en el rango de promesas exageradas al tiempo que el grado de avance en su desarrollo ha sido mínimo. Las promesas y los resultados no coinciden, precisa Friends of the Earth. Y más aún, denuncia que muchos recursos han sido gastados por los gobiernos EUA, Australia, Reino Unido, México, Japón y Arabia Saudita en investigaciones que lejos de ser verdes, buscan mejorar o ampliar la explotación petrolera y de gas. También, empresas como Halliburton, Shell, BP America, Exxon Mobil y Petrobras han establecido un consorcio colectivo para financiar tales investigaciones. Al mismo tiempo, el desarrollo de otras formas de energía (alternativa) ha sido muy por debajo de lo esperado. Las estimaciones del Consejo de Asesores del Presidente de EUA calcula que en 2009 menos del 1% de los productos nano salieron del sector energía y medio ambiente.

Los cálculos sobre la cantidad de energía que el propio sector emplea precisan ser muy elevados, lo que coloca al sector como importante y potencial contribuyente de gases contaminantes. La manufactura de nanofibras de carbono se estima entre 13 y 50 veces mayor que la obtención de aluminio, un metal que resulta de la transformación de la bauxita por un proceso de electrólisis altamente demandante de energía eléctrica. Otra comparación es con el acero que en pesos iguales, requiere entre 95 y 360 veces más energía que la producción de tales nanofibras. Se precisa que incluso algunos investigadores de EUA han argumentado que los nanotubos de carbono de una sola pared son los materiales más in-



tensivos en el uso de energía que la humanidad conoce. Esta característica hace cuestionar las aplicaciones nanotecnológicas en el sector energético-ambiental en tanto su viabilidad si se mira desde su análisis de ciclo de vida donde la energía no sólo es importante y tiene gran peso sino también el agua y el uso de solventes. Los balances entre el beneficio obtenido y los costos de su producción pueden resultar negativos. A ello se deben sumar los potenciales riesgos ambientales y a la salud.

Por lo indicado, para Friends of the Earth la nanotecnología no es una salida para continuar con un comportamiento de producción y con-

sumo de *business as usual*. Tal creencia, es en el mejor de los casos, buenos deseos que, sin embargo, pueden verse como mero discurso verde. Si bien la nanotecnología es una poderosa tecnología que tiene el potencial de ofrecer novedosas aproximaciones y métodos para obtener, usar y almacenar energía, afirma Friends of the Earth, tal innovación no debe llevar, como parece in-

dicar la actual tendencia, a mantener e incluso ahondar la actual dependencia de la economía mundial en energías fósiles y químicos tóxicos.

§

Disponible en: <www.foeeurope.org/publications/2010/nano_climate_energy_nov2010.pdf>.

CATÁLOGO DE PATENTES DE INVENCIÓN SOLICITADAS DIRECCIÓN GENERAL DE EVALUACIÓN INSTITUCIONAL, UNAM MÉXICO, 2010

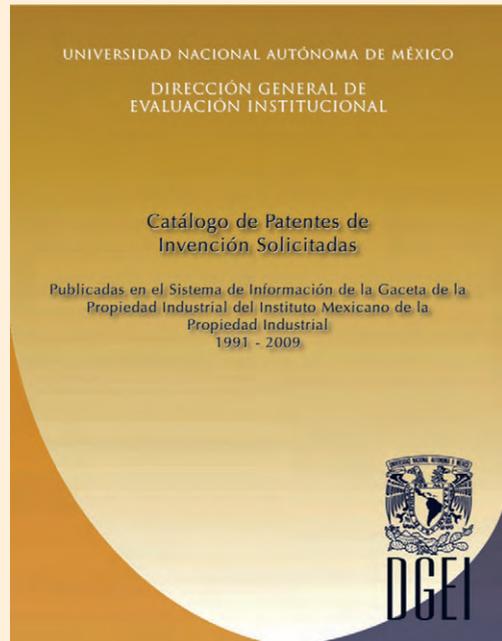
El catálogo es una fuente de consulta, permite revisar las contribuciones de las universidades y de otras entidades de investigación en el país en innovación tecnológica. Precisa que entre 1991 y 2009 la UNAM ha sido, después del Instituto Mexicano del Petróleo, la entidad que más ha solicitado y obtenido patentes ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI). Esta casa de estudios tramitó 139 patentes y recibió 121 aprobaciones o el 14.8% del total nacional que se colocó en 1,108 solicitudes de patentes y 816 otorgadas.

