



Revista  
Interdisciplinaria  
en Nanociencia  
y Nanotecnología

Vol. 1, No. 1, Noviembre de 2008

- 
- **Del ADN a los nanomateriales**
  - **Nanoquímica**
  - **Nanoética**
  - **Economía 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

## MUNDO NANO

**Dr. Gian Carlo Delgado Ramos** •  
gandelgado@unam.mx

### Editores

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

### Comité Editorial

#### Física (Teoría)

**Dr. Sergio Ulloa** • ulloa@ohio.edu | **Dr. Luis Mochán Backal** • mochan@em.fis.unam.mx

#### Física (Experimental)

**Dr. Isaac Hernández Calderón** • Isaac.Hernandez@fis.cinvestav.mx

#### Ingeniería

**Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro** • SALcocerM@iingen.unam.mx

#### Microscopía

**Dr. Miguel José Yacamán** • miguel.yacaman@utsa.edu

#### Catálisis

**Dra. Gabriela Díaz Guerrero** • diaz@fisica.unam.mx

#### Materiales

**Dr. Roberto Escudero Derat** • escu@servidor.unam.mx | **Dr. José Saniger Blesa** • jose.saniger@ccadet.unam.mx

#### Filosofía de la Ciencia

**Dr. León Olivé Morett** • olive@servidor.unam.mx

**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



es una publicación semestral de la Universidad Nacional Autónoma de México, editada por el 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. Vol. 1, No. 1, México, noviembre de 2008. D.R. © Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología. Registro en trámite.

Diseño: Angeles Alegre Schettino, Departamento de Publicaciones del CEIICH-UNAM.

Impreso en la Sección de Comunicación Gráfica y Servicios Editoriales del CCADET-UNAM

www.mundonano.unam.mx

Correspondencia:

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

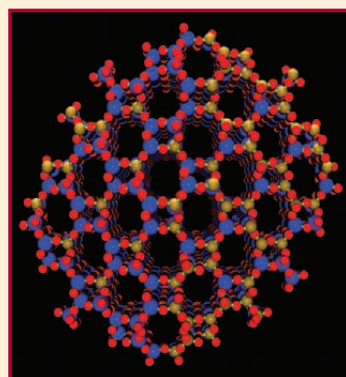


Imagen de la portada: estructura atómica de una sección de una zeolita.

# CONTENIDO

## 3 EDITORIAL

## 4 CARTAS

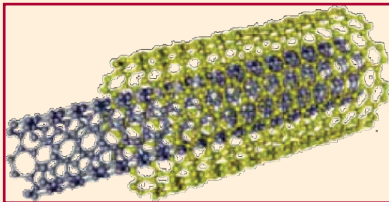
## 7 NOTICIAS

### ARTÍCULOS

- 13 Sólidos y nanoestructuras luminiscentes.  
M. Herrera-Zaldivar y J. Valenzuela-Benavides



- 21 La refracción negativa y los metamateriales: los nuevos materiales para dispositivos ópticos.  
Martha A. Palomino Ovando y Gregorio H. Cocolezzi
- 33 Del ADN a los nanomateriales.  
M. J. Oviedo-Bandera<sup>1</sup>, A.B. Castro-Ceseña y E.C. Samano



- 45 Nanoquímica: ingeniería de nanomateriales.  
Gabriel Alonso-Núñez

- 51 Conmutadores ópticos no lineales e información cuántica a partir de nanocompositos metálicos anisotrópicos  
Alicia Oliver y Jorge Alejandro Reyes-Esqueda

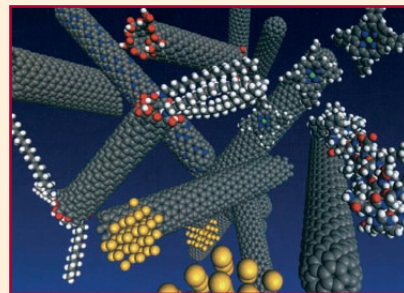


- 61 Nanoética buena - nanotecnología buena  
Roger Strand y Rune Nydal
- 81 Entrando en el mundo nano  
Alfred Nordmann
- 87 Economía política de la nanotecnología  
Gian Carlo Delgado Ramos
- 95 ¿Qué es el Foro Consultivo?

### RESEÑA

- 105 Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología  
por José A. Amozurrutia

### 113 LIBROS



- 117 INSTRUCTIVO PARA AUTORES



**E**n diciembre de 1959, el profesor Richard Feynman (ganador del Premio Nóbel de Física en 1965 por su trabajo sobre la electrodinámica cuántica) presentó su conferencia “Hay suficiente espacio en el fondo (*There is Plenty of Room at Bottom*)” en el Instituto Tecnológico de California. “De lo que les quiero hablar es del problema de manipular y controlar cosas en la escala de lo pequeño...”, dijo.

Feynman explicó que ninguna ley física impedía que se pudiesen realizar avances tales como miniaturizar las computadoras, almacenar la información de todos los libros existentes en un cubo del tamaño de una partícula de polvo o construir máquinas con átomos y moléculas. Según sus palabras, se trataba de “...un campo que tendrá un número enorme de aplicaciones técnicas”.

Feynman estaba adelantado a sus tiempos. En ese entonces no se contaban con las herramientas para el trabajo que sugería. Alrededor de la década de 1980, la situación comenzó a cambiar y hoy ya tenemos la capacidad de ver, medir y manipular átomos y moléculas. La nanociencia es el estudio de los procesos fundamentales que ocurren en las estructuras de un tamaño entre 1 y 100 nanómetros (un nanómetro es la milmillonésima parte de un metro), las cuales se conocen como nanoestructuras. La nanotecnología es el área de investigación que estudia, diseña y fabrica materiales a escalas nanoscópicas y los usa para alguna aplicación práctica.

Esta manipulación de la materia, a escala nanométrica, ya comienza a ser una poderosa plataforma de novedosas aplicaciones, las cuales tienen el potencial de impactar prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas. Las expectativas son tales que se piensa que estamos ante una nueva revolución tecnológica. En tal sentido y considerando que el desarrollo de la ciencia y la tecnología del siglo

xxi se torna cada vez más complejo, se estima importante tener en México un medio para presentar y comunicar, en un contexto amplio, abierto e interdisciplinario, los principales avances, debates y perspectivas de las nanociencias y la nanotecnología en nuestro país y el mundo.

*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* es, a saber, una de las primeras publicaciones en Español que se constituye como una iniciativa impulsada por profesionales universitarios de las ciencias exactas, las ciencias sociales y las humanidades.

Surge de la inminente necesidad de impulsar un diálogo interdisciplinario de calidad sobre los avances reales, promesas e implicaciones de la nanotecnología con el objetivo de enriquecer la toma de decisiones nacionales referentes a la maximización y distribución de beneficios, la definición de responsabilidades y la minimización de costos innecesarios o indeseados.

*Mundo Nano*, busca colocarse en la vanguardia del debate científico-social al presentar avances y resultados de investigación de calidad de especialistas provenientes de las ciencias exactas, las ciencias sociales y las humanidades, del sector empresarial, de la esfera política; etcétera.

Es una iniciativa del Programa *El Mundo en el Siglo xxi* del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades; del Centro de Nanociencia y Nanotecnología; del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y del Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental; todos de la Universidad Nacional Autónoma de México.

GIAN CARLO DELGADO  
NOBORU TAKEUCHI  
*Editores*



## Estimulando la cooperación en investigación nanotecnológica entre Europa y América Latina

INEKE MALSCH\*

La Comisión Europea desea estimular la cooperación en el desarrollo de la ciencia y tecnología entre investigadores de Europa y otras partes del mundo. Para impulsarla, los investigadores con origen de alguno de los países miembro del International Cooperation Partner Countries (ICPC, por sus siglas en Inglés)<sup>1</sup> fuera de la Unión Europea, pueden participar en proyectos de investigación financiados por ésta bajo el Séptimo Programa Marco para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico (FP7, por sus siglas en Inglés). Los participantes de América Latina son elegibles aunque deben argumentar su contribución a las metas del FP7.

La falta de visibilidad de los investigadores latinoamericanos especializados en nanociencia y la nanotecnología en Europa, y la débil conciencia acerca de las oportunidades de financiación de la Unión Europea en América Latina, son los principales cuellos de botella que obstaculizan la cooperación. Para superar estos problemas, la Unión Europea financia acciones de apoyo, incluyendo el proyecto *NanoForum Unión Europea – América Latina*. Este proyecto ha organizado misiones y talleres en México y Brasil para identificar grupos de investigación, empresas y actividades del gobierno en nanociencias y nanotecnologías, con el fin de estimular la cooperación en la investigación. Aún más, 21 investigadores de diferentes países de América Latina han sido invitados a visitar un centro europeo de investigación en nanotecnología por un lapso máximo de tres meses a modo de explorar vías de colaboración de largo plazo. Son catorce investigadores mexicanos, tres argentinos, dos brasileños, uno colombiano y uno chileno.

Como ejercicio de seguimiento del proyecto, se ha realizado una breve visita a la comunidad de na-

notecnólogos de Argentina en noviembre de 2007. Los informes de todos los eventos son publicados en la página del proyecto ([www.nanoforum.eu](http://www.nanoforum.eu)), así como en la de NanoForum ([www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)).

En 2008, el proyecto NanoNet del ICPC empezó. Éste es también financiado por la Unión Europea y tiene por objeto el desarrollo de:

- un repositorio electrónico, de acceso vía Internet, de publicaciones en nanociencia y nanotecnología.
- una base de datos de investigadores.
- un foro en línea.

Estos instrumentos están destinados a informar y facilitar la creación de redes entre la Unión Europea y el desarrollo de la investigación y la tecnología de los países miembros del ICPC. El proyecto tendrá una duración de cuatro años y es coordinado por el Instituto de Nanotecnología del Reino Unido ([www.nano.org.uk](http://www.nano.org.uk)). Entre los resultados esperados está el paquete de informes anuales sobre nanociencias y nanotecnologías en América Latina. Los investigadores de dicha región están, por tanto, invitados a presentar resultados de investigación de acceso abierto, así como los perfiles de sus grupos de investigación e intereses personales. El ICPC-NanoNet también organizará seminarios anuales que estarán abiertos a la participación de usuarios remotos a través de Internet.

\* Administradora técnica del proyecto NanoForum Unión Europea-América Latina y directora de Malsch TechnoValuation (Holanda; [www.malsch.demon.nl](http://www.malsch.demon.nl)).

<sup>1</sup> Para consultar la lista del ICPC, vea: [http://cordis.europa.eu/fp7/who\\_en.html#countries](http://cordis.europa.eu/fp7/who_en.html#countries)

## Nueva Licenciatura en Ingeniería en Nanotecnología en Ensenada

Laura Viana Castrillón\*

Quiero hacer de su conocimiento que se encuentra en proceso el desarrollo de una nueva licenciatura de la UNAM que será denominada "Ingeniería en Nanotecnología". Dicha licenciatura se impartirá en el recién creado Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM (CNYN), que se ubica en Ensenada, Baja California y esperamos poder recibir a la primera generación de estudiantes durante el segundo semestre del 2009.

El CNYN tiene como objetivo realizar investigación de vanguardia en Física Teórica, Nanoestructuras, Materiales Avanzados, Físicoquímica de Nanomateriales y Nanocatálisis. Otro de sus objetivos es formar recursos humanos de alta calidad en las áreas, disciplinas y técnicas relacionadas con estos temas. El CNYN cuenta con personal calificado en los aspectos físicos y químicos de las nanociencias y con infraestructura de primer nivel, por lo que ofrece muchas oportunidades para capacitar a estudiantes en nuevas tecnologías. Su personal cuenta con experiencia docente debido a que participa en tres programas de maestría y tres de doctorado, todos inscritos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad. A la fecha se han graduado 74 doctores y el 80% de sus doctores egresados residentes en México son miembros del SNI.

El objetivo de este proyecto es crear una licenciatura de excelencia a nivel nacional. Se buscará formar profesionales que cuenten con una sólida preparación interdisciplinaria de nivel básico, con conocimientos de técnicas de análisis y manipulación de materiales, con habilidades de comunicación, liderazgo y de trabajo en equipo, con entrenamiento en la solución de problemas prácticos y con los conocimientos y conciencia social que les permitan ubicarse en su entorno con eficiencia,

responsabilidad y con espíritu de servicio. Por lo anterior, el plan de estudios incluye actividades de reto intelectual, formativas, de análisis, discusión, trabajo en equipo, para que los estudiantes aprendan a pensar, argumentar, reflexionar y decidir con responsabilidad, siendo capaces de hacerlo de forma autodidacta.

Aunque pudiera parecer que una licenciatura de Ingeniería en Nanotecnología es una carrera de alto grado de especialización, es mucho más que esto, ya que se encuentra entre la frontera de las ciencias y las ingenierías y permite que el alumno adquiera una amplia cultura científico-tecnológica y desarrolle una serie de herramientas que le permitirá ser un profesional competitivo en una amplia gama de trabajos o proseguir con estudios de posgrado, teniendo una base formativa sólida, general e interdisciplinaria, además de tener preparación de frontera en el área de las nanociencias y la nanotecnología.

La licenciatura está dirigida a estudiantes con alta capacidad analítica que gustan afrontar retos, que tienen gran imaginación, curiosidad y creatividad, que son independientes y muestran dedicación, constancia y disciplina en el trabajo, con inclinación hacia las ciencias físicas, biológicas y químicas, con interés en el ejercicio de las matemáticas y conocimientos básicos del idioma Inglés. Se espera que los alumnos dediquen 40 horas a la semana a los cursos, estudios y tareas, y que tengan disponibilidad para asistir a clases en los turnos matutino y vespertino y para prepararse en el estudio del idioma

\* Coordinadora del Proyecto Ingeniería en Nanotecnología del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM. [laura@cny.n.unam.mx](mailto:laura@cny.n.unam.mx); [www.cny.n.unam.mx](http://www.cny.n.unam.mx)



Inglés. En este sentido, se tiene contemplado poner a disposición de los alumnos, durante los primeros semestres, un laboratorio para el aprendizaje del idioma. Posteriormente, en los últimos semestres, el plan de estudios incluirá asignaturas de producción oral y escrita en Inglés técnico. Todo esto, bajo la supervisión del Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras de la UNAM.

El egresado tendrá independencia de pensamiento y creatividad, rigurosidad en la deducción aunada a un alto nivel de manejo de las matemáticas y expresión clara de forma verbal y escrita en Inglés y en Español. Podrá participar en grupos interdisciplinarios que desarrollan labores de difusión científica. Tendrá entrenamiento para resolver problemas de la vida diaria utilizando sus conocimientos científicos. Contará con conocimientos técnicos para aplicar técnicas de preparación, síntesis, caracterización, diseño y aplicación de materiales. Tendrá hábitos de trabajo apropiados para ambientes de laboratorio. El plan incluye tres ejes de asignaturas optativas en Biotecnología, Ingeniería Ambiental y Nanoestructuras, todas con énfasis especial en las aplicaciones de la nanotecnología en estos campos.

El ingreso a la Licenciatura de Ingeniería en Nanotecnología de la UNAM será indirecto. Esto

significa que para ingresar, los aspirantes deberán: i) haber concluido el ciclo de estudios inmediato anterior (bachillerato) con un promedio mínimo de siete o su equivalente; ii) ser aceptado al ciclo de licenciatura de la UNAM a cualquier carrera de las áreas de Ciencias Físico-Matemáticas, Ciencias Químico-Biológicas o de las Ingenierías, lo cual puede lograrse mediante pase reglamentado o como resultado del concurso de selección; iii) solicitar por escrito su registro en el Proceso de Selección de los Alumnos de Ingeniería en Nanotecnología, o hacer el registro por Internet en la página del CNYN; iv) ser seleccionado por la Comisión de Ingreso a la Licenciatura de Ingeniería en Nanotecnología con base en el Proceso de Ingreso establecido por dicha Comisión.

Creemos que esta licenciatura, enriquecerá la oferta académica del país y que representa una magnífica oportunidad para estudiantes con inquietudes científicas y con mentalidad práctica que tengan muchos deseos de prepararse en los temas técnicos y científicos de frontera, en un ambiente de investigación.

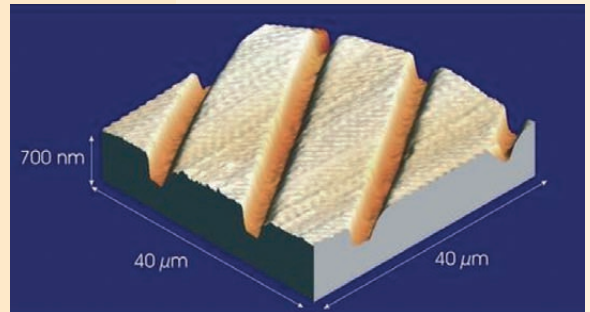
Ensenada, B.C., a 2 de septiembre de 2008.

▼ 9 de julio de 2008

## Primera imagen de una nanoestructura tomada en Marte

Ésta es una imagen tri-dimensional de calibración tomada con el microscopio de fuerza atómica de la nave especial *Phoenix* de la NASA. Muestra detalles de la superficie de un sustrato colocado en el microscopio de la nave. Servirá de ayuda para interpretar imágenes posteriores de partículas muy pequeñas del suelo marciano. El tamaño de la imagen es de 40 por 40 micras (una micra es una milésima de un milímetro, esta imagen cabría sin problemas en una pestaña). La distancia entre trincheras de la imagen mide 14 micras. Las dimensiones verticales han sido aumentadas para poder ver los detalles de la superficie, la altura de las trincheras es de 300 nanómetros. Ésta es la primera imagen de microscopía de fuerza atómica tomada en otro planeta el 9 de julio del 2008, durante el 44vo. día marciano desde que la nave *Phoenix* descendió en Marte

Primera Imagen de Marte tomada con Microscopio de Fuerza Atómica.



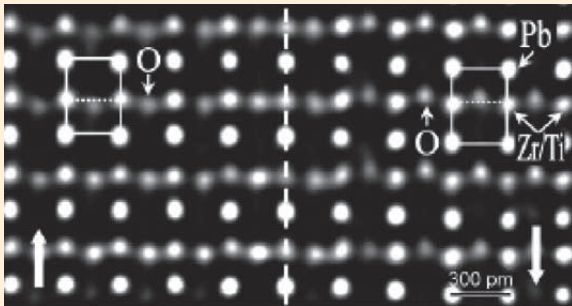
Fuente: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/University of Neuchatel

Más información en: [www.nasa.gov/mission\\_pages/phoenix/images/press/First\\_AFM\\_on\\_MARS.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/phoenix/images/press/First_AFM_on_MARS.html)

▼ 25 de julio de 2008

## Mediciones de distancias con precisión de unos pocos picómetros

Imagen de microscopía electrónica de la polarización local en el ferroeléctrico  $\text{PbZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ .



Fuente: Forschungszentrum Jülich, julio de 2008.

Con métodos de microscopía electrónica, científicos de Juelich han podido medir con precisión atómica distancias atómicas de unos pocos picómetros (un picómetro es  $10^{-12}\text{m}$  o una milésima parte de un nanómetro) usando nuevos métodos de microscopía electrónica de ultraalta resolución. Esto permite encontrar parámetros decisivos que determinan las propiedades físicas de materiales directamente a nivel atómico.



Los investigadores pudieron demostrar la polarización local en el ferroeléctrico  $\text{PbZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$  y medirla átomo por átomo. En la figura, la línea quebrada muestra la frontera entre dos áreas con diferente polarización eléctrica, las cuales se muestran con flechas. En la izquierda los átomos de oxígeno están desplazados 38 pm hacia abajo con respecto a la fila de átomos de Zr/Ti. Los átomos de Oxígeno de la derecha están desplazados a la misma distancia, pero hacia arriba.

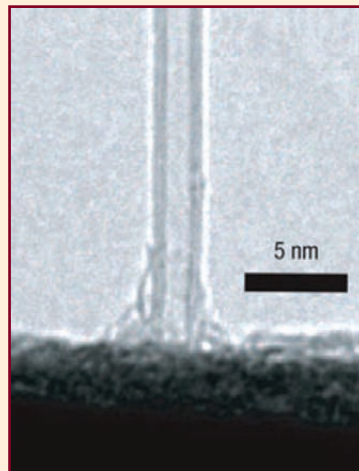
Más información en: <http://www.fz-juelich.de/portal/index.php?cmd=show&mid=615&index=163>

▼ 20 de julio de 2008

## Pesando moléculas con nanotubos

Se ha desarrollado un sensor que funciona en la nanoescala y puede pesar moléculas con precisión atómica. El dispositivo fue fabricado usando un nanotubo de carbón de dos paredes con un electrodo pegado a uno de los extremos. Las partículas que llegan al nanotubo pueden ser pesadas debido a que al aumentar la masa, la frecuencia de vibración del nanotubo disminuye. Los investigadores probaron el dispositivo pesando átomos de oro evaporado en los nanotubos. Encontraron que podían medir masas tan pequeñas como dos quintos la de un átomo de oro ( $1.3 \times 10^{-25}$  Kg) en un segundo.

Más información en: <http://www.nature.com/nnano/journal/vaop/ncurrent/abs/nnano.2008.200.html>



Fuente: Jensen *et al.* *Nature Nanotechnology*, 20 de julio de 2008.

▼ 21 de julio de 2008

## Las tenazas de un gusano marino podrían inspirar mejores materiales para naves espaciales

Este gusano de ultrafuertes mandíbulas pueden ayudar a desarrollar una nueva clase de materiales ultrafuertes y livianos para





fabricar aviones y naves espaciales. El gusano —conocido como gusano de arena (*Nereis virens*)— usa sus mandíbulas para cavar su madriguera en los sedimentos de las aguas poco profundas del Atlántico Norte. Sus mandíbulas están formadas con 90% de proteínas, las cuales no deberían ser más resistentes que una uña humana. Sin embargo, la proteína está fortificada con un metal, creando un material que es tres veces más duro y rígido que los polímeros hechos hasta ahora por el hombre. Investigadores de la Universidad de California en Santa Barbara encontraron que la mandíbula del gusano contenía grandes cantidades de un aminoácido llamado histidina. Una pequeña cantidad de zinc sirve como pegamento, enlazando las moléculas de histidina entre ellas. Estas uniones entre moléculas forman una especie de matriz reforzada que al parecer le da a las mandíbulas su fortaleza. Se sugiere que los materiales hechos por el hombre puedan ser reforzados, copiando las mandíbulas del gusano.

Imagen del gusano *Nereis virens*.

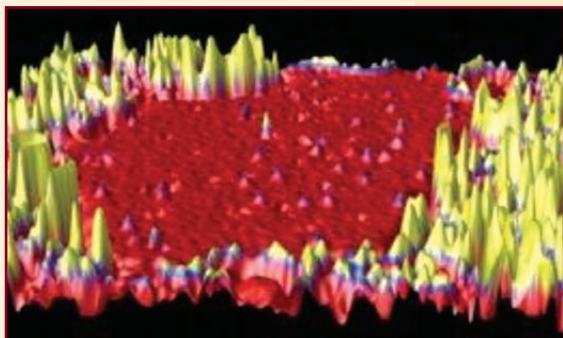


Fuente: Chris Broomell, Universidad de California en Santa Barbara.

Más información en: <http://space.newscientist.com/article/dn14365-worm-pincers-may-inspire-better-spacecraft-materials.html>

▼ 17 de julio de 2008

## Átomos livianos observados sobre una hoja de grafeno



Fuente: Meyer *et al. Nature*, 454: 319-322.

El poder observar los bloques fundamentales de la materia es una de las metas de la microscopía. El invento del microscopio de efecto túnel (STM) ha permitido ver propiedades a escala atómica de superficies sólidas. Sin embargo, el STM tiene limitaciones en sus aplicaciones debido a restricciones como conductividad de la muestra, limpieza, etc. Una técnica microscópica más antigua, la microscopía de transmisión de electrones, ha sido usada, por primera vez, para observar átomos pequeños como el carbono y el hidrógeno y



estudiar sus propiedades. Los resultados de los investigadores de la Universidad de California en Berkeley fueron publicados en la revista *Nature*.

Más información en: <http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7202/abs/nature07094.html>

▼ 18 de agosto de 2008

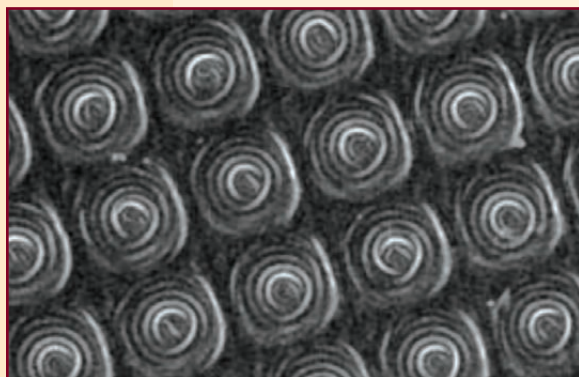
## Ayudan virus a la construcción de microbaterías

Los dispositivos electrónicos miniaturizados, como aquellos utilizados para la entrega controlada de medicinas o los relacionados a aplicaciones de laboratorio-en-un-chip, sufren de la limitación que tienen las baterías convencionales de que al miniaturizarse van perdiendo el material que, de hecho, almacena la energía, lo que, consecuentemente, disminuye su eficiencia.