La UNAM es seguida por la Universidad Autónoma Metropolitana y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), con 83 patentes solicitadas y 52 otorgadas para la primera institución, y 83 y 47 para el Cinvestav. Mientras, por ejemplo, los centros de investigación SEP-Conacyt han solicitado 45 patentes y han conseguido sólo nueve.

En materia de patentes en nanotecnología o que hacen uso de procesos nanotecnológicos, se identifican veintidós (tres de ellas presentadas por dos instituciones en simultáneo).

La UNAM ha solicitado en 2008 la patente MX/A/2008/008681 sobre composición de un producto antineoplásico e inmunorregulador y su uso para el tratamiento de cáncer cérvico uterino en el que las dosis están contenidas en "nanocarreadores". También solicitó la patente PA/A/2006/001165 sobre un cabezal mezclador estático para el procesamiento y producción de nanocompuestos termoplásticos con arcillas. También ha recibido exitosamente la patente PA/A/2003/01800 sobre un método para obtener películas y laminados nanocompuestos de termoplásticos y arcillas, así como la patente MX/2007/012200 sobre un método para sintetizar magnetita en tamaño nanométrico por coprecipitación en medio básico.

Por su parte, la UAM recibió una patente relativa a reservorios de titania nanoestructurados



por método de sol-gel para uso en la liberación controlada de fármacos en el sistema nervioso central y métodos de síntesis. Ha solicitado otra de un sistema de recuperación de calor que se basa en la combinación de una emulsión de aceite térmico y cobre nanoparticulado especialmente preparado y una cama de tubos para el calentamiento de agua a alta presión.

La Universidad Autónoma de Nuevo León solicitó la patente sobre un proceso de elaboración de nanocompuestos de quitosano con nanopartículas núcleo-coraza de magnetita-plata con potenciales aplicaciones en electricidad, electrónica, médicas y biológicas. También vinculada a la anterior, otra más sobre precipitación de óxidos de hierro desde soluciones sólidas de quitosano para la obtención de nanocompuestos. También ha solicitado una patente relaciona-

da con un método de obtención por irradiación de microondas de nanotubos de carbono alineados con partículas de hierro encapsulado y otra sobre un método para la producción de nanotubos de carbono mediante irradiación de microondas.

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla solicitó una patente relativa a una técnica novedosa para la incorporación y ensamblaje de nanopartículas metálicas sobre sustratos sólidos. Por su lado la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ha solicitado la patente sobre un procedimiento para la producción de nanopartículas metálicas utilizando órganos vegetales aislados y otra sobre un sistema para la producción biológica de nanocristales de plata y otros metales pesados en invernadero, túnel, microtúnel o casa sombra, utilizando monocotiledóneas en un sistema hidropónico.

El Instituto Mexicano del Petróleo solicitó derechos sobre la composición catalítica para el hidropcesamiento de fracciones ligeras e intermedias del petróleo (con un material nanoestructurado unidimensional); sobre un material adsorbente selectivo de compuestos nitrogenados o azufrados en fracciones de hidrocarburos del petróleo y procedimiento de aplicación y cuya composición es de morfología de nanofibras o nanotubos de un óxido inorgánico; sobre un material de óxido de titanio nanoestructura-

do y su procedimiento para su obtención; sobre un procedimiento para la preparación de nanotubos de disulfuro de molibdeno y de tungsteno con estructura tipo fullerenos inorgánicos; sobre un proceso para al obtención de catalizadores de cerio y litio soportados en óxidos mixtos nanocristalinos básicos tipo hidrotalcitas; sobre un proceso para la obtención de catalizadores de paladio soportados en óxidos mixtos nanocristalinos; sobre un método de mejoramiento de las condiciones de reducción de catalizadores tipo esquelatales Niquel-Raney, con tamaño de cristalitas de dimensiones nanométricas, e hidrogenación de hidrocarburos aromáticos mediante catalizadores obtenidos por aleado mecánico. Todas están en proceso de evaluación para su eventual aprobación.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas se suma en el minúsculo grupo de nano-patentes con una solicitud sobre un procedimiento para la síntesis de materiales nanométricos empleados para la adsorción de gases ácidos emitidos por centrales termoeléctricas. El Sistema de Centros Públicos de Investigación del Conacyt ha solicitado derechos sobre una composición antimicrobiana basada en polímeros asociativos y su método de obtención.

§

Disponible en: <www.dgei.unam.mx/patentes/catalogo_general.pdf>.

INSTRUCTIVO PARA AUTORES

MUNDO NANO. REVISTA INTERDISCIPLINARIA EN NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA INVITA A ENVIAR COLABORACIONES PARA SU SIGUIENTE NÚMERO.

LAS COLABORACIONES DEBEN AJUSTARSE AL OBJETIVO PRINCIPAL DE LA REVISTA, ESTO ES, DISEMINAR LOS AVANCES Y RESULTADOS DEL QUEHACER CIENTÍFICO Y HUMANÍSTICO EN LAS ÁREAS DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA POR MEDIO DE ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN ESCRITOS EN ESPAÑOL. ESTA PUBLICACIÓN ESTÁ DIRIGIDA A UN PÚBLICO INTERESADO EN AUMENTAR SUS CONOCIMIENTOS SOBRE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA. DESEAMOS INCLUIR ENTRE NUESTROS LECTORES TANTO A PROFESIONISTAS COMO A ESTUDIANTES. LA REVISTA ESTÁ ORGANIZADA EN LAS SIGUIENTES SECCIONES:

CARTAS DE LOS LECTORES

CARTAS DE LOS LECTORES CON SUGERENCIAS, COMENTARIOS O CRÍTICAS. COMENTARIOS SOBRE ARTÍCULOS APARECIDOS EN NÚMEROS ANTERIORES DE LA REVISTA.

NOTICIAS

NOTAS BREVES QUE EXPLIQUEN DESCUBRIMIENTOS CIENTÍFICOS, ACTOS ACADÉMICOS, RECONOCIMIENTOS IMPORTANTES OTORGADOS.

ARTÍCULOS

ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN SOBRE ASPECTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS, POLÍTICO-ECONÓMICOS, ÉTICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES DE LAS NANOCIENCIAS Y LA NANOTECNOLOGÍA. DEBEN PLANTEAR ASPECTOS ACTUALES DEL TEMA ESCOGIDO Y DAR TODA LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA QUE UN LECTOR NO ESPECIALISTA EN EL TEMA LO PUEDA ENTENDER. SE DEBERÁ HACER HINCAPIÉ EN LAS CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES Y MANTENER UNA ALTA CALIDAD DE CONTENIDO Y ANÁLISIS.

RESEÑAS DE LIBROS

RESEÑAS SOBRE LIBROS PUBLICADOS RECIENTEMENTE EN EL ÁREA DE NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA.

IMÁGENES

SE PUBLICARÁN LAS MEJORES FOTOS O ILUSTRACIONES EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA, LAS CUALES SERÁN ESCOGIDAS POR EL COMITÉ EDITORIAL.