El uso de nanocomponentes parece ser capaz de revertir esa condición. Investigadores de Instituto de Tecnología de Massachusetts, en Cambridge, Estados Unidos, han diseñado un método rápido para construir microbaterías por medio del uso de un virus genéticamente modificado denominado  $M_{13}$ .

El proceso, sintéticamente, es como sigue. Se desarrolló una matriz de polímero orgánico (*polidimetilsiloxano*, PDMS) que se cubrió de capas alternadas de electrolitos positivos y negativos. Después se agregó el virus, un tipo de fibra semirígida de unos cuantos nanómetros de diámetro y de un micrómetro de largo y que tiende a empaquetarse en forma de rollo, luciendo como una huella digital. El dispositivo después fue sumergido en una solución de iones de cobalto con el objetivo de cubrir los virus y crear una gran

Imagen de microscopio de electrón de barrido de los electrodos de la microbatería.



Fuente: Nam *et al.* PNAS.

área de superficie capaz de almacenar energía. El material preparado ha sido estampado, con la cara de cobalto hacia abajo, en una laminilla de platino constituyendo, de hecho, el corazón de una microbatería.

El trabajo fue publicado por *Proceedings of the National Academy of Sciences*

Más información en: [www.nature.com/news/2008/080818/full/news.2008.1047.html#B1](http://www.nature.com/news/2008/080818/full/news.2008.1047.html#B1)

▼ 21 de agosto de 2008

## 7 de cada 10 nanopatentes en EUA tienen vínculo con la Naval

Un estudio de la Universidad de Arizona reporta que, de 1976 a 2006, Estados Unidos otorgó dos veces más patentes que su homóloga europea, y seis veces más que la japonesa. En ese periodo, la Naval (estadounidense) se colocó en la tercera posición, detrás de IBM y la Universidad de California en cuanto al número de patentes otorgadas en la Oficina de Patentes y Marcas Registradas de Estados Unidos. El estudio también identifica a Eastman Kodak e IBM como los actores más activos en patentamiento de innovaciones nanotecnológicas desde la década de 1970.

El estudio fue publicado por *Nature Nanotechnology* y financiado por la Fundación Nacional para la Ciencia de Estados Unidos.

Más información en: [www.nature.com/nnano/journal/v3/n3/abs/nnano.2008.51.html](http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n3/abs/nnano.2008.51.html)  
[www.nature.com/nnano/journal/v3/n3/pdf/nnano.2008.51.pdf](http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n3/pdf/nnano.2008.51.pdf)

▼ 27 de junio de 2008

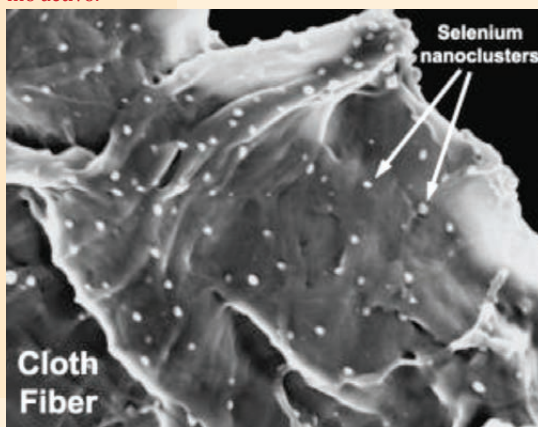
## Nanotecnología mejora los focos fluorescentes de bajo consumo

Investigadores de la Universidad de Brown diseñaron selenio nanoestructurado capaz de absorber el mercurio que desprenden los focos fluorescentes y compactos de bajo consumo (CFLs, por sus siglas en Inglés).



Como es conocido, este tipo de focos contienen entre 3 y 5 miligramos de mercurio. Mientras el foco esté intacto no ocurre ninguna emisión, pero si se rompe, el mercurio se desprende en forma de vapor. El nanotalco de selenio incrustado en una fibra que funciona como matriz, puede absorber hasta el 99% de dicho vapor y convertirlo en mercurio seleniuro biológicamente inactivo (HgSe). Según cálculos de los investigadores unos 10 miligramos de nanoselenio puede absorber el vapor de un foco fluorescente compacto.

Imagen de microscopía electrónica de la estructura interna de la fibra absorbente diseñada con nanocúmulos de selenio activo.



Fuente: Love Sarin. División de Ingeniería. Univesidad de Brown, EUA.

Más información en: <http://news.brown.edu/pressreleases/2008/06/mercurycloth08jun>

▼ 18 de agosto de 2008

## Se abren posibilidades de almacenamiento de información de ultraalta densidad

La estabilidad térmica de las nanopartículas magnéticas, crucial para el desarrollo de dispositivos de almacenamiento de información basados en el *spin* del electrón o espintrónica, puede ser mejorada por medio del depósito de una capa delgada de aluminio sobre las partículas, según notificaron investigadores de la Universidad de Cornell y Hitachi de Estados Unidos. La técnica, que también reduce el "amortiguamiento magnético" a bajas temperaturas, puede ser utilizada para producir nanopartículas útiles en diversos dispositivos espintrónicos.

Más información en: <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/35424>



## Sólidos y nanoestructuras luminiscentes

**MANUEL HERRERA-ZALDIVAR\***  
**JOSÉ VALENZUELA-BENAVIDES\***

Los sólidos, al estar formados por átomos, los cuales a su vez contienen electrones, poseen propiedades que se explican con la ganancia y pérdida de energía de sus electrones. En este trabajo se exponen, de manera simple, algunos mecanismos de ganancia y pérdida de energía de los electrones de un semiconductor que llevan a la generación de luminiscencia. Se explica en qué consiste la técnica de catodoluminiscencia (CL) en un microscopio electrónico de barrido (SEM) y se presenta a esta técnica como una herramienta en el estudio de las propiedades ópticas de las nanoestructuras semiconductoras.

La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. La luz es una de las formas en la que se manifiesta la energía y recibe el nombre científico de *radiación electromagnética*. Cuando la podemos ver con nuestros ojos la llamamos simplemente *luz visible*. La Figura 1 muestra la región visible del espectro de radiación electromagnética, la cual abarca desde el violeta (400 nm o 3.1 eV) hasta el rojo (700 nm o 1.7 eV), pasando por el azul (450 nm o 3.1 eV), verde (500 nm o 2.5 eV), amarillo (550 nm o 2.2 eV), y naranja (600 nm o 2 eV). Las magnitudes que aparecen entre paréntesis son los valores de la longitud de onda y de energía de la radiación, medidos en nanómetros (nm) y en electrón-voltios (eV), respectivamente.

Algunas veces, la luz proviene de la energía contenida en los átomos de un sólido. A esto se le conoce como el fenómeno de la luminiscencia.

Un sólido lo constituye un conjunto de átomos unidos entre sí por enlaces, que los “obligan” a mantenerse prácticamente fijos alrededor de sus

\* CENTRO DE NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, APDO. POSTAL 2681, ENSENADA, BC. 22800, MÉXICO

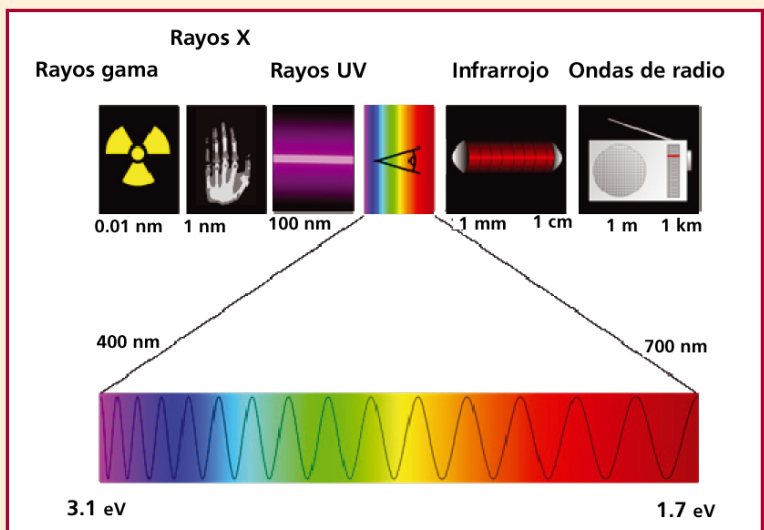


FIGURA 1. Esquema de las longitudes de onda y energías del espectro de radiación electromagnética (<[http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation)>)

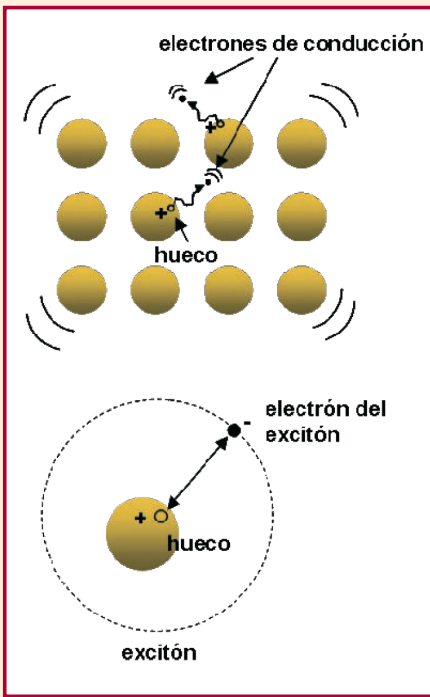
posiciones de equilibrio, reduciendo su movimiento a vibraciones alrededor de esas últimas. Un modelo muy usado para representar tales enlaces los considera como si fuesen resortes que unen a los átomos. Sin embargo, los enlaces químicos en realidad están formados por los electrones de los átomos del sólido. Cuando los enlaces son débiles, el sólido puede descomponerse fácilmente, o en otras palabras, es químicamente inestable.

Un átomo está formado por un núcleo, donde se concentra toda la carga positiva y casi toda su masa. Alrededor del núcleo, el cual es muy pequeño, se encuentran los electrones. Las regiones del espacio, en las cuales la probabilidad de encontrar al electrón es elevada, son conocidas como *orbitales atómicos* y se representan con las letras: *s, p, d, f*, etcétera.

En un sólido, los átomos poseen tanto electrones que se encuentran cerca de sus núcleos, como electrones que se encuentran lejos de ellos. A los primeros se les llama “electrones coraza” y forman una “barrera” entre los electrones alejados del núcleo y el núcleo mismo. Los electrones que quedan fuera de la coraza son llamados *electrones de valencia* y, al “sentir” una atracción eléctrica del núcleo atenuada por el efecto de la coraza (recordemos que el núcleo contiene protones con carga eléctrica positiva y que los electrones poseen carga eléctrica negativa), estos electrones se pueden separar ligeramente de un átomo para formar precisamente enlaces químicos con los átomos vecinos. Sin embargo, los electrones de valencia en ocasiones logran alejarse mucho de sus núcleos, como por ejemplo, por acción de un campo eléctrico aplicado al sólido para convertirse en electrones de conducción. Un sólido con capacidad de crear electrones de conducción por acción de un campo eléctrico se llama *conductor*. En los sólidos, en los que sus electrones de valencia no logran alejarse mucho de sus núcleos, no se formarán electrones móviles y, por tanto, el sólido será un *dieléctrico*. La naturaleza conductora o no-conductora de un sólido claramente depende del blindaje de la coraza de sus átomos. Mientras mayor sea el blindaje de esta coraza eléctrica mayor será la movilidad que puedan adquirir los electrones de valencia (Hall, 1978: 143).

Un sólido también puede ser conductor y no-conductor al mismo tiempo, aunque parezca paradójico. Estos sólidos se les llama *semi-conductores*, y la capacidad de movilidad de sus electrones de valencia depende de la energía que pueden adquirir éstos. Los electrones de valencia de un semiconductor, por un lado, “sienten” una atracción electrostática de sus núcleos atómicos, atenuada por una coraza de blindaje más bien débil; y, por otro lado, poseen una energía de movilidad propia llamada *energía cinética* que les “invita” a escapar de sus núcleos. La movilidad de los electrones de valencia de un semiconductor es muy sensible a los cambios de su temperatura. En los semiconductores la conducción eléctrica se reduce





**FIGURA 2. Esquema que representa la movilidad que adquieren los electrones de valencia al ganar energía y convertirse en electrones de conducción o formar un excitón.**

al bajar la temperatura (Shalímava, 1982: 16). Aumentar la temperatura del semiconductor equivale a incrementar su energía interna, y, por tanto, la movilidad de sus electrones. Con el aumento de la temperatura los electrones de valencia incrementan su energía cinética logrando incluso “vencer” la atracción de sus núcleos y escapar, convirtiéndose en electrones de conducción (Figura 2). En estas condiciones, el material se comporta como un conductor. En general, para que los electrones de valencia logren escapar de sus núcleos requieren ganar energía. Esta ganancia de energía se consigue aplicando al sólido ya sea calor (energía térmica), un campo eléctrico (energía eléctrica), luz (energía electromagnética), o haciéndole incidir partículas aceleradas.

Cuando los electrones de valencia de un semiconductor ganan energía suficiente para escapar de sus núcleos, dejan en sus átomos de origen un exceso de carga positiva (Figura 2). A esta carga positiva excesiva suele llamarsele *hueco*, pues representa una vacancia electrónica. Este hueco y el electrón libre forman un *par electrón-hueco*, conocido también como *excitón* debido a que es producido por una excitación energética. Un electrón de valencia (de carga negativa) que se convierte en un electrón libre al escapar de su orbital atómico “siente” una fuerza atractiva de su hueco (de carga positiva), que le impide migrar como un electrón de conducción, obligándolo a regresar a su órbita original, con lo cual pierde la energía cinética ganada, emitiéndola al espacio en forma de radiación electromagnética (luminiscencia).

La energía de esta radiación obviamente será igual a la energía que pierde el electrón de valencia durante la recombinación con un hueco. En la mayoría de los semiconductores esta energía corresponde a luz en la región visible del espectro, y muchas veces puede observarse a simple vista debido a que en un semiconductor llegan a ocurrir miles de millones de procesos de recombinación de electrones y huecos.

En un semiconductor la energía requerida para que sus electrones de valencia se conviertan en electrones de conducción es conocida como “brecha de energía”. Cada semiconductor tiene un valor característico para su brecha de energía, como se indica en la Tabla I.

La energía que los electrones de valencia pueden adquirir durante una excitación, o relajamiento, usualmente se esquematiza en lo que se conoce como *estructura de bandas* (Figura 3a). La banda de valencia representa los valores de la energía de los electrones de valencia. La banda de conducción

**TABLA I. Valores de la brecha de energía de algunos semiconductores**

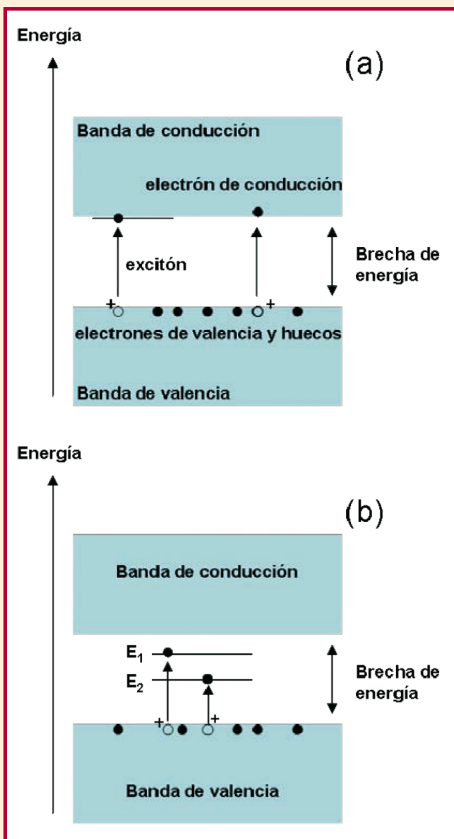
Semiconductor	Brecha de energía a temperatura ambiente
Óxido de Zinc (ZnO)	3.2 eV
Arseniuro de Galio (GaAs)	1.4 eV
Silicio (Si)	1.12 eV
Germanio (Ge)	0.67 eV
Antimoniuro de Indio (InSb)	0.16 eV

representa los valores de la energía que puede adquirir un electrón de valencia una vez que se convierte en un electrón libre, o de conducción. La brecha de energía se representa como una *región prohibida* (vacía), entre las bandas de valencia y conducción, para indicar que un electrón excitado o relajado no puede adquirir los valores de energía intermedios. La brecha de energía de los semiconductores surge por razones de la geometría del ordenamiento atómico, y por

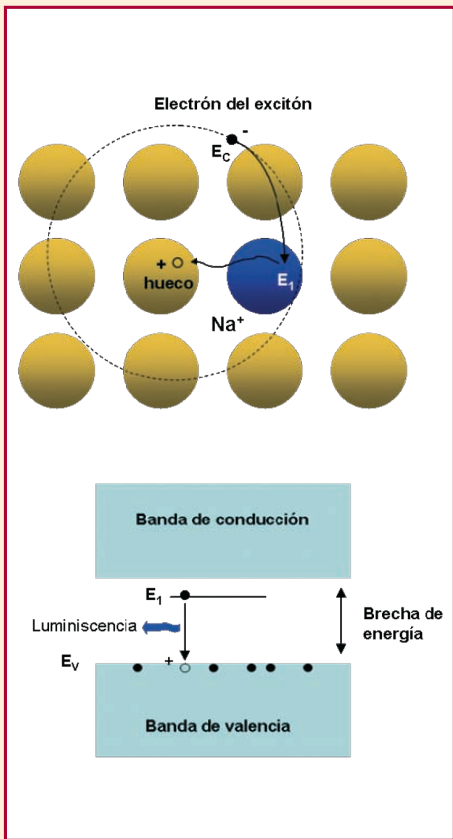
el tipo de orbitales de valencia que posee (Sutton, 1996: 101). Sin embargo, hay casos como el que se muestra en la Figura 3b, donde observamos dos líneas de energía en la región prohibida de un semiconductor. Esta estructura de bandas indica que sus electrones de valencia pueden adquirir los valores de energía  $E_1$  y  $E_2$  mientras ascienden a la banda de conducción, o cuando regresan a su banda de valencia. Estas líneas de energía aparecen en una brecha prohibida cuando los semiconductores poseen defectos cristalinos o impurezas atómicas.

Los defectos cristalinos y las impurezas de los semiconductores actúan como verdaderas trampas en el movimiento de los electrones. En la figura 4 se muestra, por ejemplo, a una impureza de un átomo ionizable de Sodio<sup>+</sup> (Na<sup>+</sup>), atrapando al electrón de excitón. El electrón atrapado adquiere la energía  $E_1$ , que es menor que la que poseía como electrón de excitón (Figura 4a). Si el electrón de valencia atrapado por el ión Na<sup>+</sup> es liberado, entonces se recombinará con un hueco, de carga positiva, para convertirse nuevamente en un electrón de valencia con energía  $E_v$ , perdiendo una energía ( $E_1 - E_v$ ) en forma de luminiscencia. Es claro que esta luminiscencia será de menor energía (de otro color) que la luminiscencia generada por una transición del electrón desde la banda de conducción hasta la banda de valencia.

La luminiscencia generada por electrones de valencia previamente excitados con luz de alta energía se denomina *foto-luminiscencia*. La producida por un campo eléctrico: *electro-luminiscencia*. La generada por una haz de electrones: *cátodo-luminiscencia*.



**FIGURA 3. (a) Esquema de las bandas de conducción y de valencia de un semiconductor. (b) Niveles de energía  $E_1$  y  $E_2$  introducidos en la brecha de energía por defectos o impurezas.**



**FIGURA 4. (a) Esquema de una impureza actuando como una trampa de electrones con energía  $E_1$ . (b) Diagrama de bandas representando la generación de luminiscencia desde el nivel  $E_1$ .**

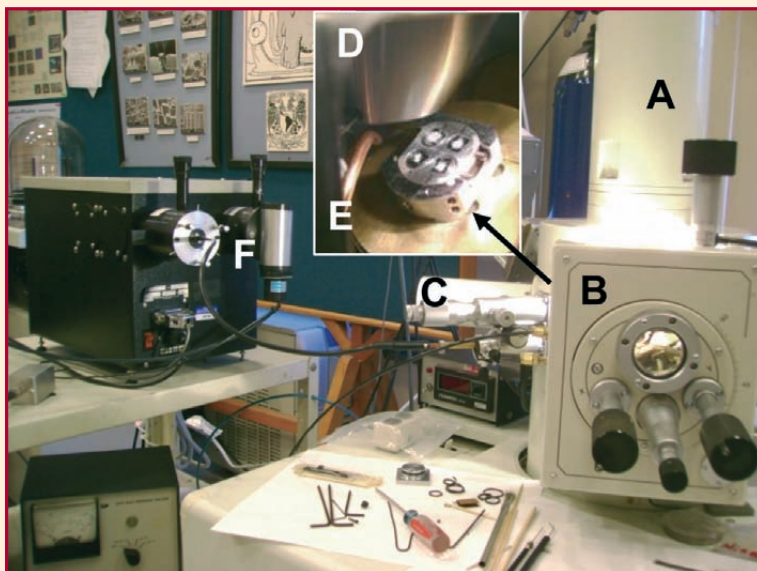
La cátodo-luminiscencia (CL) es una técnica que puede estar incorporada a un microscopio electrónico de barrido (SEM, abreviación del Inglés *Scanning Electron Microscopy*) como se muestra en la Figura 5. En un SEM, un haz de electrones incide en una pequeña región del sólido que se estudia. En esta región se hace un "barrido" de su superficie para determinar el número de electrones dispersados en una dirección dada. El detector de estos electrones (centellador en la Figura 5) está fijo dentro del microscopio y, por tanto, sólo recoge los electrones que viajan hacia ése. El número de electrones colectados durante el barrido varía de acuerdo con la topografía del sólido. Los planos cristalinicos de la superficie orientados hacia el detector, contribuyen con un aumento en el número de los electrones detectados, mientras que los planos cristalinicos no orientados hacia el detector hacen lo contrario. Asignando un valor de intensidad de electrones detectados en cada punto de la superficie del sólido se construye una imagen de su topografía, la cual puede llegar a alcanzar una resolución espacial de hasta 10 nanómetros (nm).

La energía del haz de electrones es típicamente de varios miles de electrón-voltios. Durante este proceso no toda la energía del haz de electrones incidente se transfiere a los electrones de valencia, ya que existen otros procesos que no se discutirán en este artículo. Sin embargo, gran cantidad de electrones de valencia sí son excitados en el semiconductor. La CL generada por el relajamiento energético de estos electrones puede colectarse dentro del microscopio (en un ambiente de alto vacío, esto es, a una

presión de  $10^{-5}$  Torr) mediante un arreglo óptico de lentes, o bien, mediante una fibra óptica de cuarzo (Figura 5). Esta señal óptica se debe transportar a un detector de luz, tal como un foto-diodo o un foto-multiplicador, para ser cuantificada (F en la Figura 5).

En un SEM es posible sincronizar el barrido del haz de electrones sobre una superficie con la adquisición de la señal de CL. Haciendo esto se logran asignar los valores de intensidad de luz detectada en cada punto de la superficie durante el barrido, construyendo imágenes de distribución de intensidad CL. La Figura 6(a) muestra una imagen de CL de una película semiconductor de nitruro de aluminio, indio, y galio (AlInGaN) de tan sólo 200 nm de espesor. Como se aprecia al comparar las imágenes de CL y topo-

**FIGURA 5.** Microscopio electrónico de barrido compuesto por una columna que enfoca el haz de electrones (A), cámara de análisis de la muestra (B), detector de electrones (centellador) (C), parte inferior de la columna y porta muestras, fibra óptica detector colector de la CL (D), y detector de luminiscencia tipo fotomultiplicador.

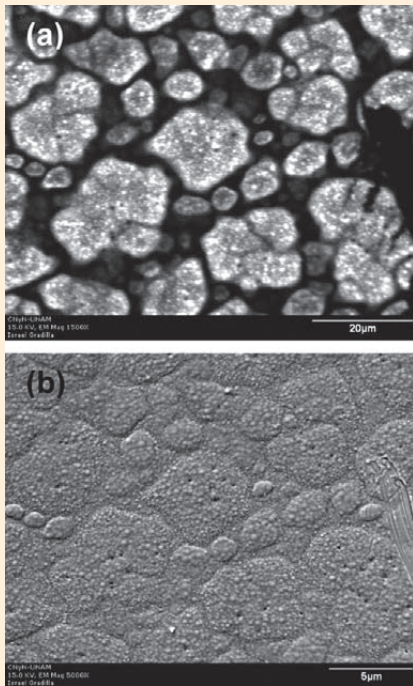


grafía (Figura 6b) las islas que componen la superficie de la película producen una intensa señal de CL. Este efecto es atribuido a un mayor contenido de Indio (In) y a una reducción de la brecha de energía del semiconductor (Herrera *et al.*, 2004).

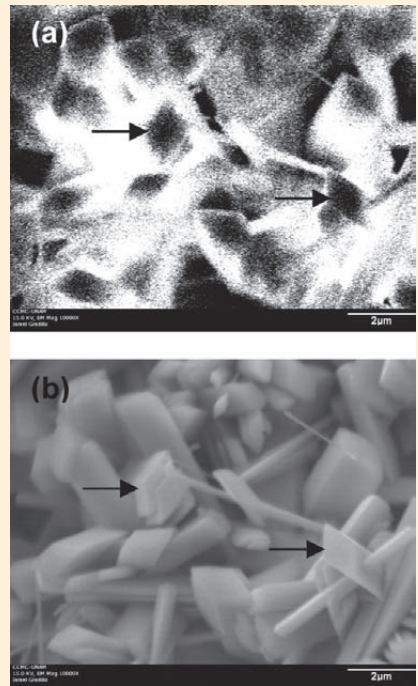
Las imágenes de CL nos permiten identificar las regiones de un material que producen poca o ninguna luminiscencia, lo cual es importante a la hora de localizar la formación de defectos cristalinos no deseados que inhiben la luminiscencia. La Figura 7 muestra micro-cristalitos de óxido de Galio ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) en forma de prismas, con nula o muy baja intensidad CL proveniente de sus tapas, en comparación con la registrada en sus caras.

La CL es una técnica poderosa en el estudio local de las propiedades ópticas de las nanoestructuras semiconductoras, debido a que su resolución espacial es de unos cuantos nanómetros. Mediante esta técnica es posible estudiar la luminiscencia a lo largo de un nano-cristalito individual, algo sumamente importante en el campo de la nanotecnología, la cual se propone fabricar dispositivos electrónicos a partir de uno sólo de estos nano-cristalitos. Las propiedades de un sólo nano-cristalito determinarán el buen funcionamiento de todo un dispositivo electrónico.

La Figura 8 es una imagen cátodo-luminiscente de nano-rodillos de óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ) (de diámetro nanométrico) la cual muestra claramente la variación de la intensidad luminiscente en las regiones nanométricas indicadas por flechas.



**FIGURA 6. (a) Imagen de cl y (b) topografía de una película semiconductor de AlInGaN.**

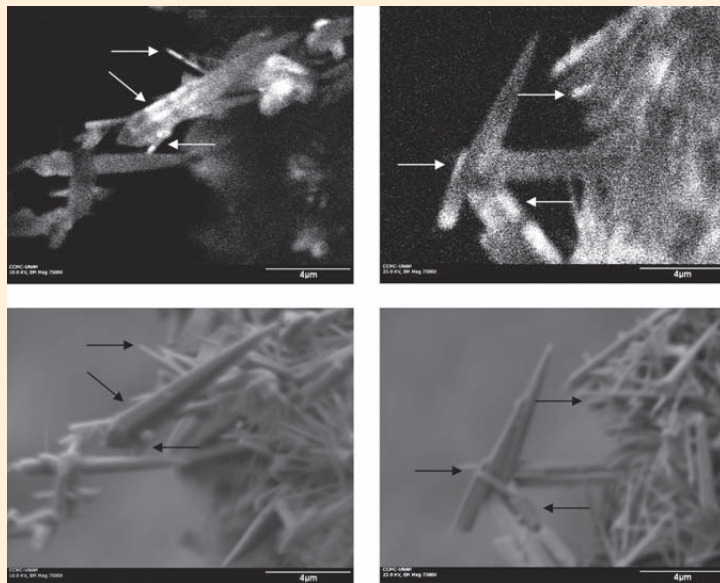


**FIGURA 7. (a) Imagen de cl y (b) de topografía cristalitas de óxido de galio con forma prismática.**

La resolución espacial de la CL que puede alcanzarse con un SEM está relacionada con la resolución máxima en la topografía que ofrece el instrumento. La resolución espacial de un SEM es determinada por la sensibilidad del instrumento para detectar variaciones en la intensidad de los electrones dispersados por el material en estudio, los cuales se usan para construir una imagen de topografía. Son electrones que han perdido energía durante la interacción con el sólido y son conocidos como *electrones secundarios*. Aunque la región de generación de los electrones secundarios tiene una profundidad de varias micras desde la superficie del sólido en donde incide el haz de electrones, solamente aquéllos con una profundidad de unos cuantos nanómetros logran escapar del sólido para ser detectados y formar la imagen de topografía. Precisamente, son los electrones secundarios los que excitan a los electrones de valencia del sólido y producen la señal de CL. Aún más, debido a que la luminiscencia es producida por la recombinación de los electrones de conducción y los huecos creados, la densidad de huecos en el sólido determinará cuánta luminiscencia es posible generar. Como



**FIGURA 8. Imágenes de CL mostrando una resolución espacial de varios nanómetros en cristales de óxido de zinc (ZnO) (González *et al.*, 2008).**



se puede uno imaginar, al poseer cargas positivas, los huecos tienen pocas posibilidades de existir en una región en donde incide un haz de electrones con miles de millones de cargas negativas. Efectivamente, se calcula que la densidad de los huecos en un semiconductor con electrones en exceso decae exponencialmente en la dirección radial del punto de incidencia del haz de electrones. Aunque esta región depende en general de la energía con que inciden los electrones del haz y de su densidad de corriente eléctrica, se calcula que es una región de tamaño inferior a la región de generación de los electrones secundarios (Yacobi, 1990), lo cual posibilita a la CL como una técnica adecuada para el estudio de las propiedades ópticas de las nanoestructuras semiconductoras.

## BIBLIOGRAFÍA

- González, A., Herrera, M., Valenzuela, J., Pal, U., Escobedo, A., (2008), enviado al *Journal of Applied Physics*.
- Hall, H. E., (1978). *Física del Estado Sólido*, Limusa, México.
- Herrera, M., Cremades, A., Piqueras, J., Stutzmann, M., y Ambacher, O (2004). *Journal of Applied Physics*. Volumen **95**, #10, 5305.
- Shalímov, K. V. (1982). *Física de los Semiconductores*, Mir, URSS.
- Sutton, A. P (1996). *Electronic Structure of Materials*, Oxford, Inglaterra.
- Yacobi, B. G. y D. B. Holt (1990). *Cathodoluminescence Microscopy of Inorganic Solids*. Plenum Press, New York, EUA.



# La refracción negativa y los metamateriales: los nuevos materiales para dispositivos ópticos

MARTHA A. PALOMINO OVANDO\*  
GREGORIO H. COCOLETZI\*\*

En este trabajo describimos el efecto novel de la refracción negativa. Esta refracción anómala puede suceder en materiales artificiales: un tipo llamado metamateriales de índice de refracción negativa, en la cual la velocidad de fase es negativa y otro tipo de material de índice de refracción positiva donde la velocidad de grupo es positiva. Describimos modelos para la construcción de los materiales y damos ejemplos ilustrativos de la refracción negativa. También mencionamos algunas posibles aplicaciones de estos nuevos materiales como la construcción de lentes con superficies planas y materiales invisibles. En la fabricación de metamateriales que funcionen con luz visible, sus componentes deben tener tamaños en la nanoescala.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los efectos ópticos más interesantes que se han estudiado en los últimos años es aquel relacionado con la refracción negativa. Este efecto anómalo lo predijo Veselago (1968) hace 40 años. Por otro lado, las propiedades ópticas de materiales se han estudiado ampliamente debido a las múltiples aplicaciones tecnológicas. En particular, los materiales artificiales (aquellos que se fabrican) han recibido mucha atención, ya que éstos se pueden diseñar con propiedades ópticas específicas, de tal forma que su aplicación práctica hace que los dispositivos sean más eficientes. Un parámetro importante para la caracterización óptica de un material es el índice de refracción (Saleh y Teich, 1991). El índice de refracción es la respuesta del material a su interacción con la radiación electromagnética (ondas electromagnéticas). En este trabajo explicaremos algunos aspectos de la interacción de la radiación electromagnética con diferentes tipos de materiales.

Debido a que hablaremos sobre la radiación electromagnética es necesario explicar este concepto. La radiación electromagnética también se le llama onda electromagnética. Una onda electromagnética (Ibid) es un ente físico el cual consta de un campo eléctrico y un campo magnético que oscilan en fase y son perpendiculares entre sí y, a su vez, son perpendiculares a la dirección en la cual se propaga la onda.<sup>1</sup> Una onda se caracteriza por una frecuencia angular ( $\omega$ ), la cual está relacionada con la longitud de onda  $\lambda$  de la siguiente manera:  $\omega = 2\pi \cdot c / \lambda$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz en el espacio vacío. Un ejemplo de onda electromagnética es la luz visible cuya longitud de onda es del orden de  $5,000 \text{ \AA}$  (angstroms),  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ cm}$ . En un medio material de índice de refracción  $n$ , la magnitud del vector de propagación de la onda  $k$  está relacionada con  $n$  y  $\omega$  por medio de la ecuación  $k = n\omega/c$ . Diferentes medios tienen diferentes índices de refracción y como una consecuencia, la propagación de la radiación electromagnética depende de estos valores. El

\* Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

\*\* Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas", Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

<sup>1</sup> Los campos eléctrico  $\vec{E}$  y magnético  $\vec{B}$  de la onda son perpendiculares al vector de propagación  $\vec{k}$ . La onda se puede representar mediante una función seno ( $\sin(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$ ) o una función coseno ( $\cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$ ), o alternativamente por una función exponencial ( $e^{i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)}$ ). En estas expresiones algebraicas  $\vec{r}$  es el vector de posición,  $\omega$  es la frecuencia angular y  $t$  es el tiempo.

índice de refracción está relacionado con dos parámetros del material, la permitividad eléctrica ( $\epsilon$ ) y la permeabilidad magnética ( $\mu$ ). Dependiendo de los valores y signos de estas cantidades, el índice de refracción puede tomar valores positivos, negativos o complejos. En ausencia de efectos de disipación o de absorción, generalmente, el índice de refracción es una cantidad real y positiva. Sin embargo, es posible construir materiales cuyo índice de refracción sea negativo, y, por tanto, las propiedades ópticas se verán modificadas.

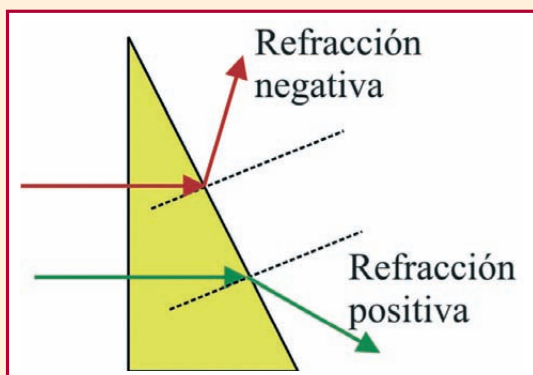
## REFRACCIÓN DE LA LUZ

Cuando un rayo de luz cruza la interface entre dos materiales distintos, la dirección del haz se modifica, este cambio depende del índice de refracción. El índice de refracción de un medio es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse en el material cuando se compara con la velocidad de la luz en el vacío. Este valor nos sirve para calcular el ángulo con que se desvía de su dirección original al atravesar la interface, usando lo que se conoce como la Ley de Snell (Saleh y Teich, 1991). El lector habrá observado cómo un lápiz sumergido parcialmente dentro de un vaso con agua parece no verse recto, esto es, se ve cortado en la frontera entre el aire y el agua. A este fenómeno se le denomina refracción y en todos los materiales conocidos hasta ahora la refracción es positiva.

## ¿QUÉ ES UN METAMATERIAL?

Victor Veselago (1968), predijo las consecuencias de la interacción de la radiación electromagnética con un material hipotético de índice de refracción negativo, el resultado sería una refracción negativa (véase Fig. 1) contrario a lo observado en todos los materiales existentes. Una pregunta fue si esta asimetría sería posible de alcanzar aunque sea en un material artificial, y se concluyó que, de existir tales materiales, presentarían características notables que modificarían todos los fenómenos electromagnéticos observados hasta la fecha.

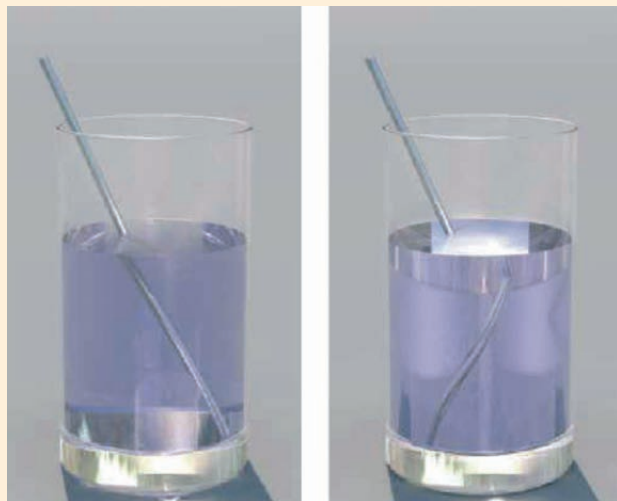
Como se ha mencionado anteriormente, el índice de refracción puede tener valores negativos, por lo que es necesario considerar que la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética sean también negativos. Surge la pregunta de cómo lo-



**FIGURA 1.** Representación esquemática de la refracción positiva y negativa de la radiación electromagnética.

grar la construcción de un material con estas características. Después de varios años de investigación, en la actualidad se sabe que aunque menos común que los materiales con índice de refracción positivo, los materiales con permitividad eléctrica y permeabilidad magnética negativas se pueden encontrar en la naturaleza. A frecuencias ópticas hay materiales con permitividad eléctrica negativa entre los que se incluyen los metales como la plata, el oro y el aluminio, mientras que materiales con permeabilidad magnética negativa, incluyen materiales con resonancia ferromagnética o sistemas anti-ferromagnéticos. Aunque estas dos propiedades son viables, la refracción negativa no se había observado. La razón por la que no se había observado este efecto es que la permitividad eléctrica negativa es posible encontrarla para algunos materiales en frecuencias muy altas, como son frecuencias ópticas (luz visible) para metales, o frecuencias del infrarrojo para semiconductores y aislantes. Por otra parte, los sistemas de resonancia magnética ocurren a baja frecuencia, es decir, los fenómenos electrónicos y magnéticos no ocurren en el mismo rango de frecuencia de manera natural. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología de materiales ha logrado diseñar sistemas donde simultáneamente estos dos parámetros sean negativos, de ello se hablará más adelante.

En materiales con índice de refracción negativo (Veselago, 1968; Pendry y Smith, 2004), conocidos como materiales izquierdos o metamateriales, los rayos de luz incidentes se curvan hacia “el lado contrario” a lo esperado, en otras palabras, se presenta la refracción negativa de la radiación electro-



**FIGURA 2.** Se muestra la comparación entre la refracción positiva (vaso de la izquierda) y la refracción negativa (vaso de la derecha). En la refracción positiva el líquido tiene índice de refracción positivo, mientras que en la refracción negativa, el índice de refracción del líquido es negativo.

**Crédito:** G. Dolling *et al.*, - (c) 2006 Optical Society of America.

magnética. Para ilustrar este fenómeno, en la figura 2 se muestra la comparación entre la refracción positiva (vaso de la izquierda) y la refracción negativa (vaso de la derecha). En el lado izquierdo se presenta la situación habitual, se trata de un líquido con índice de refracción positivo, en donde se observa que la barra introducida se curva en la misma dirección en la que se encuentra en el aire, sólo con un ángulo distinto (refracción positiva). A la derecha se muestra la situación cuando el líquido tiene un índice de refracción negativo. Lo que se aprecia es que la barra aparece como rota, inclinada en dirección opuesta a la parte que está en el aire. Además, hay otras cosas más sutiles e interesantes. En primer lugar, la parte inferior de la interfaz líquido-aire es visible, ya que los rayos emitidos hacia abajo son refractados negativamente hacia arriba. Por el mismo motivo, la parte superior del fondo del vaso no puede verse, ya que los rayos emitidos hacia arriba son refractados hacia abajo.

## EFECTO DOPPLER

A la variación de la frecuencia de una onda provocada por el movimiento del observador o de la fuente se le conoce como Efecto Doppler (Ramkrishna, 2005). Para ilustrar esto, considérese a una persona que se encuentra cerca de un equipo de sonido, el ruido producido por éste lo escuchará con una cierta frecuencia. Si la persona camina hacia el equipo, detectará una frecuencia más alta, es decir, escuchará el sonido más agudo y si se aleja del equipo, detectará una frecuencia menor, esto es, lo escuchará más grave. Este efecto también puede observarse para ondas de luz, por ejemplo, si una persona camina hacia un semáforo que tiene luz roja observará un color de mayor frecuencia, esto es, si la persona pudiese viajar a velocidades comparables con las de la luz podría llegar a ver el semáforo en verde aun cuando estuviese en rojo. El corrimiento de la frecuencia para fuentes u observadores en movimiento, del que habla el Efecto Doppler, depende de la velocidad con la que se propagan las ondas y de los objetos en movimiento relativo. Si las ondas se mueven en un material izquierdo, la velocidad quedará en sentido inverso y esto llevará a que la frecuencia calculada por el observador en movimiento se obtenga de manera inversa a la que ocurre en el caso de los materiales de índice de refracción positivo, esto es si una persona pudiese viajar a velocidades cercanas a las de la luz, un semáforo en verde lo podría ver en rojo.

## ¿CÓMO CONSTRUIR UN METAMATERIAL?

En la actualidad es posible construir metamateriales en diferentes geometrías. A continuación describiremos algunos arreglos geométricos que

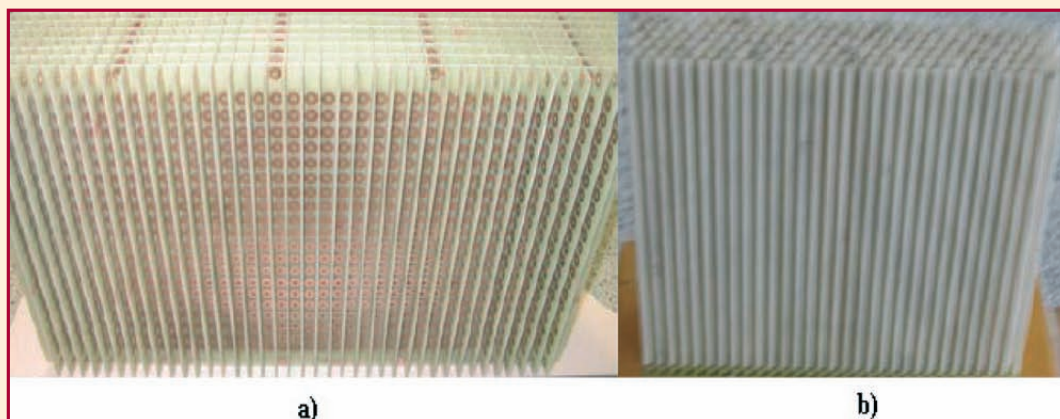


permiten lograr metamateriales. Además comentaremos sobre sistemas fotónicos que tienen refracción negativa.

### ARREGLOS CON BASE EN CIRCUITOS

Se forma un conjunto de elementos ordenados periódicamente y que están diseñados para responder a la acción de un campo electromagnético. El tamaño y la separación deben ser mucho menor que la longitud de onda de la radiación electromagnética de interés para el estudio. Esto permitirá que la radiación incidente interactúe con el material artificial como si éste fuera homogéneo. De esta manera se puede reemplazar el sistema compuesto por un material continuo con parámetros “ $\epsilon$ ” y “ $\mu$ ”, los cuales son la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética, respectivamente.

El primer sistema que presentamos en este reporte es la propuesta realizada por Pendry y Smith (2004). Aquí consideraremos un material artificial que se construye con un arreglo de alambres, los cuales se cortan periódicamente. Usando este sistema se puede escribir la fórmula de la función dieléctrica que corresponde al modelo de Drude-Lorentz (Ibid; Gupta, 2004), y de donde se obtiene que para cierto rango de frecuencias ésta es negativa. Por otro lado, la respuesta magnética de un conductor se puede obtener a partir de corrientes inducidas a través de alambres en circuitos cerrados, con lo que se puede lograr una respuesta magnética intensa, la cual permite producir una permeabilidad magnética negativa (Pendry y



**FIGURA 3.** Se muestran esquemas de dos materiales artificiales: En a) se presenta un metamaterial construido de alambres que se cortan periódicamente para generar resonancias y circuitos con resonancias. El sistema es similar al propuesto por Pendry *et al.*, que permite generar permitividad eléctrica y permeabilidad magnética negativas. La parte b) está dedicada a un sistema fotónico bidimensional. El índice de refracción es positivo, pero el arreglo geométrico permite la refracción negativa. Crédito de la Figura: *Cálculo de la fuerza de Casimir entre placas paralelas de cristales fotónicos construidos de metamateriales*, Tesis de Maestría, Irina S. Solís Mora, FCFM-BUAP, Puebla, México (2006).

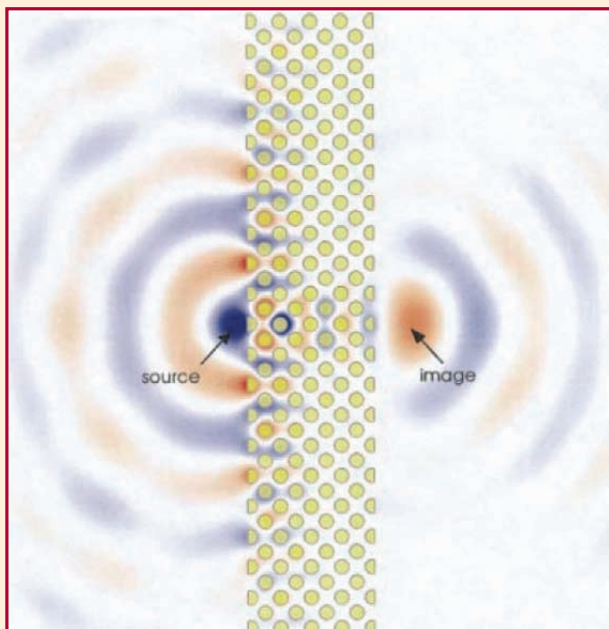
Smith, 2004). Las estructuras que Pendry y colaboradores propusieron se forman de circuitos conductores que contienen brechas. Estos sistemas se pueden visualizar como circuitos en miniatura. Recordemos que un campo magnético dependiente del tiempo induce una fuerza electromotriz en el plano del elemento produciendo una corriente en el conductor. La brecha en el circuito genera una capacitancia en el plano del circuito y da lugar a una resonancia en la frecuencia, la cual se debe a la geometría del elemento. Este circuito, que puede tener diferentes formas, con una resonancia (de manera equivalente a un átomo magnético) permite el diseño de un metamaterial. El medio con alambres conductores y con anillos representa los elementos básicos (uno eléctrico y otro magnético) para un sistema con respuesta de metamaterial.

## CRISTALES FOTÓNICOS

Es posible producir refracción negativa en un cristal fotónico que consiste de un arreglo periódico de dos materiales como en los metamateriales, pero que tienen índice de refracción positivo y velocidad de grupo positivo (Li *et al.*, 2003). Una estructura en la cual ha sido posible encontrar estas propiedades, es una red cuadrada de huecos en un medio dieléctrico. El medio tiene una permitividad eléctrica grande comparada con la de los huecos, que tienen un radio de  $r = 0.35a$ , donde  $a$  es la magnitud de los lados de los cuadrados de la red. Los estudios consideran la propagación de luz con una polarización donde el campo eléctrico es transversal (Luo *et al.*, 2002), en este caso es posible tener refracción negativa en dos regiones de frecuencia. Una región de baja frecuencia, con límites superior  $\omega_u = 0.198 \times 2\pi c/a$  e inferior  $\omega_l = 0.186 \times 2\pi c/a$ , donde el índice de refracción es positivo, y una región de alta frecuencia, que está en las vecindades de  $\omega = 0.287 \times 2\pi c/a$ , donde el índice de refracción es negativo. Si consideramos ahora que los huecos en el dieléctrico tienen un radio mayor, por ejemplo  $r = 0.45a$ , es posible lograr refracción negativa para la propagación de la radiación electromagnética con polarización tal que el campo magnético es transversal (Ibid). En este caso la región de frecuencias está en las vecindades de  $\omega = 0.20 \times 2\pi c/a$ .