MECANISMO EDITORIAL

- ▼ I TODA CONTRIBUCIÓN SERÁ EVALUADA POR EXPERTOS EN LA MATERIA. LOS CRITERIOS QUE SE APLICARÁN PARA DECIDIR SOBRE LA PUBLICACIÓN DEL MANUSCRITO SERÁN LA CALIDAD CIENTÍFICA DEL TRABAJO, LA PRECISIÓN DE LA INFORMACIÓN, EL INTERÉS GENERAL DEL TEMA Y EL LENGUAJE CLARO Y COMPRENSIBLE UTILIZADO EN LA REDACCIÓN. LOS TRABAJOS ACEPTADOS SERÁN REVISADOS POR UN EDITOR DE ESTILO. LA VERSIÓN FINAL DEL ARTÍCULO DEBERÁ SER APROBADA POR EL AUTOR, SÓLO EN CASO DE HABER CAMBIOS SUSTANCIALES. LOS ARTÍCULOS DEBERÁN SER ENVIADOS POR CORREO ELECTRÓNICO A AMBOS EDITORES CON COPIA AL EDITOR ASOCIADO DE LA REVISTA MÁS AFÍN AL TEMA DEL ARTÍCULO Y CON COPIA A MONDON@CNYN.UNAM.MX.

▼ II LOS MANUSCRITOS CUMPLIRÁN CON LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS:

- A) ESTAR ESCRITOS EN MICROSOFT WORD, EN PÁGINA TAMAÑO CARTA, Y TIPOGRAFÍA TIMES NEW ROMAN EN 12 PUNTOS, A ESPACIO Y MEDIO. TAMAÑO MÁXIMO DE LAS CONTRIBUCIONES: NOTICIAS, UNA PÁGINA; CARTAS DE LOS LECTORES, DOS PÁGINAS; RESEÑAS DE LIBROS, TRES PÁGINAS; ARTÍCULOS COMPLETOS, QUINCE PÁGINAS.
- B) EN LA PRIMERA PÁGINA DEBERÁ APARECER EL TÍTULO DEL ARTÍCULO, EL CUAL DEBERÁ SER CORTO Y ATRACTIVO; EL NOMBRE DEL AUTOR O AUTORES; EL DE SUS INSTITUCIONES DE ADSCRIPCIÓN CON LAS DIRECCIONES POSTALES Y ELECTRÓNICAS, ASÍ COMO LOS NÚMEROS TELEFÓNICOS Y DE FAX.
- C) ENVIAR UN BREVE ANEXO QUE CONTENGA: RESUMEN DEL ARTÍCULO, IMPORTANCIA DE SU DIVULGACIÓN Y UN RESUMEN CURRICULAR DE CADA AUTOR QUE INCLUYA: NOMBRE, GRADO ACADÉMICO O EXPERIENCIA PROFESIONAL, NÚMERO DE PUBLICACIONES, DISTINCIONES Y PROYECTOS MÁS RELEVANTES.
- D) LAS REFERENCIAS, DESTINADAS A AMPLIAR LA INFORMACIÓN QUE SE PROPORCIONA AL LECTOR DEBERÁN SER CITADAS EN EL TEXTO. LAS FICHAS BIBLIOGRÁFICAS CORRESPONDIENTES SERÁN AGRUPADAS AL FINAL DEL ARTÍCULO, EN ORDEN ALFABÉTICO. EJEMPLOS:
 1. ARTÍCULOS EN REVISTAS (NO SE ABREVIEN LOS TÍTULOS NI DE LOS ARTÍCULOS NI DE LAS REVISTAS):
N. TAKEUCHI, N. 1998. "CÁLCULOS DE PRIMEROS PRINCIPIOS: UN MÉTODO ALTERNATIVO PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES". *Ciencia y Desarrollo*, vol. 26, núm. 142, 18.
 2. LIBROS:
DELGADO, G.C. 2008. *GUERRA POR LO INVISIBLE: NEGOCIO, IMPLICACIONES Y RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGÍA*. CEIICH, UNAM. MÉXICO.
 3. INTERNET.
NOBELPRICE.ORG. 2007. THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 1986.
EN: WWW.NOBELPRIZE.ORG/NOBEL_PRIZES/PHYSICS/LAUREATES/1986/PRESS.HTML.
 4. EN EL CUERPO DEL TEXTO, LAS REFERENCIAS DEBERÁN IR COMO EN EL SIGUIENTE EJEMPLO:
"...Y A LOS LENGUAJES COMUNES PROPUESTOS (AMOZURRUTIA, 2008A) COMO LA EPISTEMOLOGÍA..."
SI SON VARIOS AUTORES, LA REFERENCIA EN EL CUERPO DEL TEXTO IRÁ:
(GARCÍA-SÁNCHEZ ET AL., 2005; SMITH, 2000).
 5. LAS NOTAS SERÁN SÓLO EXPLICATIVAS, O PARA AMPLIAR CIERTA INFORMACIÓN.
- E) SE RECOMIENDA LA INCLUSIÓN DE GRÁFICAS Y FIGURAS. ÉSTAS DEBERÁN SER ENVIADAS POR CORREO ELECTRÓNICO, EN UN ARCHIVO SEPARADO AL DEL TEXTO, EN FORMATOS TIF O JPG, CON UN MÍNIMO DE RESOLUCIÓN DE 300 PÍXELES POR PULGADA, Y ESTAR ACOMPAÑADAS POR SU RESPECTIVA FUENTE.