Existe una propuesta (Cubukcu, 2003) alternativa para la construcción de estos arreglos y que generan las propiedades de un metamaterial, ésta consiste en un arreglo cuadrado de varillas de dieléctrico en aire. Las varillas tienen una permitividad eléctrica también altamente contrastante con el vacío, el diámetro que se ha elegido es de  $2r = 3.15$  mm, y longitud  $l = 15$  cm. Este sistema sirve para estudiar la propagación de radiación electromagnética con polarización tal que el campo magnético es transversal. Como en los casos anteriores para estos parámetros, en la región de fre-





**FIGURA 4.** Se muestra la fuente (*source*) y la imagen (*image*) en la refracción negativa en un arreglo geométrico de un sistema bidimensional fotónico.

*Crédito de la imagen: C. Luo et al., Phys. Rev. B.*

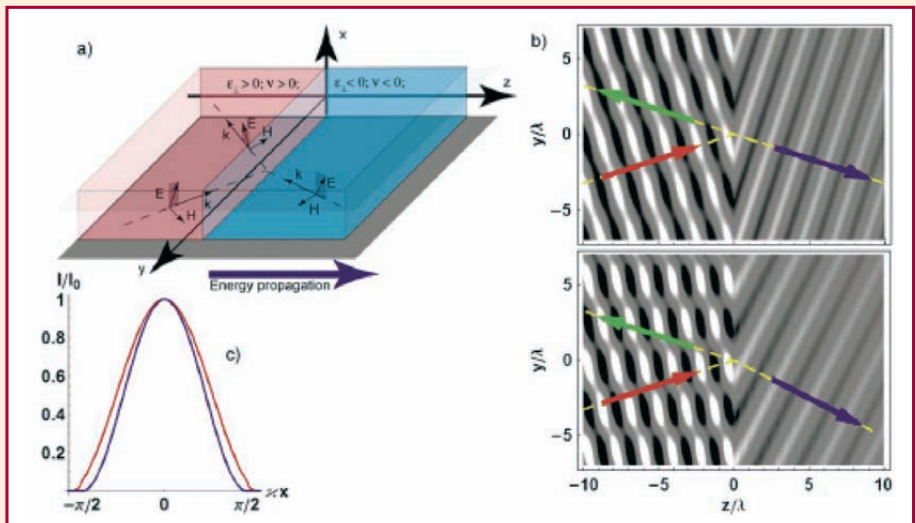
cuencias de 13.10 a 15.44 GHz se obtiene refracción negativa para la propagación de la radiación electromagnética.

## SISTEMAS COMPOSITO

En un trabajo reciente, Podolskiy *et al.* (2005), publicaron una propuesta para construir un metamaterial. El sistema considera un diseño no convencional, el cual no requiere que la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética sean simultáneamente negativas para tener un material de mano izquierda. El medio es no magnético y la respuesta dieléctrica se representa a través de un tensor, en otras palabras, se tiene anisotropía dieléctrica, esto es, la respuesta del material varía dependiendo de la dirección en la que incide la radiación. Para ser precisos, el sistema es un compuesto que se forma con inclusiones anisotrópicas en un medio dieléctrico isotrópico. El modelo requiere que las inclusiones sean esféricas y que estén distribuidas uni-

formemente a través del dieléctrico. Un ejemplo de este medio material es el compuesto que se forma de un 10% de nano-esferoides de (carburo de silicio) SiC que se encuentren inmersas en una matriz de quartz. Esto permite usar un laser de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con una longitud de onda de 12μm para los estudios de la propagación de la radiación electromagnética con una polarización donde el campo magnético es transversal. Además, en el trabajo de Podolskiy *et al.* (2005), se ha propuesto otro compuesto que se forma de inclusiones isotrópicas (esféricas) en un medio dieléctrico. Este material se puede obtener mediante el depósito de un dieléctrico seguido por un depósito aleatorio de inclusiones o mediante la deformación del compuesto con una distribución isotrópica de inclusiones.

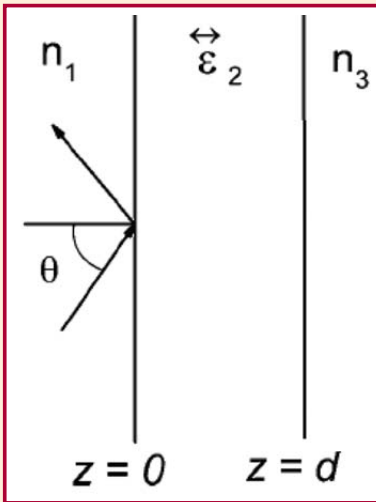
Se han realizado estudios de la propagación de radiación electromagnética en una guía de ondas plana<sup>11</sup> construida de un material compuesto con inclusiones esféricas, 10% de nanoesferoides de SiC inmersas en una matriz de quartz. Este sistema altamente anisotrópico es no magnético con características de metamaterial, bajo ciertas condiciones. El arreglo geométrico es el siguiente: La guía de ondas es plana y paralela al plano



**FIGURA 5.** Presentamos en a) una guía de ondas de espesor  $d$  que confina la radiación en la dirección  $x$  y permite la propagación en la dirección  $z$  del sistema de coordenadas cartesianas. En b) se muestra la refracción negativa para dos valores de la permitividad eléctrica. En c) se dibuja el módulo del campo eléctrico para los casos presentados en b): la línea azul corresponde a la parte superior de b) y la línea roja a la parte inferior de b).

**Crédito de la Figura:** V. A. Podolskiy, and E.E. Narimanov, *Phys. Rev. B*

( $y, z$ ) de un sistema de coordenadas cartesianas, las superficies están en  $x = \pm d/2$ . La propagación de las ondas sucede en el plano ( $y, z$ ). Los resultados de la refracción de la radiación demuestran el comportamiento de refracción negativa, véase Fig. 5. Otro estudio (Hernández *et al.*, 2007) que toma en cuenta a este compuesto, como un metamaterial, se publicó recientemente. En este trabajo se considera una capa delgada del compuesto altamente anisotrópico emparedado entre dos dieléctricos isotrópicos. Una representación esquemática de la geometría se muestra en la figura 6. De acuerdo con el sistema de coordenadas cartesianas, el medio con índice de refracción  $n_1 \geq 0$  se encuentra ocupando la región  $z < 0$ , la capa delgada anisotrópica ocupa el espacio  $0 \leq z \leq d$  y tiene una respuesta dieléctrica que es un tensor, y el medio de índice de refracción  $n_3 \geq 0$  se encuentra en la región del espacio  $z \geq d$ . En este caso, la propagación sucede en la dirección  $z$ . Los estudios suponen que la radiación electromagnética viaja de izquierda a derecha, el vector de propagación de la luz incidente en el sistema hace un ángulo  $\theta$  con la línea normal a la interface entre el medio isotrópico de índice  $n_1$  y la capa anisotrópica de compuesto, tal y como se muestra en la figura 6. La radiación se refleja y refracta en la interface entre los medios 1 y 2, así como en la interface entre los medios 2 y 3.



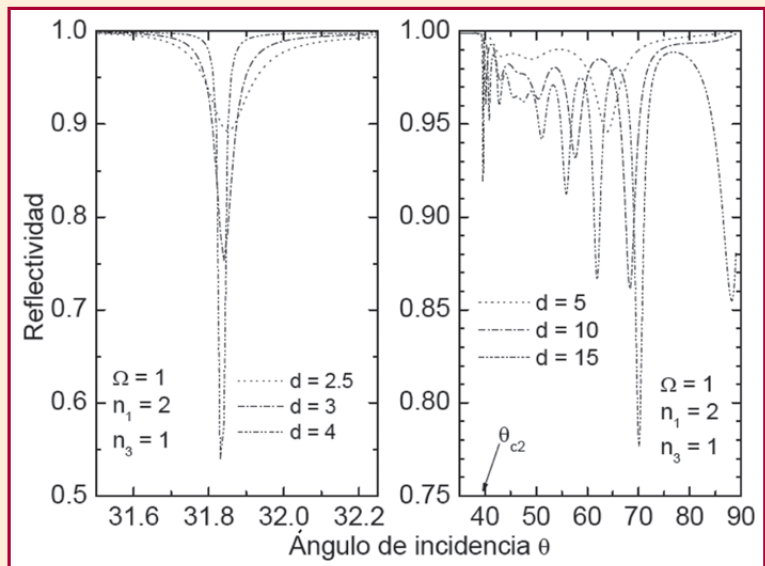
**FIGURA 6.** Representación esquemática de la geometría para inducir un metamaterial. La película delgada de espesor  $d$ , construida de un compuesto anisotrópico se encuentra emparedada entre dos medios isotrópicos, uno de índice de refracción  $n_1$  (medio de la izquierda) y otro de índice de refracción  $n_3$ . La radiación electromagnética incide sobre el sistema con un ángulo de incidencia  $\theta$ .

Tomando en cuenta los parámetros usados en Hernández *et al.*, 2007, para la propagación de luz con polarización donde el campo magnético es transversal, existen tres regiones de ángulos de incidencia que producen diferentes espectros de reflexión. Consideremos que la capa delgada del material altamente anisotrópico está emparedada entre dos medios isotrópicos, 1 y 3, y supongamos que el medio de la izquierda tiene índice de refracción  $n_1 = 2$  y que el medio de la derecha tiene índice de refracción  $n_3 = 1$ , las tres regiones de ángulos de incidencia están delimitadas por los siguientes valores: I)  $0 \leq \theta \leq 30^\circ$ , II)  $30 \leq \theta \leq 39.23^\circ$ , y III)  $39.23^\circ \leq \theta$ . Reportamos los resultados obtenidos para la reflexión de la luz para tres espesores diferentes de la capa anisotrópica. (Para la región II  $d=2.5, 3, 4$ , y para la región III,  $d=5, 10, 15$ . Aquí  $d=1$  corresponde a 12um). En la región I, la radiación incidente sufre reflexión total, la radiación electromagnética no se puede propagar a través de la capa anisotrópica. En la región II, la reflexión tiene un mínimo para cada valor del espesor de la película. El mínimo sucede a un ángulo de incidencia de aproximadamente  $31.85^\circ$ . Estos mínimos indican que la radiación incidente se acopla al modo de superficie de la capa anisotrópica. Finalmente, para la región III la reflexión tiene una serie de mínimos. Los mínimos indican que un número entero de medias longitudes de onda de la radiación caben en la capa dieléctrica. El número de mínimos depende del espesor  $d$  de la película, de tal forma que aumenta con el espesor.

Es importante hacer notar que en la región III, del ángulo de incidencia, es donde la película delgada tiene refracción negativa. En otras palabras, es en esta región donde se induce un metamaterial, cuando el ángulo de incidencia de la radiación satisface la condición de pertenecer a la región III.

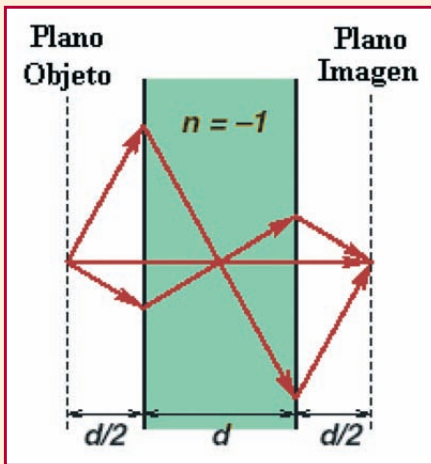
## MATERIALES INVISIBLES

Los metamateriales, debido a sus propiedades de refracción negativa, podrían usarse para hacer invisibles los objetos. Hasta hace poco, solamente se había podido fabricar metamateriales que funcionaban en la región infrarroja y de microondas del espectro de radiación electromagnética, o que eran invisibles vistos desde un solo ángulo. Para fabricar un metamaterial es necesario que sus dimensiones internas sean mucho menores que la longitud de onda de la radiación electromagnética incidente. En el caso de la luz visible está en el rango de 400 a 700 nanómetros. Por tanto, para tener materiales invisibles, su estructura debe ser muy pequeña, en la nanoescala. Recientemente, el grupo del profesor Xiang Zhang, de la Universidad de California en Berkeley ha creado dos metamateriales con



**FIGURA 7.** En esta figura se muestran resultados de la reflexión de la radiación electromagnética que incide sobre el sistema emparedado, descrito en la figura 6. El panel de la izquierda representa la reflexión en la región II y el panel de la derecha, corresponde a la región III del ángulo de incidencia, como se describe en el texto. En cada caso se consideran tres espesores de la película. En ambos paneles se indican los espesores y en el panel de la derecha se muestra  $\theta_{c2}$ , que es el límite entre las regiones II y III.

índice de refracción negativo para todos los ángulos de incidencia de la luz visible. En un primer trabajo publicado en la revista *Science* (Zhang *et al.*, 2008A), los investigadores crearon una nueva clase de material embebido nanoalambres de plata de 60 nanómetros de anchura en una lámina de óxido de aluminio de un grosor de una centésima de milímetro. Los nanoalambres estaban alineados unos con otros y colocados perpendicularmente a la lámina de óxido. Se reportó refracción negativa para todos los ángulos de incidencia en la región visible. En el segundo trabajo, publicado en la revista *Nature* (Zhang *et al.*, 2008B), los investigadores fabricaron una estructura tridimensional parecida a una red de pescar y formada por 21 capas alternadas de fluoruro de plata y de magnesio de 30 y 50 nm de grosor respectivamente. Perforaron hoyos rectangulares de 565nm×265nm, separados 800 nanómetros unos de otros y creando la apariencia de la red. Los autores demostraron que el material poseía un índice de refracción negativo para frecuencias ópticas (luz visible). Estos materiales tridimensionales podrían tener muchas otras aplicaciones tales como la mejora en el funcionamiento de antenas de comunicación, al reducir el “ruido” de las ondas electromagnéticas o en superlentes, los cuales describiremos en la siguiente sección.



**FIGURA 8.** En esta figura se dibuja la refracción negativa en una película delgada de espesor  $d$ , de un metamaterial (índice de refracción igual a  $-1$ ). El objeto está en la parte izquierda de la película a una distancia  $d/2$  y la imagen se obtiene en la parte derecha a una distancia  $d/2$ .

## SUPERLENTE

El propósito de esta sección es ilustrar otro ejemplo de aplicación práctica de los materiales con refracción negativa. Una de las consecuencias de la refracción negativa es que puedan enfocar objetos de manera similar a las lentes convencionales. La diferencia importante es que estos nuevos materiales tienen superficies planas (Ramkrishna, 2005; Pendry y Smith, 2004), en contraste a las lentes convencionales que requieren de una superficie curva para poder enfocar rayos que provienen del infinito. En los metamateriales, un rayo proveniente de una fuente ubicada a una distancia  $d/2$  en el lado izquierdo, puede enfocarse en el lado derecho a una distancia  $d/2$ , con el solo hecho de atravesar un material izquierdo de un ancho  $d$ , como se ilustra con los rayos dibujados en la Figura 3. Esto hace útiles a estos materiales, ya que no se requieren grandes dimensiones para mejorar la resolución de una lente. Por otra parte, estos materiales permiten superar la barrera, que imponen los instrumentos ópticos, a la que se le denomina límite de la difracción. La difracción es un fenómeno que ocurre cuando

la radiación electromagnética, en su trayectoria, encuentra un obstáculo, ésta se dispersa y se curva. Se produce en todo tipo de ondas: ondas sonoras, ondas en la superficie de un fluido y ondas electromagnéticas. La difracción sólo se observa si el tamaño del obstáculo que encuentran las ondas es del mismo orden que la longitud de onda de la radiación. La distorsión de la luz por la difracción produce una borrosidad que limita la capacidad de aumento útil de un microscopio, o de un telescopio. Así, los detalles menores de media milésima de milímetro no pueden verse en la mayoría de los microscopios ópticos. Las razones de esta resolución limitada son la difracción y la incapacidad de los dispositivos de imagen convencionales de enfocar componentes. Cabe señalar que en los metamateriales no existe corrimiento de fase de una onda que viaja del punto fuente al punto imagen, en contraste con las correcciones de fase que deben hacerse en las lentes convencionales.

## CONCLUSIONES

Hemos presentado aspectos relacionados con la refracción negativa de la radiación electromagnética en materiales artificiales. Se han presentado los sistemas y mostrado las condiciones bajo las cuales esta refracción anómala puede suceder. Un tipo de sistemas se llaman metamateriales, en los cuales el índice de refracción efectivo es negativo, acompañado de una velocidad

de fase negativa. Otros tipos de materiales son aquellos donde los índices de refracción de los componentes son positivos y la velocidad de grupo de la radicación electromagnética es positiva. También se ha discutido la posible aplicación en la industria de la óptica. Concretamente se ha comentado que los materiales que presentan refracción negativa se pueden emplear en la fabricación de lentes con superficies planas. Es importante hacer notar que para que los metamateriales funcionen en el espectro visible de la radiación, las componentes de los sistemas deben tener dimensiones en la nanoescala.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con el financiamiento del proyecto VIEP -BUAP y del proyecto de Cuerpo Académico SEP.

## REFERENCIAS

- Cubukcu, E., Aydin, K., Ozbay, E., Foteinopolou, S., y Souloulis, C. M., (2003). "Subwavelength resolution in a two-dimensional photonic-crystal-based superlens". *Physical Review Letters*, Vol. 91, No. 20, 207401.
- Dutta Gupta, S., (2004). "Subliminal to superluminal propagation in a left-handed medium". *Physical Review B*, Vol. 69, No. 11, 113104.
- Hernández, P. H., Martínez, G., Cocoltzi, G. H., Coyotécatl, H. A., y Hernández, J.D., (2007). "Optical response of a strongly anisotropic thin film as a nonmagnetic negative phase velocity material". *Journal of Applied Physics*, Vol. 101, No. 9, 093103.
- Li, Jensen., Zhou, Lei., Chan, C.T., y Sheng, P., (2003). "Photonic band gap from a stack of positive and negative index materials". *Physical Review Letters*, Vol. 90, No. 8, 083901.
- Luo, C., Johnson, S. G., Joannopoulos, J. D. y Pendry, J. B., (2002). "All-angle negative refraction without negative effective index". *Physical Review B*, Vol. 65, No. 20, 201104.
- Pendry, J. B. y Smith, D. R. (2004). "Reversing light with negative refraction". *Physics Today*, Vol. 57, No.6: 37-43.
- Podolskiy, V. A. y Narimanov, E.E., (2005). "Strongly anisotropic waveguide as a nonmagnetic left-handed system". *Physical Review B*, Vol. 71, No. 20, 201101.
- Ramakrishna, S. A. (2005). "Physics of negative refractive index materials". *Reports on Progress in Physics*, Vol. 68, No. 2, 449-521.
- Saleh, B. E. A. y Teich, M. C. (1991). *Fundamentals of Photonics*. John Wiley & Sons, EUA.
- Shelby, R. A., Smith, D. R., Nemat-Nasser, S. C. y Schultz, S., (2001). "Microwave transmission thorough a two-dimensional, isotropic, left-handed metamaterial." *Applied Physics Letters*, Vol 78, No. 4: 489-491.
- Vaselago, V. G. (1968). "The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of E and p". *Soviet Physics Uspekhi*, Vol. 10, # 4, 509.
- Zhang, X., Yao, J., Liu, Z., Liu, Y., Wang, Y., Sun, C., Bartal, G., y Stacy, A. M., (2008A). "Optical Negative Refraction in Bulk Metamaterials of Nanowires". *Science*. Vol. 321, No. 5891: 930.
- Zhang, X., Valentine, J., Zentgraf, T., Ulin-Avila, E., Genov, D. A., y Bartal, G., (2008B). "Three-dimensional optical metamaterial with a negative refractive index". *Nature*, Vol 455, No. 7211: 376.



## Del ADN a los nanomateriales

M. J. OVIEDO-BANDERA\*,  
A.B. CASTRO-CESEÑA\* Y ENRIQUE C. SAMANO\*\*

Un par de palabras muy comunes en los medios de difusión, en nuestros días, son: ADN y nanotecnología. La primera nos evoca los avances en Ingeniería Genética y Genoma Humano; mientras que la segunda los novísimos materiales y dispositivos electrónicos con características asociadas a una escala "muy pequeña". La conexión, entre ellas, desde un enfoque moderno en la fabricación de materiales a escala nanométrica, es la construcción de dispositivos electrónicos utilizando el ADN como intermediario. La industria electrónica está muy interesada en explorar nuevos métodos de nanofabricación para así continuar su evolución a dispositivos electrónicos de dimensiones nanométricas. El presente muestra cómo el ADN puede ser utilizado como andamio para fabricar nanomateriales. Se menciona brevemente la relación entre Ciencia de Materiales y Biología Molecular, y las propiedades del ADN. Se reseñan los métodos para obtener y manipular ADN, y se enfatiza en el uso del ADN del bacteriófago  $\lambda$  y oligonucleótidos como nanomateriales, y la síntesis de nanolambres y arreglos periódicos utilizando ADN. Se concluye con el prometedor futuro que tiene el ADN como mediador en la fabricación de circuitos integrados en nanoelectrónica.

### INTRODUCCIÓN

La tecnología moderna cambia a gran velocidad, pero en particular el ritmo del progreso en electrónica basada en estado sólido es frenético y vertiginoso. Desde la invención del transistor y el posterior desarrollo de circuitos integrados,<sup>1</sup> se ha vuelto necesario, y compulsivo, fabricar objetos de uso diario más pequeños, más portátiles, fáciles de manipular y maniobrar. En este ímpetu de elaboración de nuevos productos, se ha generado una tendencia hacia la miniaturización. Esta tendencia ha tomado una nueva dimensión en años recientes con el uso de materiales de tamaño entre 1 a 100 nanómetros ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), conocidos como nanomateriales. Un nanómetro es aproximadamente 80 mil veces más pequeño que el grosor de un cabello humano.

Un enfoque moderno en la fabricación de nanomateriales es una aproximación con tendencia hacia la amplificación, iniciando con bloques de construcción a escala atómica y ensamblados de manera controlada, contrario a los métodos de miniaturización convencionales. A esta nueva técnica para crear productos compuestos por nanomateriales se le ha llamado nanotecnología. Ésta alude a la fabricación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas, controlando la materia a escala nanométrica y explorando fenómenos novedosos que conduzcan a una diversidad de propiedades físicas, químicas y biológicas a esa escala. Cuando se manipula o sintetiza la materia a escala atómica y molecular, surgen fenómenos y propiedades totalmente nuevas, tales como la cuantización de la conductividad, el autoensamble molecular, la corriente de espín polarizado, entre otras. El control de la síntesis y propiedades deseables de materiales nanométricos es primordial para el desarrollo de prototipos con gran mercado potencial, como la electrónica.

\* Estudiante de Doctorado en Física de Materiales, CNYN-UNAM, Ensenada, B.C., México.

\*\* Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM.

Correo electrónico: samano@cnyun.unam.mx

<sup>1</sup> Arreglo interconectado muy pequeño,  $1 \text{ mm}^2$  a  $10 \text{ mm}^2$ , de elementos activos y pasivos integrados dentro de un monocristal de un semiconductor; usualmente Si, o depositado sobre una oblea de Si por litografía y/u otras técnicas, y capaz de llevar a cabo una función completa de un circuito electrónico convencional.



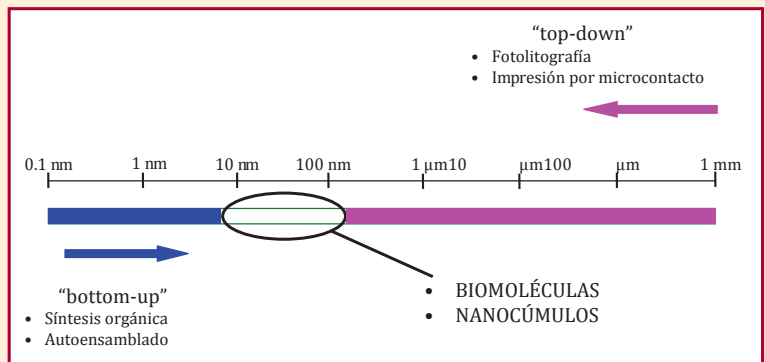
En las últimas cuatro décadas, el desarrollo sostenido en tecnologías de circuitos integrados para procesadores y memorias ha revolucionado la industria de computadoras y aparatos electrodomésticos con capacidad de memoria no-volátil cada vez mayor; por ejemplo, i-pods, celulares, memorias “USB”, etcétera (ITRS, 2005). Sin lugar a dudas, el “corazón y cerebro” de los circuitos integrados y, por tanto, de la electrónica moderna es el transistor. Precisamente, recién se celebró el 60 aniversario de la invención del transistor, el bloque esencial de construcción del mundo digital actual. Esto ocurrió entre el 17 de noviembre y 23 de diciembre de 1947 (Sin autor, 2007). Este primer transistor medía aproximadamente 1.3 cm, un verdadero gigante comparado con los dispositivos electrónicos actuales ya que un microprocesador de ese tamaño contiene hoy día cientos de millones de transistores. Fue tal la importancia de este descubrimiento que en poco tiempo los transistores y diodos de estado sólido reemplazaron los engorrosos, pesados y costosos tubos de vacío. Esto, a su vez, transformó, la vida cotidiana al suministrar circuitos integrados cada vez más pequeños: microcircuitos (1 micra =  $10^{-6}$  m).

El desarrollo de microcircuitos integrados aceleró esta revolución tanto que a la fecha hay un frenesí en nuestra sociedad contemporánea por conseguir productos domésticos más pequeños, más rápidos y con mayor capacidad de memoria no-volátil. Esta reducción en tamaño y el consecuente incremento en el número de transistores en circuitos integrados, fue observado por Gordon Moore desde 1965. Moore publicó una predicción acerca de la tendencia de que el número de transistores en un circuito integrado se duplica aproximadamente cada 18 meses, a esto se le ha llamado Ley de Moore (Moore, 1965). La Ley de Moore no sólo predice que las computadoras tendrán microprocesadores más rápidos y con mayor capacidad, sino que su costo real disminuirá. El costo de un transistor en el procesador Centrino Duo de Intel® es aproximadamente una millonésima parte del precio promedio que tenía un transistor en 1968 (Sin autor, 2007).

Las características necesarias en los nuevos dispositivos electrónicos han requerido que el tamaño de los componentes sea de escala nanométrica, es decir, la de las moléculas. Por ejemplo, las fluctuaciones en el tamaño de los dispositivos electrónicos pueden resultar en una gran dispersión en sus características eléctricas a escala nanométrica que afecten parámetros tales como corrientes de encendido y apagado. Los métodos de escalamiento convencionales en la industria de dispositivos electrónicos encaran retos tecnológicos y de ciencia básica crecientes (Likharev, 2003). La técnica convencional de manufactura en la industria de los semiconductores de estado sólido es la fotolitografía, la cual es el método de miniaturización

por antonomasia, utilizando una longitud de onda en la región UV del espectro. Debido a limitaciones físicas, la fotolitografía<sup>2</sup> puede producir componentes de unas cuantas décimas de micra de tamaño. Actualmente se está llevando a cabo intensa investigación para reducir aún más el tamaño de los componentes. Métodos de fotolitografía de la siguiente generación se basarían en longitudes de onda de UV extrema y rayos X que potencialmente permitirían la producción de componentes de tamaño igual o menores a 100 nm. Sin embargo, los enormes costos económicos asociados con esta técnica y graves problemas inherentes de fabricación, como la degradación de la óptica usada, han hecho que se busquen alternativas en la construcción de componentes electrónicos.

**FIGURA 1. Convergencia en la escala nanométrica de las técnicas "bottom-up" y "top-down".**



Para continuar con la tendencia predicha por la Ley de Moore, como ya se mencionó, hay un interés creciente en nanotecnología por buscar alternativas a los métodos convencionales de miniaturización (métodos *top-down*) usados en la actualidad en la fabricación de dispositivos electrónicos. Una de estas alternativas para diseñar dispositivos a escala nanométrica se basa en métodos de amplificación (*bottom-up*) usando ya sea

<sup>2</sup> Técnica usada en la fabricación de circuitos integrados en la que una película sensible a la radiación, el "resist", recubre uniformemente una oblea de Si con una fuente de luz (UV, rayos X) o un haz de electrones, que ilumina una región seleccionada de la superficie a través del contorno de una mascarilla, el "mask" para formar un patrón particular.

Esta última es una placa delgada de metal u otro material conteniendo un patrón con una forma delimitada por su contorno, se usa para proteger regiones seleccionadas durante el proceso de depósito o exposición a la radiación de un semiconductor u otra superficie. Borde opaco o patrón colocado entre una fuente de radiación y una superficie fotosensible para prevenir la exposición de regiones específicas de esta superficie.

El "Resist" refiere entonces a un recubrimiento no-conductor, usualmente un polímero, que se usa para proteger porciones deseadas de una superficie de la acción de un ácido, removedor químico, o luz durante la fabricación de circuitos integrados. Una sustancia que cubre y protege una superficie.

métodos de síntesis inorgánica que requieren de sistemas de ultra-alto vacío (Likharev, 2003; Lieber, 2001) o moléculas bioorgánicas como ácido desoxirribonucleico (ADN) (Seeman, 2004A; Luo, 2003; Braun y Sivan, 2004). Un bloque de construcción esencial en un dispositivo electrónico a escala nanométrica son los nanoalambres de conductores y semiconductores. Para que las nanoestructuras sean soportes efectivos en el diseño y construcción de circuitos integrados, al menos una de las dimensiones del dispositivo es crítica: el diámetro del nanoalambre (Lieber, 2003).

El control en el diámetro de nanoalambres representa una de las características clave que motivan esfuerzos encaminados a desarrollar métodos de amplificación, ya que está más allá de lo que se consigue en fotolitografía. El crecimiento de nanoestructuras de manera controlada y predecible implica que los materiales con distinta composición química, estructural, morfológica y de tamaño puedan ser ensamblados por diseño “a la medida” para construir dispositivos funcionales y circuitos integrados (Braun y Sivan, 2004; Lieber, 2003). Los métodos de síntesis inorgánica, tales como ablación láser y depósito por capa-atómica, resultan ser muy costosos y requieren de ausencia total de contaminantes, lo que los hace inconvenientes. Este paradigma de los métodos de amplificación, análogo a la forma en la que la biología ha trabajado con los seres vivos tan exitosamente, puede probar ser una solución a los retos tecnológicos que ha encarado la industria electrónica. De esta manera, encontrar nuevas estrategias para incrementar la densidad de dispositivos y reducir el tamaño de circuitos integrados es un fin deseado por la tecnología actual.

Las biomoléculas son componentes particularmente prometedoras en procesos de autoensamble debido a sus capacidades de enlace perfeccionadas durante miles de millones de años de evolución de la vida en la Tierra. Por ejemplo, los oligonucleótidos de ADN tienen capacidades de reconocimiento molecular únicas debido a la especificidad de apareamiento de sus bases (Seeman, 2004A; Luo, 2003). Esto convierte al ADN en candidato idóneo para la síntesis de nanoestructuras. Además los ácidos nucleicos se pueden procesar con exactitud nanométrica por medio de enzimas como nucleasas y polimerasas.

## ¿POR QUÉ BIOLOGÍA MOLECULAR?

Existen diferencias fundamentales entre los materiales construidos por la naturaleza y aquellos por científicos en materiales. Para los biólogos, 3 500 millones de años de evolución en la Tierra han construido al más fascinante de los materiales: los organismos vivos. Sorprendentemente, éstos están formados sólo por unas cuantas macromoléculas de un número limitado



de bloques de construcción. De ninguna manera esto implica que los seres vivos sean organismos sencillos, todo lo contrario. Por otro lado, desde hace unos cuantos cientos de años, los científicos también han fabricado materiales admirables, desde plásticos hasta dispositivos electrónicos, los cuales sin asombrarnos tanto, por ser cotidianos, están formados de muchas clases diferentes de bloques de construcción. Tal vez, debido a la falta de un lenguaje común, ha habido una separación entre estos dos campos: Biología Molecular y Ciencia de Materiales. El ímpetu de nuevas tecnologías con procesos de síntesis a escalas menores a 100 nm nos indica que ha llegado el momento de establecer un puente común entre ellos.

Las afinidades entre Biología Molecular y Ciencia de Materiales son mucho mayores de lo que antes nos pudimos haber imaginado. Uno de los objetivos iniciales en ambas ciencias es la construcción de materiales a nivel molecular. La convergencia de Biología Molecular y Ciencia de Materiales suministrará nuevas ideas, rutas y sinergia. Los científicos en materiales están empezando a tomar la idea de usar moléculas biológicas como bloques de construcción en el diseño y construcción de nuevos materiales. De manera semejante, cada vez más biólogos están aprendiendo métodos tradicionalmente usados en ciencia de materiales para sus fines.

## LAS BIOMACROMOLÉCULAS EN ORGANISMOS VIVOS

Después de la determinación de la estructura del ADN en 1953, la biología molecular ha progresado rápidamente (Watson y Crick, 1953). El ritmo de progreso se incrementó desde la invención de la reacción en cadena de polimerasa (PCR). Ésta es una técnica de amplificación, la cual hace crecer exponencialmente la cantidad de moléculas de ADN de secuencia específica a partir de una guía (Alberts *et al.*, 2002). La tecnología del ADN recombinante ha permitido entender los principios básicos de muchos procesos bioquímicos, y abrió la puerta de la biotecnología moderna. Actualmente es posible modificar mediante ingeniería genética células bacterianas relativamente sencillas y se está en camino de modificar organismos complejos. Así se considera que nos encontramos en la “era postgenómica” con la decodificación del genoma humano. Esencialmente, la biología molecular trata de entender la vida desde un punto de vista molecular y así se han derivado disciplinas tales como genética molecular, evolución molecular, medicina molecular, etc. Las aplicaciones de la biología molecular también se pueden extender a áreas no-biológicas tales como ciencia de materiales. Esta tendencia se ha acrecentado enormemente con el continuo progreso en nanociencia y nanotecnología. Es sólo cuestión de tiempo antes de que veamos ADN y proteínas en materiales cotidianos y dispositivos electrónicos.



Las cuatro principales biomacromoléculas son ácidos nucleicos, proteínas, lípidos y polisacáridos (Alberts *et al.*, 2002). Sus bloques de construcción consisten en nucleótidos, aminoácidos, ácidos grasos, y azúcares, respectivamente. Los ácidos nucleicos y las proteínas son las biomoléculas que se han estudiado más y, por tanto, son las mejor entendidas, de aquí que poseen el mayor potencial para aplicaciones en ciencia de materiales. En particular, la componente biomimética más exitosa usada en el autoensamblaje y reconocimiento molecular es un ácido nucleico: ADN.

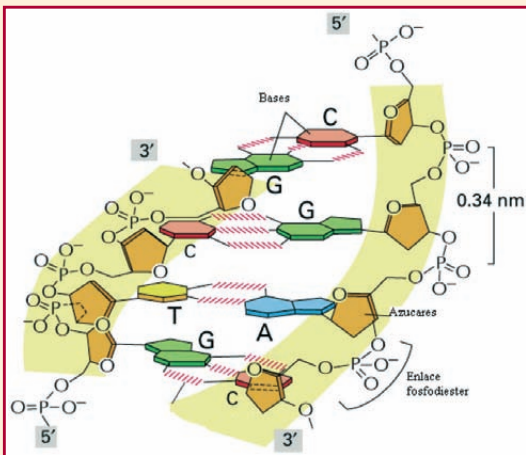
## PROPIEDADES DEL ADN

La nanoescala es la escala de las moléculas. Una distancia de alrededor de 0.15 nm entre dos átomos forma un enlace molecular típico. La doble-hélice de ADN es una nanoestructura con un diámetro de 2 nm y gira para formar un ciclo completo cada 3.5 nm, comprendiendo aproximadamente 10 nucleótidos. El ADN puede estar formado por una cadena sencilla (csADN) o una cadena doble (cdADN). Cada cadena de ADN está constituida por unidades químicas o monómeros denominados nucleótidos. Cada nucleótido está formado por un anillo de átomos de carbono y nitrógeno (base nitrogenada), un azúcar cíclico (pentosa, en este caso desoxirribosa) y un grupo fosfato. Las bases nitrogenadas son de dos tipos: púricas y pirimídicas. Las bases púricas son adenina (A) y guanina (G), y las pirimídicas son citosina (C), timina (T) y uracilo (U). La repetición secuencial de moléculas de azúcar ligadas entre sí, vía enlaces fosfodiéster, se conoce como “esqueleto”. Estos enlaces dan a todas las cadenas de ADN una polaridad química. Un extremo termina en un grupo fosfato (llamado 5' debido a que la posición del grupo fosfato está en el carbono 5' del anillo de azúcar), y el otro extremo en una molécula de azúcar cuyo carbono 3' tiene un grupo hidroxilo (llamado el extremo 3') (Ibid).

Todas las secuencias de ADN, por convención, se escriben de 5' a 3' a menos que se especifique de otra manera. Tanto el grupo fosfato 5' como el hidroxilo 3' son útiles para manipular al ADN. El formato común de ADN en organismos vivos es una doble-hélice que consiste en dos cadenas de ADN unidas por puentes de hidrógeno entre las bases de cada cadena. Las cadenas de ADN se aparean en direcciones opuestas, formando cadenas antiparalelas, una de 5' a 3' y la otra de 3' a 5', y se les llama cadenas complementarias. El apareamiento específico y no-covalente entre las bases es tal que solamente A se aparea con T (A-T), y C con G (C - G). Esto hace que el ADN sea autoprogramable, una propiedad extremadamente útil en el diseño y construcción de nuevos materiales. Por analogía, es posible imaginar el apareamiento de bases complementarias como tiras de velcro







**FIGURA 2. Estructura de la doble cadena de ADN.**

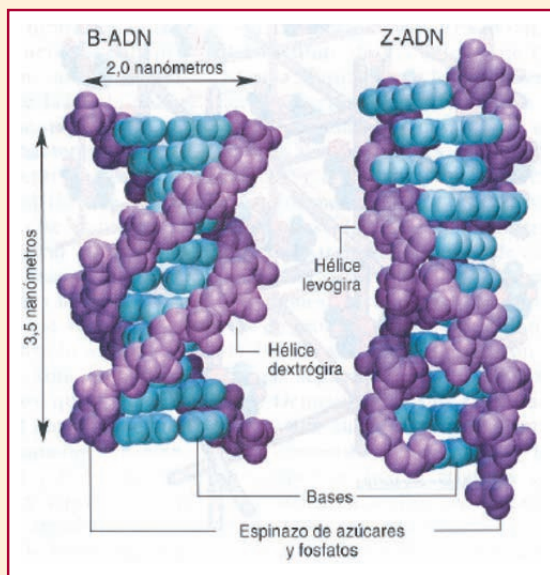
de diferente color, de tal manera que sólo las de color complementario se pueden “pegar” (azul A con amarillo T y rojo C con verde G). Además, el apareamiento es reversible: la cdADN se puede separar en dos csADN por calentamiento o aumentando el pH. A este proceso se le llama desnaturalización del ADN.

El ADN se puede ver como un copolímero en el que la distribución de unidades repetidas A-T y C-G es aleatoria, aunque la naturaleza “aleatoria” de estas unidades convierte al ADN en portador de la información genética en organismos vivos. Desde el punto de vista tecnológico, el significado de la información genética embebida en las secuencias, generalmente, se puede ignorar por completo, aunque el contenido químico relativo de las secuencias influirá en las propiedades de las estructuras de ADN.

El descubrimiento hace 55 años de la estructura de cdADN con helicidad positiva, o derecha, ha revolucionado a la ciencia y a la sociedad (Watson y Crick, 1953). La mayor parte del impacto ha estado relacionado con las propiedades genéticas y hereditarias del ADN, que está determinado por las secuencias A-T y C-G (Alberts *et al.*, 2002). Sin embargo, las moléculas de ADN también poseen propiedades físicas y químicas las cuales los convierten en una sustancia ideal para diseñar y construir materiales.

Mecánicamente, el ADN puede ser tanto flexible como rígido dependiendo de si las moléculas son más cortas que su longitud de persistencia (Luo, 2003). La longitud de persistencia es alrededor de 50 nm para cdADN y unos cuantos nanómetros para csADN. Los tamaños de las moléculas de cdADN se pueden controlar de la escala nanométrica a la milimétrica. El módulo de Young de cdADN es aproximadamente de 310 GPa, similar al plexiglás. El ADN no sólo puede tener helicidad positiva, también llamada ADN-B, sino que también puede tener helicidad negativa, también llamada ADN-Z. La mayoría del ADN en la naturaleza es B-ADN. De aquí que para utilizar el ADN como nanoestructura, lo más útil es fijarlo y estirarlo en línea recta sobre la superficie de un sustrato en un ambiente seco para formar fibras paralelas de ADN (Allemand *et al.*, 1997).

Químicamente, el ADN es no-tóxico, estable y soluble en agua. Sobre todo, es fácilmente manipulable. Gran cantidad de métodos físicos y químicos pueden procesar ADN con exactitud nanométrica. Por ejemplo, el ADN se puede segmentar o cortar en sitios específicos utilizando más de



**FIGURA 3. Dimensiones características del ADN habitual, B-ADN, e inusual, Z-ADN. Tomado de Nanotechnology and the double helix, *Scientific American* 290 (6), 64 (2004).**

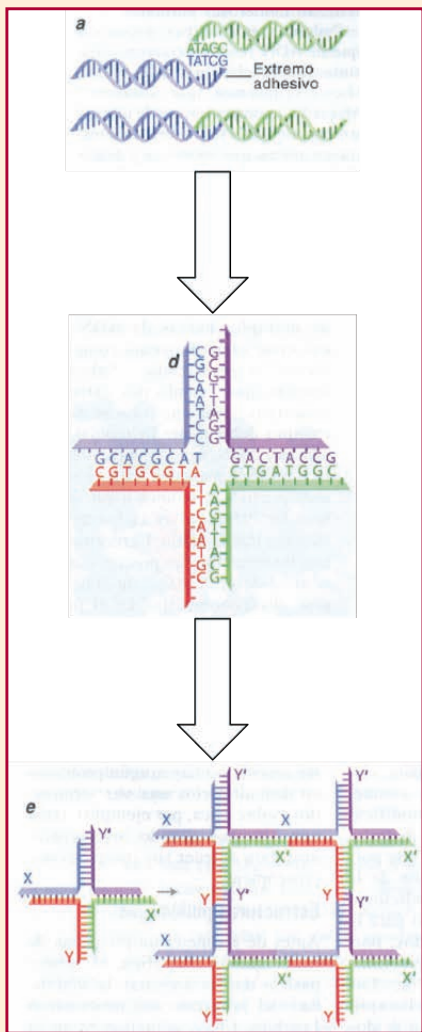
3 000 enzimas de restricción (Roberts y Macellis, 2001) y puede volverse a unir o ligar covalente y selectivamente por medio de enzimas ligasas. El número de estas herramientas es enorme y sobrepasa aquellas para cualquier polímero sintético o natural.

## OBTENIENDO Y MANIPULANDO ADN

El ADN genómico se puede obtener y purificar a partir de organismos cultivados, incluyendo bacterias, levadura, y células de mamíferos o plantas. Esto se logra escindiendo físicamente las células vía ruptura mecánica y/o digestión enzimática. Posteriormente, el ADN se puede precipitar con isopropanol en la presencia de alto contenido salino. En la actualidad, la forma más sencilla de aislar ADN es a través de cromatografía y estuches (*kits*) de purificación de diversas marcas comerciales. El ADN del bacteriófago  $\lambda$ , fago de la bacteria *E. coli*, se ha estudiado ampliamente en Biología Molecular, por lo que se ha convertido

en fuente comercial común de ADN. En particular, nuestro grupo de investigación ha utilizado a éste para la síntesis de nanoalambres de plata mediados por ADN (Oviedo, 2007) tal y como comentaremos posteriormente.

Una de las técnicas más comunes para amplificar ADN es mediante PCR. Ésta es una reacción química en cadena que amplifica un cdADN en forma exponencial (Alberts *et al.*, 2002). Es una herramienta de laboratorio tan poderosa que es posible tener un gran número de copias de un fragmento particular de ADN, a partir de una copia única. Además, PCR en tiempo-real (RT-PCR) usa espectroscopía de fluorescencia para monitorear el proceso, haciendo posible la cuantificación y la comparación. Además de PCR, también hay gran cantidad de “herramientas” para manipular ADN, entre las más comunes están las enzimas, mismas que llevan a cabo una amplia variedad de tareas. Por ejemplo, hay cierta clase de enzimas, como las endonucleasas, las cuales funcionan como “tijeras” que “cortan” o escinden cadenas de ADN en sitios internos. Por el contrario, hay otras como las exonucleasas que “cortan” cadenas de ADN en extremos terminales, como “lijado” del ADN. Las enzimas de restricción pueden reconocer y “cortar”, de manera precisa, diferentes secuencias de ADN. Por otro lado, nucleasas no-específicas, tal como la nucleasa micrococcal, digieren tanto csADN

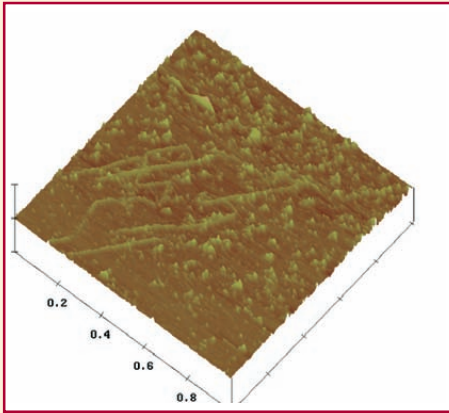


**FIGURA 4. Autoensamblado de oligos para formar una nanoestructura periódica de ADN.** Tomado de *Nanotechnology and the double helix*, *Scientific American* 290 (6), 64 (2004).

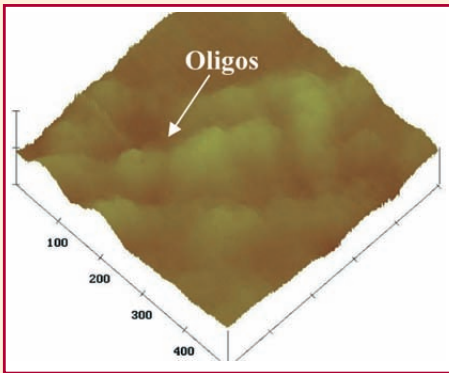
como cdADN a mononucleótidos, semejante a un “molido fino” del ADN. Además, el ADN se puede extender por medio de diversas polimerasas, algunas de ellas como la *Taq* polimerasa realizan este proceso a altas temperaturas (Ibid). Las cadenas de ADN también se pueden enlazar de forma covalente a través de ligasas, cuya función es similar a la de un “pegamento permanente”. Las ligasas son útiles para unir dos fragmentos de ADN que poseen extremos complementarios o “rasurados”. Por último, los extremos 5' y 3' de cadenas de ADN se pueden modificar durante la síntesis usando grupos amino o tiol, biotina, o un compuesto fluorescente. En particular, esto hace al ADN aún más versátil en el diseño y construcción de nanomateriales.

En efecto, otra forma de obtener ADN para la síntesis de nanomateriales es a partir de oligonucleótidos u oligos (pequeñas secuencias de csADN que contienen de unas cuantas a varias decenas de bases). El precio de la síntesis de oligonucleótidos con una alta eficiencia continúa disminuyendo, por lo que es más conveniente conseguirlos comercialmente que sintetizarlos en el laboratorio. Pares de oligos con bases complementarias (A-T, C-G) de ADN se “pegan” para formar una nanoestructura previamente diseñada. El autoensamblado de oligos para formar una nanoestructura de ADN es semejante a cómo se unen dos tiras complementarias de “velcro”. Ahora bien, si en los extremos de una nanoestructura unidimensional quedan pequeñas secciones de oligos sin unir, tiras “pegajosas”, éstas a su vez se pueden usar para crear una nanoestructura periódica bidimensional, como una rejilla o celosía. El control en el diseño de las secuencias provee a los oligos de gran flexibilidad en la construcción de nanomateriales mediados por ADN. Seeman y colaboradores son pioneros en el uso de oligos para ensamblar nanoestructuras usando ADN (Seeman, 2004A y 2004B). Gran variedad de objetos geométricos y estructuras periódicas han sido construidos exitosamente usando “entrecruzamiento doble” de ADN, dos dominios helicoidales conectados por dos entrecruzamientos (<<http://seman-lab4.chem.nyu.edu>>).

A su vez, esto se puede usar como mediador para crecer andamios y arreglos a escala nanométrica. Uno de estos arreglos consiste en la posibilidad de metalizar nanoestructuras de ADN que, a su vez, sean la base en la integración de un circuito eléctrico. La literatura reciente ya reporta la posibilidad de colocar nanopartículas de oro en estructuras “cris-



**FIGURA 5. Imagen de AFM en modo intermitente del ADN del bacteriófago  $\lambda$  en "buffer". Escala de  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ .**



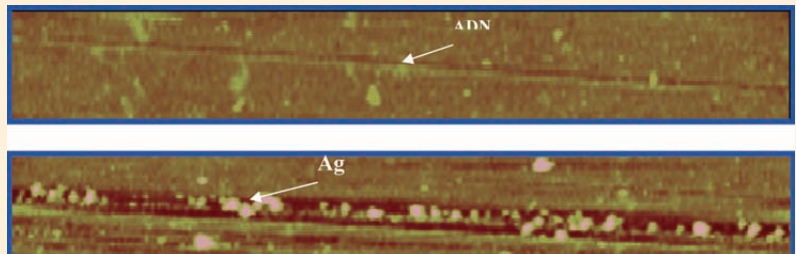
**FIGURA 6. Imagen de AFM de un ensamble formado por oligos siguiendo el patrón de la figura 4. Escala de  $500 \text{ nm} \times 500 \text{ nm}$ .**

talinas" mediados por el autoensamble de ADN (Parks *et al.*, 2008). Nuestro grupo de investigación ha iniciado el diseño y construcción de un ensamble periódico de oligos para su metalización en una rejilla formada por nanoalambres.