EVENTOS

▼ 21 y 22 de febrero de 2011

NanoBio Medica. Congreso y Expo 2011

Milton Jorge International



WORLD TRADE CENTER. MÉXICO, D.F.
<WWW.NANOBIOMEDICA.COM>

▼ 27 de febrero-2 de marzo de 2011

Nanotech Insight



CAIRO, EGIPTO
<WWW.NANOTECHINSIGHT.NET/CONF/NANOINSIGHT/11/>

▼ 11 al 14 de abril de 2011

ImagineNano



BILBAO EXHIBITION CENTRE. BILBAO, ESPAÑA
<WWW.IMAGENANO.COM>

▼ 30 de mayo-1 de junio de 2011

EuroNanoForum 2011



WORLD TRADE CENTER. BUDAPEST, HUNGRÍA
<WWW.EURONANOFORUM2011.EU>

▼ 7-9 de junio de 2011

NanoMaterials 2011

Inspiring Commercial Success of Nanotechnology in Europe



HOTEL RUSSELL. LONDRES, REINO UNIDO
<WWW.NANOMATERIALS-CONFERENCE.COM>

▼ 7-9 de Junio de 2011

Nanotech China

Shanghai Everbright Convention & Exhibition Center



SHANGAI, CHINA.
<WWW.NANOTECHCHINA.ORG>

▼ 28 de noviembre al 2 de diciembre de 2011

Zing Conference

Conferencia en Nanomateriales 2011



PUERTO MORELOS, MÉXICO
<WWW.ZINGCONFERENCES.COM/INDEX.CFM?PAGE=CONFERENCE&INTCONFERENCEID=62&TYPE=CONFERENCE>

▼ 13-14 de septiembre de 2011

Nanopolímeros 2011



ORGANIZADO POR ISMITHERS, ES EL TERCER ENCUENTRO REALIZADO EN EL CAMPO DE LOS NANOPOLÍMEROS, E INCLUYE TEMAS COMO COMPONENTES Y PELÍCULAS POLIMÉRICAS, NANOBIPOLÍMEROS, NANOCOMPOSITES, E IMPLICACIONES Y RIESGOS AMBIENTALES, ENTRE OTROS.

DÜSSELDORF, ALEMANIA
<WWW.ISMITHERS.NET/CONFERENCES/XNAN11/NANOPOLYMERS-2011>