## SÍNTESIS DE NANOALAMBRES USANDO ADN

El ADN ya ha sido utilizado como soporte para fabricar nanoestructuras. Braun y colaboradores desarrollaron una metodología, llamada litografía molecular, usando ADN como soporte para el crecimiento de partes electrónicas básicas (Braun y Sivan, 2004). El método de litografía molecular es una técnica de amplificación basada en el uso de proteínas, RECA, ligadas a csADN para bloquear determinadas regiones en cdADN lineal con la finalidad de sintetizar nanoalambres de longitud específica. Este método se asemeja al uso de "masks", ADN, y "resists", RECA, en fotolitografía convencional. Nuestro grupo de investigación usó litografía molecular para fijar y estirar el ADN del bacteriófago  $\lambda$  sobre una superficie de Si, para posteriormente metalizarlo por un periodo de 48 horas para sintetizar nanoalambres de plata (Oviedo, 2007).

Como continuación a este estudio y usando una ruta alternativa, hemos iniciado el diseño y la construcción de un ensamble periódico de nanoalambres utilizando oligos como mediador. Puesto que es necesario mejorar la eficiencia de interacción entre nanoalambres y la superficie usada como sustrato, esta investigación propone la utilización de oligos para la obtención de nanoalambres con longitud específica y puntos de ramificación en fragmentos de ADN lineales que formen ensambles periódicos. Éstos



**FIGURA 7. Imagen de AFM de una fibra de ADN- $\lambda$  u antes del proceso de metalización, parte superior, y después de ser metalizada. Escala de  $5 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ .**

servirán como molde o patrón para la posterior metalización y fabricación de nanoalambres con precisión cuasiatómica que sirvan como modelo en el diseño de un circuito integrado. Estas son características únicas que sólo ofrecen las tecnologías de amplificación implementadas en nanoelectrónica que podrían competir comercialmente con las actuales tecnologías de miniaturización.

## FUTURO DE ADN COMO NANOMATERIAL

Existe gran potencial en usar ADN como material genérico y no sólo como material genético. De acuerdo con la literatura reciente, se ha logrado un importante avance en investigación básica aunque no se ha demostrado fehacientemente qué materiales de ADN se puedan usar en la construcción de dispositivos electrónicos. Una de las razones principales es que las cadenas de ADN son lineales o en forma de ovillo, lo que restringe su utilidad en la construcción de materiales a escala nanométrica. Para concretar este potencial, se deben desarrollar diferentes formas de ADN con alta pureza que muestren la posibilidad de fijarse, estirarse y ensamblarse de manera controlada como bloques de construcción sobre un sustrato que den lugar a estructuras con arreglos periódicos más grandes, como circuitos integrados. También deberá ser posible explorar la viabilidad de incorporar componentes heterogéneos en nanomateriales o nanodispositivos. La combinación del descubrimiento de nuevos fenómenos a escala nanométrica con su aplicación en la tecnología moderna es la fuerza que empuja a la nanotecnología. Los materiales basados en ADN se usarán en las técnicas nanotecnológicas y expandirán ampliamente el repertorio de los materiales que actualmente disponemos. Tenemos que convencer a nuestra sociedad de que el catastrofismo y fatalismo que pudieran generar en el futuro el desarrollo de productos nanotecnológicos basados en ADN está sólo en la imaginación febril de futurólogos y escritores de ciencia ficción (véase: Crichton, 2004).

## REFERENCIAS

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., Walter, P. (2002), *Molecular Biology of the Cell*, 4ta. edn. Garland Publishing, New York & London.
- Allemand, J.F., et al. (1997), "pH-dependent specific binding and combing of DNA", *Biophysical Journal* 73, 2064.
- Braun, E., and Sivan, U. (2004), en Niemeyer, C.M., and Mirkin, C.A. (eds.). *Nano biotechnology*, Wiley-VCH, Weinheim: 244-255.

- Crichton, Michel (2004). Presa, Random House Mandadori, Barcelona.
- ITRS (2005). *International Technology Roadmap for Semiconductors 2005* edn., disponible en línea en <http://public.itrs.net/links/2005ITRS/Home2005.htm>
- Lieber, C.M. (2001), "The incredible shrinking circuit", *Scientific American* 285 (3), 50.
- Lieber, C.M. (2003), "Nanoscale science and technology: building a big future from small things", *Mater. Res. Soc. Bull.* 28, 486-491.
- Likharev, K.K. (2003), en *Nano and Giga Challenges in Microelectronics*. Greer, J., Korkin, A., and Labanowski, J. (eds.). Elsevier, Amsterdam: 27-68.
- Luo, D. (2003), "The road from biology to materials", *Materials Today* 6 (11), 38.
- Moore, G. E. (1965), "Cramming more components onto integrated circuits", *Electronics* 38 (8), 114.
- Oviedo, M.J. (2007), *Síntesis de nanoalambres utilizando ADN como mediador*, Tesis de Maestría del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales-UNAM.
- Park, S.-Y., Lytton-Jean, A.K.R., Lee, B., Weigand, S., Schatz, G. C., Mirkin, C. A. (2008), "DNA-programmable nanoparticle crystallization", *Nature* 451, 553-556.
- Roberts, R.J., Macellis, D. (2001), "REBASE-restriction enzymes and methylases", *Nucleic Acids Res.* 29 (1), 268-269.
- Seeman, N.C. (2004A), "Nanotechnology and the double helix", *Scientific American* 290 (6), 64.
- Seeman, N.C. (2004B), en Niemeyer, C.M., and Mirkin, C.A. (eds.). *Nanobiotechnology*. Wiley-vch, Weinheim: 308-318).
- Sin autor (2007). Periódico *El Imparcial*, Sección Informática. Hermosillo, Son, 24 de diciembre.
- Watson, J.D. (1953), and Crick, F.H.C.A., "A structure for deoxyribose nucleic acid", *Nature* 171, 737.



# Nanoquímica: Ingeniería de Nanomateriales

GABRIEL ALONSO-NÚÑEZ\*

En la ingeniería de nanomateriales es muy importante conocer las condiciones óptimas para llevar a cabo una reacción química que permita obtener un producto con propiedades interesantes. Para lograr este objetivo, se debe entender la química a nivel molecular. En este trabajo se describen algunos métodos químicos, los cuales nos permiten obtener materiales nanoestructurados y se dan algunos ejemplos de sus aplicaciones. Explicaremos sobre la preparación de nanotubos de carbón de multipared mediante una técnica conocida como "spray pyrolysis", así como también sobre la síntesis de nanopartículas depositadas en dichos nanotubos, la cual se lleva a cabo por el método de microemulsión.

## INTRODUCCIÓN

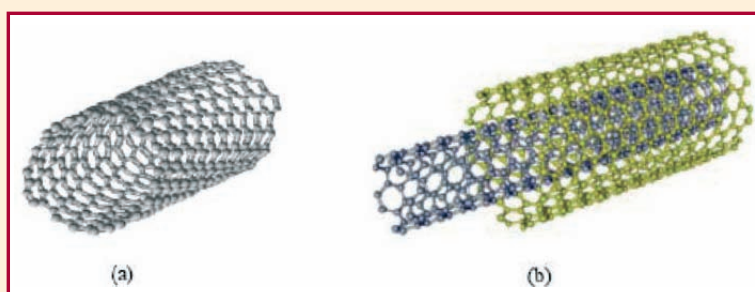
Un área de investigación de mucha actualidad es el desarrollo de auto-ensambles nanoestructurados para fabricar nuevos materiales. Se espera que dichos materiales posean propiedades únicas, las cuales los hagan útiles en áreas como la electrónica, la medicina, la catálisis, los cosméticos, los alimentos, etc. Se sabe que al reducir el tamaño de los materiales a escala nanométrica, éstos adquieren propiedades diferentes en relación con su tamaño macroscópico (partículas micrométricas). Así, por ejemplo, las nanoestructuras presentan mayor área superficial, mayor reactividad química y selectividad, son más ligeras y presentan propiedades electrónicas y ópticas que dependen de su tamaño en esta escala. Las nanoestructuras pueden tener cero, una o dos dimensiones (0D, 1D y 2D respectivamente). En el primer caso, se conocen como puntos cuánticos y un ejemplo de ello son las nanopartículas. Los nanoalambres y nanotubos son nanoestructuras de 1D, mientras que los recubrimientos de capas delgadas son nanoestructuras de 2D (Iijima, 1991). La nanoquímica es una herramienta que permite desarrollar materiales complejos o sistemas autoensamblados a escala molecular. Durante los últimos años, la química ha evolucionado hacia un modelo multidisciplinario, el cual ha llevado a la fusión de la química orgánica, inorgánica, la fisicoquímica, bioquímica y los polímeros como disciplinas emergentes englobadas dentro del término nanociencia y nanotecnología. Mientras que la nanociencia es el conjunto de conocimientos y metodologías dirigidos a estudiar, sintetizar y caracterizar los materiales nanoestructurados. La nanotecnología se define como el desarrollo que permite la construcción y manipulación de materiales a escala nanométrica. Todo esto promete un impacto social y económico mayor en varios órdenes de magnitud que el logrado por las tecnologías que existen hasta la fecha.

\* Centro de Nanociencias y Nanotecnología-UNAM; Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, C.P. 31109, Chihuahua, México. Contacto: galonso@cnyun.unam.mx



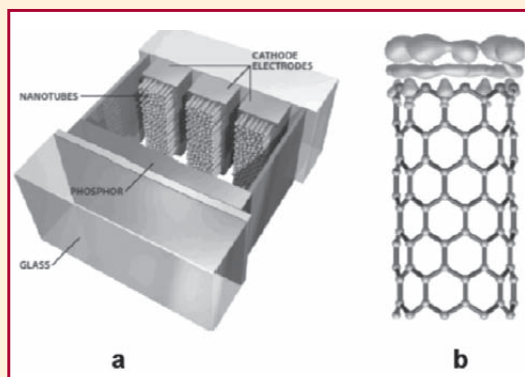
## LOS NANOTUBOS DE CARBÓN

La investigación en nanotubos de carbono (1D) ha despertado gran interés científico (Rothschild *et al.*, 2000). Éstos consisten en estructuras tubulares o cilindros de hojas de grafito. A los nanotubos de carbono (NTC) de una sola hoja se les llama nanotubos de carbono de pared simple (Figura 1a), mientras que cuando éstos están formados por más de dos hojas, se les denomina NTC de multipared (Figura 1b).



**FIGURA 1.** NTC a) de una sola pared (swcnt), b) de multipared (mwcnt).

Los NTC poseen varias propiedades superiores a otros materiales, por ejemplo: su resistencia a la tracción es de  $45 \times 10^9$  pascales mientras que la del acero es de  $2 \times 10^9$  pascales su capacidad de corriente se estima de  $1 \times 10^9$  A/cm<sup>2</sup>, mientras los hilos de cobre se funden a  $1 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>. Debido a las propiedades electrónicas únicas de los nanotubos de carbono, éstos pueden ser usados como materiales de emisión de campo o “field-emission” (FE). Ésta es la capacidad de algunos materiales de emitir electrones bajo un intenso campo eléctrico. Una de las aplicaciones relacionadas con este efecto es la de su uso en las FED (*field emission display*) de las nuevas pantallas planas de TV (Figura 2) (Seraphin, 2006). El efecto FE también permite usar los NTC como puntas emisoras de electrones en los microscopios electrónicos de barrido y en los microscopios de fuerza atómica.



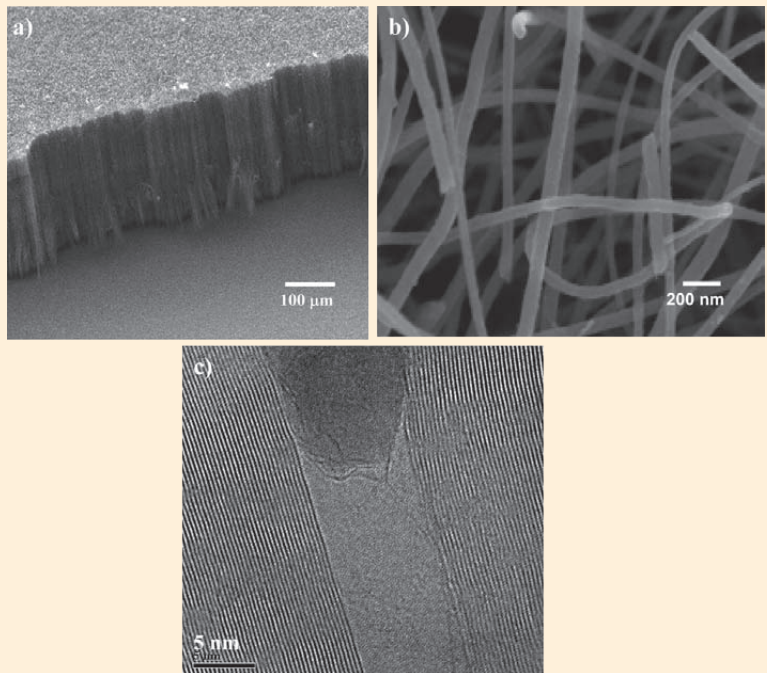
**FIGURA 2.** a) Esquema de una pantalla de tv utilizando cnt; b) NTC dopados con B, los cuales podrían incrementar el efecto FE disminuyendo el voltaje de encendido de  $3.0 \text{ V } \mu\text{m}^{-1}$  a  $1.4 \text{ V } \mu\text{m}^{-1}$ .

## MÉTODOS DE FABRICACIÓN

La síntesis de NTC de multipared se lleva a cabo mediante el método de “*spray pyrolysis*” (Aguilar-

Elguézabal *et al.*, 2006). Se tiene un tubo “vigor” (óxido de silicio o vidrio), el cual se calienta a 900°C dentro de un horno cilíndrico equipado con un controlador de temperatura. Una solución de 25 mL preparada con ferroceno y tolueno se alimenta por medio de un nebulizador con un flujo de Argon al interior del tubo “vigor”. En el interior de este tubo, las moléculas de tolueno se descomponen en átomos de carbono y se ordenan hexagonalmente en forma de nanotubos. Esto sucede por la presencia de nanopartículas de hierro provenientes de la descomposición del ferroceno, las cuales funcionan como catalizadora de la formación de los NTC. De esta manera, se deposita una capa de NTC en forma radial con respecto a la pared interior del tubo “vigor”.

En la figura 3a y 3b se muestran las imágenes de microscopía electrónica de barrido de los NTC obtenidas a baja y alta amplificación respectivamente. En la figura 3a se observa el crecimiento de NTC tipo bosque, éstos se encuentran alineados verticalmente sobre un trozo de tubo “vigor”. Una micrografía de alta resolución con un microscopio electrónico de transmi-



**FIGURA 3. Imágenes de NTC de multipared. a) Crecimiento de los NTC sobre tubo “vigor”, b) Amplificación de NTC. c) Imagen de alta resolución donde se muestran las paredes de carbono de un nanotubo.**

sión se muestra en la figura 3c donde se pueden observar claramente las paredes de carbono de un nanotubo de multipared.

El depósito de nanopartículas sobre los nanotubos de carbono se lleva a cabo por el método de microemulsión. En las siguientes líneas, daremos una breve explicación acerca de este proceso. Existen diferentes tipos de microemulsiones. Por ejemplo: la de agua en aceite (w/o) se forma cuando una pequeña cantidad de agua se dispersa en una fase continua de algún hidrocarburo con la ayuda de un surfactante. La relación molar agua/surfactante tiene un valor específico en el cual permite la formación de micelas (“gotas”) invertidas. Éstas actúan como nanorreactores donde se llevan a cabo las reacciones químicas de forma muy controlada. Estas micelas son de tamaño menor a los 10 nm. Los surfactantes son macromoléculas que presentan una parte hidrofóbica (afinidad al aceite o al hidrocarburo) y otra parte hidrofílica (afinidad por el agua). La parte hidrofóbica está constituida por una o varias cadenas de hidrocarburo. La parte hidrofílica está formada por un grupo frontal, el cual es polar o iónico donde interaccionan los precursores metálicos que darán lugar a las nanopartículas. Las propiedades de los surfactantes son esenciales para la construcción de máquinas moleculares que tengan propiedades tales como auto-organización, ensamblaje, autorreproducción y reconocimiento. Las microemulsiones son sistemas líquidos homogéneos a escala macroscópica, pero son heterogéneos en la escala molecular, ya que existen dominios de agua y aceite separados por una monocapa de surfactante. El tamaño típico de estos dominios está por debajo de la longitud de onda de la luz visible, por lo que estos sistemas son óptimamente transparentes. Este método consiste básicamente en aislar y confinar los precursores de las nanopartículas en una de las fases del sistema, con el fin de facilitar los procesos específicos de reacción y difusión.

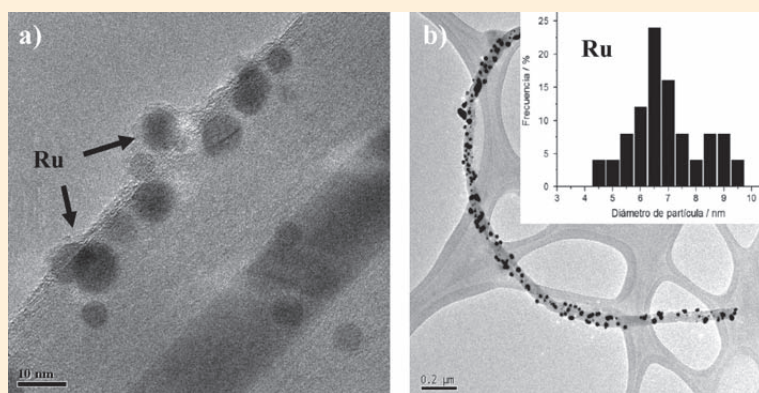
La frontera entre el medio y la región de confinamiento está constituida por los surfactantes, los cuales delimitarán el espacio requerido para la formación de la nanopartícula. Una vez sintetizada la nanopartícula (reducción del catión metálico), dichos surfactantes quedan absorbidos a la superficie de las mismas previniendo la aglomeración y precipitación de éstas. Al mismo tiempo, permiten tener un control del tamaño y la forma de la nanopartícula. Los NTC funcionan como soporte de las nanopartículas, para lograr mayor dispersión de éstas y así aumentar el área superficial. Además, los soportes con base en carbono presentan gran interés debido a características específicas como son: su resistencia a los medios ácido/base y por su transporte electrónico (Verde *et al.*, 2007). Las nanopartículas sintetizadas por microemulsión y soportadas en NTC presentan propiedades útiles en catálisis heterogénea, por ejemplo: como electroca-

talizadores en celdas de combustible de intercambio protónico, síntesis de metanol, producción de hidrógeno, fotocatalisis, oxidación de olefinas e hidrocarburos y foto-electrólisis del agua (Eriksson, 2004).

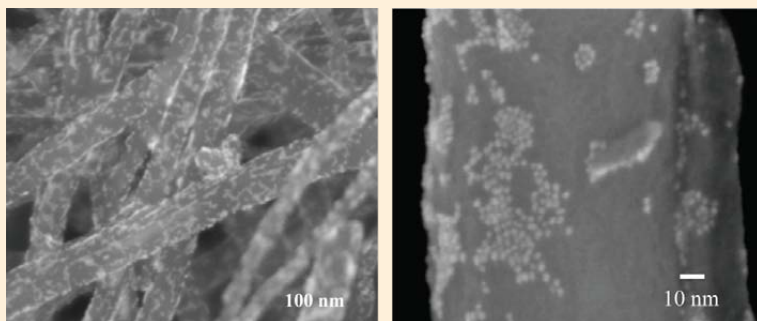
Aquí se describe la síntesis de nanopartículas de Ru y Pt depositadas sobre NTC por el método de microemulsión. Primero se prepara una solución acuosa de hexaclororutenato de amonio  $(\text{NH}_4)_2\text{RuCl}_6$  o ácido hexacloroplatínico  $\text{H}_2\text{PtCl}_6$  como precursores de nanopartículas de Ru o Pt respectivamente a una concentración de 0.01M. Como surfactante se utilizó el éter-docecil-glicol-tetraetileno y hexano como fase oleíca, posteriormente se añadió una suspensión CNT previamente dispersados en la misma fase oleíca. Todo el proceso se realiza en constante agitación con la finalidad de depositar las micelas sobre la superficie de los nanotubos aprovechando su carácter hidrofóbico. Finalmente, las nanopartículas depositadas sobre los NTC se obtienen al precipitar el material con acetona y una solución de agente reductor (borohidruro de sodio) sobre la suspensión. El material se filtra y se seca.

En la figura 4 se muestran las imágenes por microscopía electrónica de transmisión de las nanopartículas de Ru depositadas sobre NTC por el método de microemulsión. En la figura 4a se observan las nanopartículas de Ru de aproximadamente 7 nm de diámetro sobre los NTC de multipared. En la figura 4b se observa la distribución homogénea de nanopartículas de Ru a lo largo de un nanotubo de carbono con un histograma indicando el promedio del tamaño de las nanopartículas.

Por este mismo método de síntesis se pueden obtener materiales bi-metálicos. En la figura 5 se muestran las imágenes de nanopartículas de Pt-Ru a baja (a) y alta (b) amplificación y soportadas en NTC. En la imagen



**FIGURA 4. Nanopartículas de Ru depositadas en NTC. a) Amplificación de las nanopartículas de Ru. b) Histograma de distribución de nanopartículas de Ru.**



**FIGURA 5. Nanopartículas de Ru-Pt soportadas en ntc. a) baja y b) alta ampliación.**

5b se puede observar que las nanopartículas presentan una dispersión y un diámetro homogéneo de 4 nm aproximadamente.

## CONCLUSIONES

Por el método de *spray pyrolysis* se obtienen ntc de multipared con buena calidad, siendo éste, un proceso sencillo y de bajo costo. Por el método de microemulsión se logra obtener nanopartículas de tamaño homogéneo y depositadas con buena dispersión sobre ntc.

## BIBLIOGRAFÍA

- Iijima, S., (1991). "Helical microtubules of graphitic carbon." *Nature* 354, 56-58.
- Rothschild, A., Sloan, J. y Tenne, R., (2000). "Growth of WS<sub>2</sub> Nanotubes Phases". *Journal of the American Chemical. Society.* 122, 21: 5169.
- Seraphin, S., (2006). "Brief Review: Basic Properties and Applications of Carbon nanotubes". *Microscopy Today.* Vol 14, No. 2.
- Aguilar-Elguézabal, A., Antunez, W., Alonso, G., Paraguay, F., Espinosa, F., Mikiyoshida, M. (2006). *Diamond and Related Materials.* Vol. 15, No. 9: 1329-1335.
- Verde, Y., Leer, A., Miki Yoshida, M., Paraguay-Delgado, F., Alonso-Nuñez, G., Avalos, M., (2007). "Aqueous Deposition of Metals on Multiwalled Carbon Nanotubes to be used as Electrocatalyst for Polymer Exchange Membrane Fuel Cells". *Journal of fuel cell science and technology.* Vol. 4, No. 2.
- Eriksson et al., (2004). "Preparation of catalysts from microemulsions and their applications in heterogeneous catalysis". *Applied Catalysis A: General.* Vol. 265, No.2: 207.



# Conmutadores ópticos no lineales e información cuántica a partir de nanocompositos metálicos anisotrópicos

ALICIA OLIVER\*  
JORGE ALEJANDRO REYES-ESQUEDA\*

El uso de nuevos materiales del tamaño de una millonésima del espesor de un cabello, es decir de tamaño nanométrico, así como su respuesta óptica ultrarrápida a altas intensidades de la luz, promete revolucionar la comunicación entre los seres humanos mediante la creación de conmutadores ópticos no lineales y el manejo de la información a través de métodos cuánticos. En el Instituto de Física de la UNAM, estamos dirigiendo nuestros esfuerzos en esa dirección a través de la fabricación de nanopartículas metálicas deformadas y embebidas en una matriz dieléctrica, tal como el vidrio, obteniendo así nanocompositos metálicos anisotrópicos capaces de lograr tal revolución.

La necesidad de mayor rapidez en la conmutación de señales es lo que ha permitido los grandes avances en la computación y en general en las telecomunicaciones, por ejemplo la implementación de señales de GPS (Global Positioning System, en Inglés) en teléfonos móviles. Sin embargo, la microelectrónica desde hace una década llegó a sus límites, tanto de confinamiento electrónico como económico. Esto ha significado el tener que dar paso a la optoelectrónica, pero aún así, como la conmutación más rápida se da cuando el proceso es completamente óptico, actualmente se busca que la fotónica reduzca las dimensiones de sus dispositivos para ser competitiva en tamaño con la microelectrónica integrada.

En este sentido, la conmutación óptica de señales es una aplicación que fue propuesta hace ya algunos años para realizar operaciones lógicas con luz, las cuales serían utilizadas en sistemas de procesamiento óptico de información. El principio de operación de estos sistemas está basado en la obtención de una interacción entre dos haces de luz, explotando la respuesta óptica no lineal del material en que se propagan (Figura 1). La

\* INSTITUTO DE FÍSICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, CORRESPONDENCIA: OLIVER@FISICA.UNAM.MX; REYES@FISICA.UNAM.MX

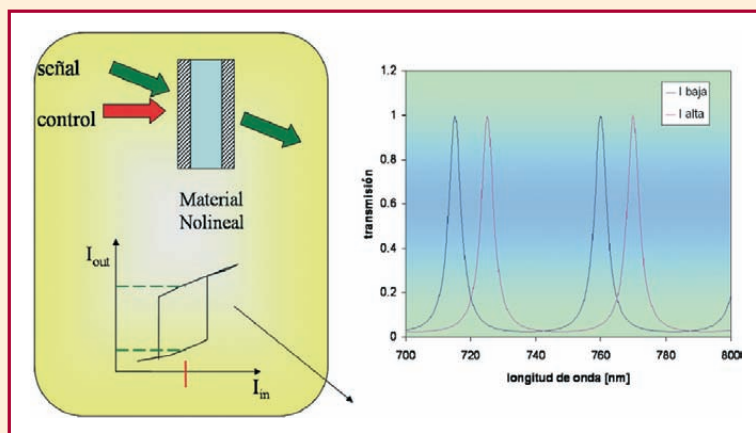


FIGURA 1. Conmutación óptica no lineal para producir 0's y 1's con luz.

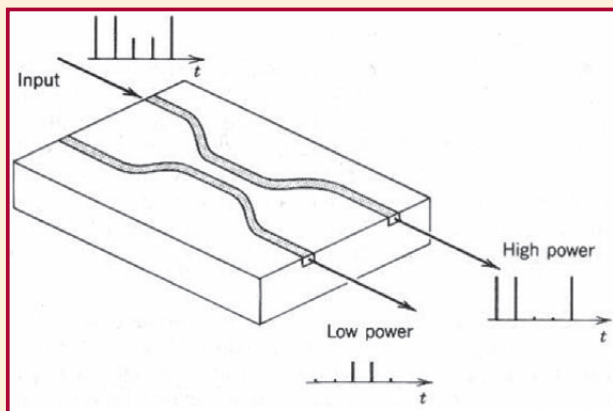
idea era aprovechar la muy alta frecuencia de la luz, lo que en principio permitiría procesar información a tasas mucho más altas que los medios electrónicos convencionales.

Las dificultades técnicas encontradas en la implementación de estas compuertas, han impedido la fabricación y empleo de dispositivos prácticos. Estas dificultades tienen que ver en parte con la falta de materiales con las características idóneas, tales como una no linealidad óptica alta y un tiempo de respuesta ultracorto, y en parte, con la adopción de arquitecturas estándar óptimas. Por ejemplo, el tener una respuesta óptica no lineal significa utilizar altas intensidades de la luz, las cuales pueden a su vez dañar la estructura del material y, por tanto, reducir el tiempo de vida del dispositivo.

Se ha intentado revertir estas dificultades debido al gran auge de las telecomunicaciones ópticas en los últimos años y a la necesidad de eliminar los cuellos de botella originados por dispositivos de conversión óptico-eléctrico-óptico de los conmutadores y repetidores actuales en estos sistemas. En particular existe un gran interés en la implementación de funciones de conmutación de señales ópticas. Por ejemplo, la técnica de multiplexado óptico por división en el tiempo (OTDM *optical time division multiplexing*, en inglés), requiere conmutadores ópticos con tiempos de respuesta ultrarrápidos (Figura 2).

Así mismo, la integración de dichos dispositivos de conmutación completamente ópticos en sistemas de telecomunicaciones, hace que la elección de dispositivos basados en guías de onda sean particularmente atractivos.

También existe una nueva área de la información que tiene que ver con nuevos materiales con una respuesta óptica no lineal importante y ultrarrápida, la cual promete causar una nueva revolución tecnológica en las telecomunicaciones. Esta área es la de la información cuántica, donde se tiene una amplia gama de resultados que contradicen nuestra intuición. Así, por ejemplo, en una computadora cuántica sería posible, en principio, escribir un programa informático para resolver un problema y obtener la solución a él sin necesidad de ejecutar tal programa, aunque siempre sería necesario prender, al menos, tal computadora (Dowling, 2006; Hosten *et al.*, 2006).



**FIGURA 2.** Conmutador óptico no lineal en guía de onda para técnica de multiplexado óptico por división en el tiempo.

Por todo lo anterior, se ha explorado y evaluado la respuesta óptica no lineal observada en toda una gama de materiales para su posible explotación en este tipo de nuevos dispositivos. Los materiales estudiados incluyen: semiconductores, polímeros, vidrios y nanopartículas (NPs). En particular, NPs metálicas embebidas en matrices vítreas han mostrado tener coeficientes ópticos no lineales relativamente grandes con tiempos de respuesta ultrarrápidos.

La síntesis de NPs metálicas por implantación de iones proporciona un excelente método para la construcción de conmutadores ópticos, debido a que esta técnica produce guías de ondas en forma natural. El Instituto de Física de la UNAM cuenta con un acelerador de partículas que puede implantar una gran diversidad de iones en sólidos, entre ellos metales nobles. Debido a todo esto, nos hemos propuesto estudiar la implementación de dispositivos prototípicos de conmutación completamente óptica de señales, usando geometrías de guiado de ondas basados en nanopartículas metálicas en matrices vítreas, producidas por implantación iónica. De esta forma, queremos aprovechar la respuesta óptica no lineal ultrarrápida de las nanopartículas, combinada con la conveniencia de una arquitectura de guías de onda, para producir dispositivos con un potencial muy alto en aplicaciones de conmutación completamente óptica de señales. Esta arquitectura también está comenzando a mostrar grandes ventajas en la generación de puertos lógicos en información cuántica (Garay-Palmett. *et al.*, 2007; Takesue *et al.*, 2008).

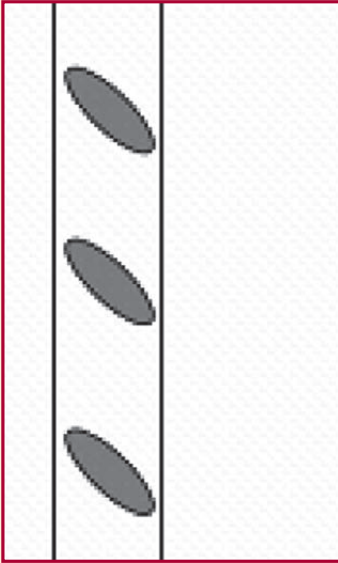
Actualmente, el gran problema de la fotónica es que el guiado de las ondas electromagnéticas por las guías de onda convencionales ocupa espacios de micras, lo que hace que dichos dispositivos sean voluminosos, en contrapartida con la microelectrónica. Sin embargo, se está estudiando la posibilidad de transmitir la energía de una onda electromagnética a través de los modos de resonancia del plasmón de superficie de nanopartículas metálicas embebidas en un dieléctrico transparente, lo que permitiría el transporte de información por guías nanométricas, tanto del tipo clásica como cuántica (Lassiter *et al.*, 2008, Reyes-Esqueda, sin fecha).

Debido a todo lo anterior, desde hace diez años, miembros del Grupo de Análisis y Modificación de Materiales con Aceleradores de Iones (GAMMAI) del IFUNAM, Dr. Juan Carlos Cheang Wong, Dr. Luis Rodríguez, Dr. Alejandro Crespo, Dra. Alejandra López y Dra. Alicia Oliver, han estudiado, usando el Acelerador "Marcos Mazari" del IFUNAM [Figura 3], la nucleación de nanopartículas metálicas y semiconductoras en dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), por medio de la implantación de iones a energías del orden de megaelectronvolts, MeV (Peña *et al.*, 2007A y 2006; Roiz *et al.*, 2004; Duong *et al.*, 2003; Barthou *et al.*, 2003; Oliver *et al.*, 2002, 2000 y 1998; Cheang-Wong *et al.*,



**FIGURA 3. Acelerador "Marcos Mazari" del IFUNAM.**

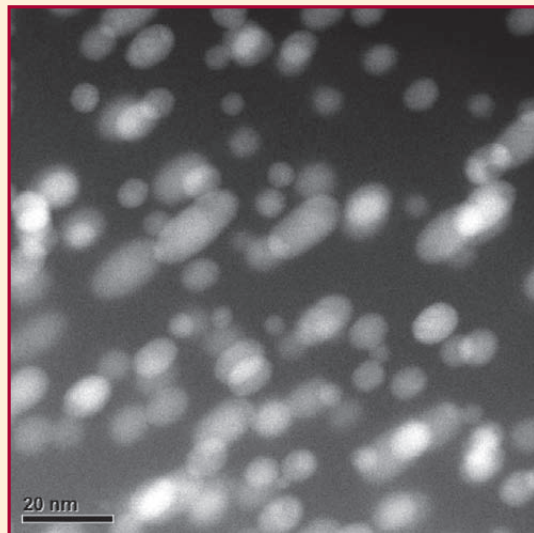
2001AA, 2001B y 2000; y Pal *et al.*, 2000). Gracias a esta experiencia, se ha podido reducir el ancho de la distribución de tamaños de las nanopartículas por medio del control de los parámetros de la implantación de iones y de recocidos a diferentes temperaturas en diferentes atmósferas. Recientemente, se publicó en la literatura que la sílice se podía deformar por medio de la irradiación de iones con energías del orden de decenas de MeV. El grupo experimentó y pudo confirmar este hecho irradiando partículas de  $\text{SiO}_2$  con iones a estas energías (Cheang-Wong *et al.*, 2006 y 2007). Con base en esta experiencia, se propuso hacer experimentos con el fin de deformar nanopartículas de Plata (Ag) en  $\text{SiO}_2$ , metal en el cual no se había observado deformación bajo las condiciones mencionadas, suponiendo, acertadamente, que el que otros grupos no pudieran observar la deformación en Ag por microscopía electrónica de transmisión (TEM), era debido a la alta movilidad de la Ag en la sílice, y que la nanopartícula de Ag más la sílice circundante, al estar en interacción con el haz de electrones, regresaba a su configuración de simetría esférica, perdiendo su estructura alargada. Por lo tanto, propusimos como método de análisis a la absorción óptica como método complementario al de la microscopía electrónica. Los resultados obtenidos mostraron que efectivamente se podía cambiar la forma de nanopartículas de Ag en  $\text{SiO}_2$  por medio de irradiación con iones de decenas de MeV, transformándolas de una forma cuasiesférica a una alargada en forma controlada (Figuras 4 y 5). Este resultado (Oliver *et al.*, 2006), el primero para partículas de Ag, abre una gran posibilidad de manipular el plasmón de superficie en forma controlada. El hecho de que se tratara de nanopartículas de Ag es importante, ya que la banda de absorción de la resonancia del plasmón de superficie de este metal es particularmente estrecha, comparada con la de oro (Au) y cobre (Cu), de tal manera que esta banda está muy bien definida y es intensa, permitiendo hacer un buen seguimiento del plasmón de superficie, y dando información sobre la posibilidad de transportar con



**FIGURA 4. Esquema del arreglo de nanopartículas metálicas alargadas y orientadas en la misma dirección dentro de una matriz vítrea.**

eficiencia energía electromagnética (Van Hulst, 2007; De Waele *et al.*, 2007). Este hecho es de suma importancia ya que, de poderse transportar la energía de una onda electromagnética a través de los modos de la resonancia del plasmón de superficie de nanopartículas metálicas, y poder recuperarla otra vez como onda electromagnética, permitirá reducir el tamaño de micras para la transmisión de señales en el infrarrojo para telecomunicaciones (guías de onda convencionales), a dimensiones de decenas de nanómetros, a través de un cierto arreglo de nanopartículas metálicas. Esta aplicación tiene todavía muchos problemas técnicos difíciles de resolver, sin embargo, existen algunos grupos en el mundo trabajando en ello.

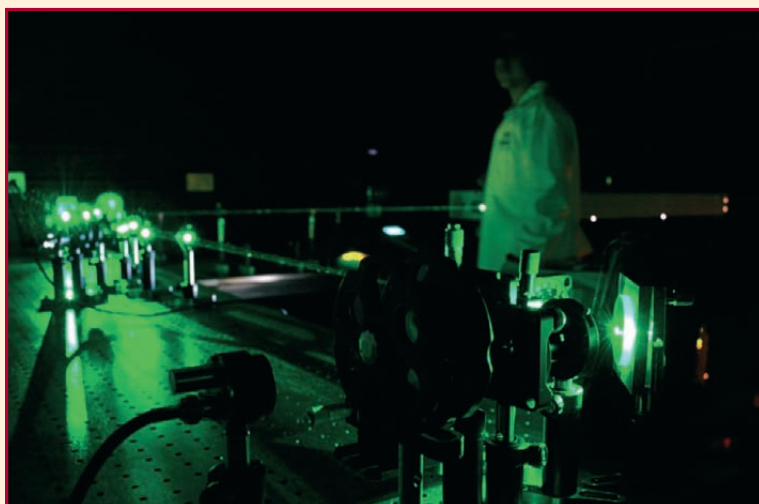
Igualmente, este arreglo de nanopartículas metálicas alargadas y orientadas todas en la misma dirección le confiere a dicho arreglo contenido en una matriz de sílice una respuesta óptica conocida como birrefringencia, la cual consiste en mostrar una anisotropía del índice de refracción, es decir diferentes índices para cada eje de simetría del material. Esta birrefringencia, aunada a la respuesta óptica no lineal del material, permitiría, en principio, generar fotones enredados en su estado de polarización a partir de nanopartículas metálicas anisotrópicas. Esto es, fotones que reaccionarían de manera instantánea (Rudolph *et al.*, 2008) a la manipulación del estado de polarización de alguno de ellos.



**FIGURA 5. Micrografía electrónica por contraste Z del esquema anterior.**

La formación de guías de onda por implantación ya es un hecho, por lo tanto nos hemos enfocado por el momento en construir guías de onda con nanopartículas de Ag y Au que tengan una alta respuesta óptica no lineal. La respuesta óptica no lineal en los dieléctricos con nanopartículas metálicas se debe mayormente a procesos de tercer orden, los cuales se pueden describir como la modificación, mediante un haz intenso de luz, del índice de refracción del material y/o su absorción óptica. La modificación del índice de refracción se conoce como el efecto Kerr; el cual es el más importante para las aplicaciones en todos los dispositivos de conmutación óptica. Es por esto que el grupo GAMMAI sumó sus esfuerzos a los del Dr. Alejandro Reyes del Departamento de Estado Sólido del mismo IFUNAM, asesorados por el Dr. Raúl Rangel Rojo del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), para entender y mejorar la respuesta óptica no lineal de este tipo de materiales (Torres-Torres *et al.*, 2007 y 2008; Fandiño *et al.*, 2008; Reyes-Esqueda *et al.*, 2008; Rodríguez-Iglesias *et al.*, 2008; Ranjel-Rojo *et al.*, 2008; Peña *et al.*, 2007B), y del Dr. Heriberto Márquez del mismo centro, en la búsqueda de las aplicaciones mencionadas antes (Figura 6).

Esto pone de relieve a los estudios de la banda de absorción del plasmón de superficie para proporcionar información sobre la respuesta óptica no lineal y la calidad de transmisión en las guías de onda, así como sobre las condiciones de la nucleación de las nanopartículas metálicas que presenten fuertes acoplamientos que propaguen los modos del plasmón de superfi-



**FIGURA 6. Laboratorio de óptica no lineal del IFUNAM.**



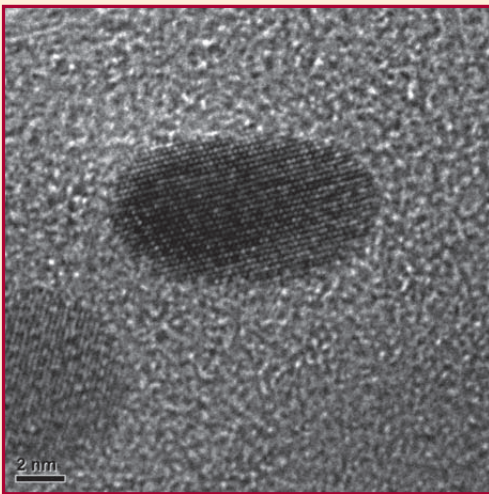


**FIGURA 7. Microscopio electrónico de transmisión de emisión de campo del IFUNAM.**

cie. Estos estudios son muy importantes para poder conseguir la meta de guiar la información electromagnética por guías nanométricas (Inouye *et al.*, 2000).

Sin embargo, también ha sido necesario retomar el estudio de estos materiales mediante microscopía electrónica, ya que las propiedades ópticas de las nanopartículas dependen del tamaño y forma de éstas, y dadas las prometedoras perspectivas que tienen los materiales dieléctricos con nanopartículas metálicas para aplicaciones, ya sean cuasiesféricas o alargadas, el grupo GAMMAI junto con el Dr. Jesús Arenas del Departamento de Materia Condensada, también del IFUNAM y el Dr. G Kellerman de Brasil, se han avocado a hacer todo un estudio de su distribución de tamaños, de su distribución de formas, y de su composición, utilizando microscopía electrónica Peña *et al.*, 2007A; Cheang-Wong *et al.*, 2007B) (figuras 7 y 8) y dispersión de rayos-x a ángulo pequeño con incidencia rasante utilizando radiación de sincrotrón (GISAXS) (Rodríguez-Iglesias *et al.*, 2008).

En conclusión, los estudios llevados a cabo en el Instituto de Física de la UNAM, así como por supuesto, en otras partes del mundo, tarde o temprano darán resultados tecnológicos que revolucionarán el manejo de la información que conocemos ahora. Si de hecho,



**FIGURA 8. Microscopía electrónica de alta resolución de NPs de Au deformadas.**

el uso de los teléfonos portátiles y las computadoras ha causado ya una revolución en la comunicación entre los seres humanos, la nanotecnología y la información cuántica prometen revolucionarlo aún más, llevándonos a límites que ni sólo la ciencia ficción se ha atrevido a explorar. Y nuestro sentir es que eso sucederá muy pronto.

## REFERENCIAS

- Barthou, C., Duong, P. H., Oliver, A., Cheang-Wong, J. C., Rodríguez-Fernández, L., Crespo-Sosa, A., Itoh, T., y Lavallard, P., (2003). "Silicon nanocrystals and defects produced by silicon and silicon-and-gold implantation in silica". *Journal of Applied Physics*. **93**, 10110.
- Cheang-Wong, J. C., Morales, U., Reséndiz, E., Oliver, A., y Rodríguez-Fernández, L., (2007 A). "Deformation of colloidal silica particles using MeV Si ion irradiation". *Journal of Non-Crystalline Solids*. 353, 1925.
- , Oliver, A., Rodríguez-Fernández, L., Arenas-Alatorre, J., Peña, O., y Crespo-Sosa, A., (2007 B). "Optical absorption and HRTEM characterization of metallic nanoparticles produced by MeV Ion implantation". *Revista Mexicana de Física S* 53, 49.
- , Morales, U., Oliver, A., Rodríguez-Fernández, L., y Rickards, J., (2006). "MeV ion beam deformation of colloidal silica particles". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 242, 452.
- , Oliver, A., Roiz, J., Hernández, J. M., Rodríguez-Fernández, L., y Crespo, A., (2001 A). "Optical Absorption and Emission Study of 2 MeV Cu-Implanted Silica Glass". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 175-177, 495.
- , Oliver, A., Roiz, J., Hernández, J. M., Rodríguez-Fernández, L., Morales, J. G., Crespo, A., (2001 B). "Optical Properties of Ir<sup>2+</sup>-Implanted Silica Glass". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 175-177, 490.
- , Oliver, A., Roiz, J., Rodríguez-Fernández, L., Hernández, J. M., Crespo-Sosa, A., (2001 C). "Relationship between the Ag depth profiles and the nanoparticle formation in Ag-implanted silica". *Journal of Physics: Condensed Matter*. 13, 10207.
- , Oliver, A., Crespo, A., Hernández, J. M., Muñoz, E., y Espejel-Morales, R., (2000). "Dependence of the optical properties on the ion implanted depth profiles in fused quartz after a sequential implantation with Si and Au ions". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 161-163, 1058.
- De Waele, R., Koenderink, A. F., y Polman, A., (2007). "Tunable nanoscale localization of energy on plasmon particle arrays". *Nano Letters*. 7, 2004.
- Dowling, P (2006). "To compute or not to compute?" *Nature* 439, 919-920.
- Duong, P. H., Lavallard, P., Oliver, A., e Itoh, T., (2003) "Temperature dependence of photoluminescence from localized states of silicon nanocrystals in silicon-implanted quartz". *Physica Status Solidi C*. Vol. 0, No. 4: 1271-1274.
- Fandiño, J., García-Sánchez, M. F., Santana, G., Crespo, A., Alonso, J. C., y Oliver, A., (2008). "Correlation between microstructure of plasma-modified gold

- nanoclusters and their optical Properties". *Superlattices and Microstructures*. 43, 454.
- Garay-Palmett, K., McGuinness, H. J., Cohen, O., Lundeen, J. S., Rangel-Rojo, R., U'Ren, A. B., Raymer, M. G., McKinstrie, C.J., Radic, S., y Walmsley, I. A., (2007). "Photon pair-state preparation with tailored spectral properties by spontaneous four-wave mixing in photonic-crystal fiber". *Optics Express*. Vol. 15, No. 22: 14870.
- Hosten, O., Rakher, M. T., Barreiro, J. T., Peters, N. A., y Kwiat, P. G (2006). "Counterfactual quantum computation through quantum interrogation". *Nature* 439, 949-952.
- Inouye, H., Tanaka, K., Tanahashi, I., Hattori, T., y Nakatsuka, H., (2000). "Ultrafast Optical Switching in a Silver Nanoparticle System". *Japanese Journal of Applied Physics*. 39, 5132.
- Lassiter, J. B., Aizpurua, J., Hernández, L. I., Brandl, D. W., Romero, I., Lal, S., Hafner, J. H., Nordlander, P., y Halas, N. J., (2008). "Close encounters between two nanoshells". *Nanoletters* No. 8: 1212.
- Oliver, A., Reyes-Esqueda, J. A., Cheang-Wong, J. C., Román-Velázquez, C. E., Crespo-Sosa, A., Rodríguez-Fernández, L., Seman, J. A., Noguez, C., (2006). "Controlled anisotropic deformation of Ag nanoparticles by Si ion irradiation". *Physical Review B*. 74, 245425.
- , Cheang-Wong, J. C., Roiz, J., Rodríguez-Fernández, L., Hernández, J. M., Crespo-Sosa, A., y Muñoz, E., (2002). "Metallic nanoparticle formation in ion-implanted silica after thermal annealing in reducing or oxidizing atmospheres". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*. 191, 333.
- , Cheang, J. C., Crespo, A., Rodríguez-Fernández, L., Hernández, J. M., Muñoz, E., y Espejel-Morales, R., (2000) "E' and B2 Center Production in Amorphous quartz by MeV Si and Au Ion Implantation". *Materials Science and Engineering B*. 78, 32.
- , Cheang-Wong, J. C., Crespo, A., Hernández, J. M., Solís, C., Muñoz, E., Espejel-Morales, R., y Siejka, J., (1998). "Study of the optical properties of fused quartz after a sequential implantation with Si and Au ions". *Applied Physics Letters*. 73, 1574.
- Pal, U., Bautista-Hernández, A., Rodríguez-Fernández, L., y Cheang-Wong, J. C., (2000). "Effect of Thermal Annealing on the Optical Properties of High-Energy Cu Implanted Silica Glass". *Journal of Non-Crystalline Solids*. 275, 65.
- Peña, O., Cheang-Wong, J. C., Rodríguez-Fernández, L., Arenas-Alatorre, J., Crespo-Sosa, A., Rodríguez-Iglesias, V., Oliver, A., (2007 A). "Metal and metal oxide nanoparticles produced by ion implantation in silica: A microstructural study using HRTEM". *Nuclear Instruments and Methods B*. Vol. 257, No. 99.
- , Rodríguez-Fernández, L., Roiz, J., Cheang-Wong, J. C., Arenas-Alatorre, J., Crespo-Sosa, A., y Oliver, A., (2007 B). "Average size of Ag nanoclusters in silica determined by optical light absorption measurements". *Revista Mexicana de Física*. S 53, 62.
- , Rodríguez-Fernández, L., Cheang-Wong, J. C., Santiago, P., Crespo-Sosa, A., Muñoz, E., y Oliver, A., (2006). "Characterization of nanocluster forma-

- tion in Cu-implanted silica: Influence of the annealing atmosphere and the ion fluence". *Journal of Non-Crystalline Solids*. 352, 349.
- Rangel-Rojo, R., McCarthy, J., Bookey, H. T., Kar, A. K., Rodríguez-Fernández, L., Cheang-Wong, J. C., Crespo-Sosa, A., Lopez-Suarez, A., Oliver, A., Rodríguez-Iglesias, V., y Silva-Pereyra, H. G., (2008). "Anisotropy in the non-linear absorption of elongated silver nanoparticles in a silica matrix, probed by femtosecond pulses". Trabajo sometido a: *Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO*.
- Reyes-Esqueda, J. A., Torres-Torres, C., Cheang-Wong, J. C., Crespo-Sosa, A., Rodríguez-Fernández, L., Noguez, C., y Oliver, A., (2008). "Large optical birefringence by anisotropic silver nanocomposites". *Optics Express*. 16: 710.
- Reyes-Esqueda, J. A (sin fecha). "Información cuántica a partir de nanocompuestos metálicos anisotrópicos". Proyecto de Investigación CONACYT. IFUNAM. México.
- Rodríguez-Iglesias, V., Silva-Pereyra, H. G., Cheang-Wong, J. C., Reyes-Esqueda, J. A., Fernández-Fernández, L., Crespo-Sosa, A., Kellerman, G., y Oliver, A., (2008). "MeV Si ion irradiation effects on the optical absorption properties of metallic nanoparticles embedded in silica". *Nuclear Instruments and Methods B*. 266, 3138.
- Roiz, J., Oliver, A., Muñoz, E., Rodríguez-Fernández, L., Hernández, J. M., y Cheang-Wong, J.C., (2004) "Modification of the optical properties of Ag-implanted silica by annealing in two different atmospheres". *Journal of Applied Physics*. 95, 1783.
- Rudolph, T. G., (2008). "The speed of instantly". *Nature*. 454, 831.
- Salart, D., Baas, A., Branciard, C., Gisin, N., y Zbinden, H., (2008). *Nature*. 454, 861.
- Takesue, H., Fukuda, H., Tsuchizawa, T., Watanabe, T., Yamada, K., Tokura, Y., e Itabashi, S., (2008). "Generation of polarization entangled photon pairs using silicon wire waveguide". *Optics Express*. Vol. 16, No. 8: 5721.
- Torres-Torres, C., Reyes-Esqueda, J. A., Cheang-Wong, J. C., Crespo-Sosa, A., Rodríguez-Fernández, L., y Oliver, A., (2008). "Optical third-order nonlinearity by nanosecond and picosecond pulses in Cu nanoparticles in ion-implanted silica". *Journal of Applied Physics*. 104, 014306.
- , Khomenko, A. V., Cheang-Wong, J. C., Rodríguez-Fernández, L., Crespo-Sosa, A., y Oliver, A., (2007). "Absorptive and refractive nonlinearities by four-wave mixing for Au nanoparticles in ion-implanted silica". *Optics Express*. 15, 9248.
- , López-Suárez, A., Tamayo-Rivera, L., Rangel-Rojo, R., Crespo-Sosa, A., Oliver, A., (sin fecha). "Thermo-optic effect and optical third order nonlinearity in nc-Si embedded in a silicon-nitride film". *Optic Express*. Aceptado.
- Van Hulst, N. F., (2007). "Light in chains". *Nature*. Vol. 448, No. 141.

## Nanoética buena - Nanotecnología buena<sup>1</sup>

ROGER STRAND\*  
RUNE NYDAL\*\*

Este artículo no identifica “lo nuevo” de los productos nano en sí, sino el hecho de que la nanotecnología emerge como una fuerza fuerte y expansiva de desarrollo científico y tecnológico en un momento histórico en el que hay un consenso emergente de que la reflexión ética tiene que incluirse en la fase inicial; un consenso que por lo menos parece estar en el ámbito político europeo.

Los retos institucionales parecen coincidir con los principales retos intelectuales, surgiendo del mismo contexto histórico. En vez de analizar los “problemas éticos” concretos y a menudo muy limitados que se han identificado alrededor de la nanotecnología actual, proponemos una investigación y reflexión sobre las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad tal y como se han estudiado e investigado en los últimos años dentro de la filosofía y sociología de la ciencia y la tecnología, así como en los estudios “CTS” (Ciencia, Tecnología y Sociedad). Lo que hace falta, es entender y aplicar este conocimiento en el contexto de los retos institucionales que quedan por resolver. Dígase, ¿Cómo llegar a la buena sociedad nanotecnológica?

### INTRODUCCIÓN: EL CAMINO QUE LLEVÓ A LA NOCIÓN DE QUE LA ÉTICA ES UNA PARTE NORMAL DEL DESARROLLO NANOTECNOLÓGICO

Cuando se exige la “nanoética”, ¿qué exactamente es lo que hace falta?

Varios informes de diversos países (véase: NSF, 2001; NFR, 2005; RE/RAE, 2004; RNA, 2004; UNESCO, 2006; NAF, 2006) ya recomendaron desde hace años que el desarrollo nanotecnológico siguiera en paralelo al de las competencias éticas. Uno de los puntos comunes de dichos informes es que la nanotecnología es vista como un ámbito de la mayor importancia estratégica; una importancia que incluso se comparara con la revolución industrial del siglo XIX. Además, se puede observar que los informes subrayan la importancia de introducir la ética desde el inicio del desarrollo de la nanotecnología con el objeto de apoyar y reforzar la legitimidad y el reconocimiento de este nuevo campo de la ciencia y la tecnología como una actividad y fuerza positiva para la sociedad.

El propósito de esta reflexión es identificar algunos retos destacados para la ética de la ciencia y la tecnología en este contexto. Nuestra pregunta es metodológica: ¿Cómo formar competencias nano-éticas que pueden contribuir al desarrollo bien pensado, responsable, razonable y **bueno** de la nanotecnología? Esto llamamos el sentido positivo de la ética, contrastado por el sentido negativo que suele dominar actividades éticas, preguntando por los **problemas** éticos que hay que resolver y eliminar. Estamos de acuerdo con Johnsen (2007) y otros de que existe el peligro de que la nanoética se limite a lo negativo, y que las competencias académicas que se están formando, consistan en saber cómo identificar y evitar efectos secundarios dañinos, producto de un desarrollo que en sí se ve como algo positivo.

Las políticas “nano” de Europa y Estados Unidos (EUA) parecen seguir con la misma retórica de legitimización que dominaba la introducción de

\* Centro para el Estudio de las Ciencias y las Humanidades, Universidad de Bergen, Noruega.

\*\* Programa de la Ética Aplicada, Universidad Nacional Politécnica de Noruega (NTNU), Noruega.

<sup>1</sup> El trabajo es una versión adaptada de un artículo originalmente escrito para lectores noruegos y publicado en la revista *Etikk i Praksis* (Revista Nordica de Ética Aplicada).



la genómica. Esta retórica se puede ver como reconocimiento, al menos implícito, de que el desarrollo científico-tecnológico está conectado y es parte del desarrollo de la sociedad en general. Para aplicar un término de la filosofía de la ciencia y los estudios CTS; parece emerger la comprensión de que hay una **coproducción** de ciencia, tecnología y sociedad (Jasanoff, 2004). Desde esta perspectiva, la ética tiene un lugar que no es controvertido **dentro** de los procesos de desarrollo. Un ejemplo de nuestro país, Noruega, servirá para ilustrar. En 2001, el Consejo Científico Noruego (NFR) organizó una jornada para la promoción de la genómica funcional. En las comunicaciones de invitación no había duda sobre el mensaje clave: sean como sean nuestros deseos o actitudes hacia la biotecnología, la llegada de la sociedad biotecnológica es un hecho inevitable. En la invitación a la jornada —ampliamente enviada a científicos, políticos, la prensa, la industria y el gobierno— quedó claro que la pregunta no era si la biotecnología sería una fuerza importante en la sociedad futura, sino **cómo** este desarrollo se podría manejar, en qué dirección se podría navegar, y quién tomaría las decisiones. Una de las conclusiones fue alocar 3-5% de los recursos totales públicos para investigación genómica a estudios “ELSA” (aspectos éticos, legales y sociales) siguiendo el modelo del Proyecto Genoma Humano de EUA.

El objetivo de dichos estudios ELSA en Noruega, resultó ser muy parecido a los de EUA. Es decir, la identificación y predicción de aspectos problemáticos, para evitar o minimizar las implicaciones negativas sociales (Fisher 2005). En el plan nacional noruego de la genómica funcional se dijo:

...como cualquier tecnología potente, la biotecnología puede ser objeto de uso y abuso. Por tanto, es necesario conseguir que la investigación siempre siga los principios éticos fundamentales de nuestra cultura.” (FUGE, 2001a; FUGE, 2001b).

La ética aparecía con la función de control, de policía, en el sentido que buscaría evitar los malos usos, abusos e infracciones de valores establecidos.

Es difícil dejar de lado la significancia de la biotecnología y la bioética para entender la demanda por la nanoética y, sobre todo, el deseo de llegar “con antelación” con la ética. Este deseo se entiende mejor en términos de experiencias negativas entorno al avance científico tecnológico propiamente de postguerra, pero también con la recepción negativa —y sorprendente de la biotecnología por las poblaciones europeas occidentales en las décadas de 1980 y 1990: “¡No queremos otro debate transgénico!”





Entre las diversas líneas históricas que se permiten dibujar, nos gustaría señalar el crecimiento gradual de voces críticas públicas en EUA en los años de postguerra vía los movimientos para derechos civiles en los 60, también con un enfoque creciente en aspectos normativos de las implicaciones de CyT, que llevaron al *Informe Belmont* y a la consolidación de la bioética como la herramienta para proteger los derechos del individuo de los efectos no deseados del desarrollo de las tecnologías de medicina y genética (Rommetveit, 2007). Visto así, no debe sorprender la iniciativa de James Watson para incluir estudios de “implicaciones éticas, legales y sociales” en el Proyecto Genoma Humano. No (solamente) como un juego estratégico de asegurar la legitimización pública, sino también como una expresión del reconocimiento de que el desarrollo científico y tecnológico no produce autónoma y automáticamente un futuro mejor. Sobre todo, se trataba de identificar y evitar legalmente el riesgo de una injusta e inmoral explotación económica de la información genética; escenarios casi personificados por los esfuerzos y actuaciones de Craig Venter. (Rommetveit, 2007).

Además, ambos lados del Atlántico se enfrentaron con los obvios problemas éticos implicados por los aspectos biopolíticos de la biotecnología humana. En Europa Occidental, incluso la biotecnología agrícola resultó profundamente controvertida; proponentes afirmando la ausencia de evidencia de daño y críticos subrayando la diferencia entre ausencia de evidencia de riesgo y evidencia de ausencia de riesgo. Eventualmente, la resolución del asunto fue un compromiso al Principio de Precaución, sin ningún consenso de cómo aplicar este principio correctamente (Mayer y Stirling, 2004).

Nuestro ejemplo de la jornada en Noruega sobre la Sociedad Biotecnológica en 2001, lo entendemos como una expresión del conjunto de procesos de aprendizaje de las décadas de 1980 y 1990. Los proponentes del desarrollo tecnológico todavía veían la biotecnología como una oportunidad excelente para el desarrollo y mejora de la sociedad, produciendo mejores soluciones en la medicina y la salud pública, la industria y la economía. Sin embargo, esta oportunidad no venía sin riesgos, sobre todo si otros actores no sabían o no querían colaborar y ajustar sus prácticas en la presencia de una tecnología nueva. Ahora los riesgos no solamente consistían en efectos imprevistos de la propia tecnología. Se sumaron también los problemas relacionados a la falta de aceptación de parte de la población, así como los derivados de la ineficiencia de la introducción de dicha tecnología.

El mensaje de la perspectiva de coproducción se había entonces aprendido. Ahora, en el momento de planificar y producir la nanotecnología, tanto los proponentes como los adversarios y críticos de la nueva tecnología

pueden estar de acuerdo entre ellos de que los aspectos éticos y sociales tienen que atenderse con antelación. Sin embargo, la pregunta ha sido, ¿en qué consisten esos aspectos? Una preocupación perfectamente legítima y deseada sobre qué exactamente es el objeto de reflexión.

El asunto ha sido difícil. Primero, porque la nanotecnología era escazamente definida como concepto uniforme, al tiempo que era mucho menos desarrollada y presente, en cuanto tal, que la biotecnología. Segundo porque dentro del conjunto de productos nano —de protección solar, materiales ligeros para coches, y las visiones más abstractas de la convergencia hipotética entre la física, química y biología molecular, etc.—, los rastros de la postulada sociedad nanotecnológica no eran muy bien definidos.

Más adelante volveremos a esta ambigüedad, intangibilidad, oscuridad o simplemente falta de definición como algo mucho más significativo que meramente una falta lamentable de información. Y es que se trata de una característica que define el objeto de una nanoética buena. Una nanoética buena —responsable, razonable, etc.— tiene que ser, en nuestra opinión, una ética para **ciencia y tecnología desconocidas**. Esto es verdad para cualquier ética de ciencia y tecnología, pero es particularmente visible y relevante para la nanotecnología porque la ética se involucra en la fase inicial. Se trata de desarrollar una ética para un “X” todavía no existente. Es esta situación histórica que le da a la nanoética su reto principal y su posibilidad de desarrollar el concepto y los contenidos de ética aplicada como disciplina, conocimiento y práctica. Este reto tiene un carácter doble, intelectual e institucional. Para llegar a esta conclusión, tenemos primero que explicar por qué —en nuestra opinión— los recursos intelectuales e institucionales actuales no sirven para acercarse a responder la pregunta de cómo llegar a la nanosociedad buena.

## BIOÉTICA PROFESIONAL, NANOÉTICA Y LA RESPONSABILIDAD PULVERIZADA

Las publicaciones sobre nanoética y estudios ELSA de lo “nano”, ya presentes en la década de 1990, llegaron a una fase de crecimiento exponencial en el primer decenio del siglo XXI. Kjølberg y Wickson (2007) observaron una llamativa falta de progreso cualitativo en la primera literatura nanoética puesto que una gran cantidad de los artículos tienen como afirmación principal que la ética es importante y que la reflexión ética tiene que llegar a tiempo.

Tal vez podamos decir que se observan esfuerzos e intentos iniciales de entender la llegada de la nanotecnología en la sociedad y en la academia, pero también que tales artículos son los primeros resultados de las decisio-

nes políticas de hacer disponibles recursos para estudios nanoéticos antes de la presencia de una comunidad madura de investigadores de nanoética y ELSA-nano. Actualmente, en EUA, la Unión Europea y otros países europeos no miembros, los investigadores ELSA disfrutan de programas para ELSA-nano, financiados con el mismo mecanismo empleado para el caso de los ELSA en biotecnología. Eso es, con 3-5% de los recursos públicos para CyT en este ámbito. La diferencia, sin embargo, es que el dinero total para nanotecnología es mucho más abundante, implicando un posible crecimiento de estudios ELSA. Por ejemplo, estudios ELSA de genómica recibieron 125 millones de dólares en los años de 1990 a 2003, mientras que los estudios ELSA-nano actualmente reciben unos 40 millones de dólares al año.<sup>2</sup>

Se suma el hecho de que el contenido y los métodos de los estudios nanoéticos y de ELSA-nano también se parecen a los de bioética y ELSA de biotecnología, sobre todo porque los investigadores se han reclutado de las mismas comunidades académicas.

Con tal profesionalización de la bioética, la pregunta ahora es si la nanoética experimentará una profesionalización parecida y del mismo grado. En nuestra opinión, no es evidente que la nanoética deba consolidarse en la misma forma que se ha visto en la fase inicial, afirmando que ética es importante y luego tratando de identificar problemas específicos para prevenirlos y evitarlos. En los artículos, y no menos en los informes gubernamentales y no gubernamentales, se ven estos intentos bastante convencionales de identificar problemas no sólo específicos y concretos sino también supuestamente únicos para nanotecnología. Se pregunta ¿qué peligros son nuevos y únicos por el uso de nanopartículas en la salud y el medio ambiente? ¿qué amenazas hacia la privacidad y la confidencialidad aparecerán con la nano-informática? ¿cuáles son los límites aceptables para aumentar las capacidades biológicas del ser humano? ¿habrá una “nano-división” entorno a quienes pueden acceder a los beneficios producto del avance nanotecnológico? Etcétera (RE/RAE, 2004 y NFR, 2005). En fin, la nanoética parece incorporarse como elemento nuevo en el conjunto de subdisciplinas de ética aplicada, como bioética, ética médica, ética empresarial, etc. Este desenvolvimiento es positivo, en el sentido de que hace falta el desarrollo de formas y foros de discusión y debate sobre nanotecnología, y esfuerzos para definir problemas y aclarar conceptos y argumentos. Pero, la pregunta es si esto es suficiente para una ética de ciencia y tecnología todavía no existente. Lo dudamos, y nuestras razones se encuentran no sólo en la

---

<sup>2</sup> “Nanoethics”: The elsi of 21st Century Bioethics? Publicado en el blog de “Editors of The American Journal of Bioethics” (AJOB). (<http://blog.bioethics.net/2006/01/nanoethics-the-elsi-of-21st-century-bioethics/>) Jan 29, 2006.

historia de la ciencia y la tecnología, sino también en la historia contemporánea de la **bioética**, incluso de su genealogía y función actual.

Stephen Toulmin (1982) explicó cómo “la medicina salvó la vida de la ética”. Esta última colocó los aspectos aplicados, y sobre todo la bioética, en el centro de su enfoque, heredando y adoptando los elementos claves de la ética médica tal y como se canonizaban en la Declaración de Helsinki. Estos elementos son: (1) la protección del individuo (paciente) de daño, riesgo y abuso; y (2) el derecho del individuo (paciente) de poder actuar con autonomía. Esta herencia ha tenido implicaciones amplias. Primero, dirige y define las cuestiones éticas en términos de los derechos del individuo en su encuentro directo con la tecnología —es una ética individualizada (Hofmann, 2002). Segundo, no pregunta, ni acepta normalmente como pregunta legítima— si el desarrollo tecnológico es algo deseado o no, ni en el contexto general, ni en muchos contextos particulares. La función de la ética que surge de esta herencia es por tanto la de proveer una *red de seguridad* (safety net) para evitar o manejar el riesgo de efectos secundarios, del mal uso, del abuso, y para asegurar respeto y tolerancia cuando el individuo quiere actuar en base a sus preferencias idiosincráticas (y tal vez, desde esta perspectiva, irracionales). Por ejemplo optando por no participar en proyectos de investigación médica-tecnológica (y así impedir el “progreso”).

Karlsen y Strand (2008) señalan las consecuencias de esta ceguera en el caso de la “regulación ética” europea de colecciones de material biológico humano: los dichosos “biobancos”. Afirman que los elementos éticos en las normativas —sobre todo la institución del consentimiento informado— se redujeron a meras herramientas para conseguir un bien supuestamente indiscutible, es decir, la facilitación de investigaciones de epidemiología genética de gran escala. La función verdadera del consentimiento informado en este caso, las personas siendo **donadores** y ya no pacientes, ya no es la de proteger a un individuo vulnerable de riesgo. Estos individuos a menudo no son muy vulnerables, y el riesgo físico de donar una gota de sangre es casi inexistente. La función más bien es **hacer posible**, legal y “éticamente justificada” la transferencia de material biológico humano, un material potencialmente de gran valor, incluso en sentido económico (Karlsen y Strand, 2008).

En el ámbito de la bioética, hay razones para preguntarse si la ética aplicada no llega a jugar el papel de “idiotas útiles” al servir actores y agencias de ciencia y tecnología, comercio y biopolítica. Un análisis especialmente interesante (y brutal) de la “apolítica de la ética” se dio por un grupo de expertos nombrado por la Comisión Europea (European Commission, 2007). En este informe, muy amplio y teóricamente profundo, se afirma que la ética ha contribuido al déficit democrático en el sentido de que cues-

tiones biopolíticas importantes se han perdido de la vista pública. Dentro de esta forma de ética, los marcos estructurales e institucionales y fuerzas y relaciones de poder se aceptan tácitamente porque no se ven.

Una mirada a los contenidos de asignaturas y libros de texto de bioética no es menos inquietante. En nuestra experiencia, se enseña posiciones y debates de la filosofía moral clásica; y los alumnos aprenden que bioética y ética aplicada en general, consiste en saber analizar y a veces contribuir en llegar a conclusiones en casos (individuales) moralmente difíciles, por ejemplo los “dilemas éticos”. El papel del ético es apoyar y ayudar al actor (el médico, el investigador, el político) en su aclaración de qué es lo moralmente correcto y qué debe hacer, según tal o cual contexto.

La competencia que se exige del ético es entonces saber trabajar con “casos”, identificar y entender la perspectiva del actor y dar consejos relevantes de la perspectiva de ese actor. El camino hacia dichas competencias es a través de filosofía analítica, aprendiendo a delimitar, tipologizar, definir y aclarar. Una *totalkritik*, una crítica total de la civilización occidental o, digamos, una crítica de la mezcla creciente de ciencia y capitalismo monopolístico, no se ve útil en ayudar al actor a tomar su decisión —es decir, si el actor no está dispuesto a tomar acciones radicales que tal vez rompan con las prácticas políticamente correctas. Así ha emergido una disciplina profesional que se puede organizar y diferenciar “científicamente” en expertos de eutanasia; embriones humanos; células madre; derechos de animales; confidencialidad y provacidad; formularios de consentimientos informados, etc. Todo bajo el supuesto implícito de que la solución global de los retos éticos se obtiene sumando las “respuestas éticas expertas” de cada subtemática. En nuestra experiencia se trabaja así en muchos comités que evalúan aspectos éticos de propuesta de proyectos científicos: se hace un “check list”, enumerando los problemas particulares del proyecto, e investigando si hay una solución o manejo aceptable de cada subproblema. Dentro de este marco, discusiones amplias de implicaciones sociales del proyecto no tienen ningún lugar.

Precisa decirse que no estamos en contra del consentimiento informado o las otras prácticas de la ética aplicada. Sin embargo, los análisis “brutales” de la bioética corren el peligro de que —parafraseando un proverbio noruego— “al buscar lo mejor, se acabe siendo enemigo del bien”; esto es que al tratar de alcanzar una solución perfecta, uno desecha buenas opciones y acabe con algo peor. Dicho de otro modo: la situación antes descrita, podría llevarnos a perder de vista la significancia y el valor operacional de comités de ética, regulaciones éticas y la institucionalización de la ética como disciplina ética. Y si bien todo este trabajo tiene valor, el problema ocurre cuando este trabajo se identifica como ética y llena todo el espacio

para la ética. Dado que esto es justo lo que hasta ahora ha pasado, en la sociedad biotecnológica, la responsabilidad ética se ha fragmentado — si no es que pulverizado.

Otra vez basándonos en nuestra experiencia noruega, en este país el Parlamento y el Gobierno repetitivamente subrayaron sus esperanzas para la biotecnología, pero también su sincera preocupación; un sentimiento que produjo una serie de leyes (Ley Noruega de Biotecnología, Ley de Tecnología Genética, Ley del Biobanco, etc) que en sus preámbulos afirman que el propósito es asegurar una regulación éticamente responsable de la tecnología. Sin embargo, las medidas tomadas por estas leyes efectivamente son otra vez una diferenciación institucional en comités, organismos de consejo público, requerimientos de consentimientos informados, etc. También a nivel institucional, y muy práctico, se supone que la solución global de los retos éticos se obtiene sumando las partes éticas. Por tanto, de nuevo vemos que la cuestión fundamental queda sin atenderse: “¿es este un proyecto (científico-tecnológico) **bueno** para la sociedad?”

La expresión “responsabilidad fragmentada” muestra una actitud crítica de nuestra parte. “Responsabilidad delegada / diferenciada” suena diferente. Contra nosotros se podría decir que la sociedad —por lo menos en unos países— ya ha concluido a través de los procesos democráticos convencionales que las tecnologías nuevas son deseadas y bienvenidas (dado que los problemas éticos se resolverán). La innovación tecnológica genera, se podría decir, trabajo, crecimiento económico, y sobre todo una salud pública mejorada. La sociedad biotecnológica ya se ha definido como una visión buena.

Dejamos la discusión pro- y contra- de la biotecnología por ahora, y en cambio veamos cómo la nanotecnología es diferente en una manera que nos da razón para hablar no sólo de fragmentación sino de responsabilidad pulverizada.

Diferente de la bioética, hemos visto cómo proponentes y críticos quieren una nanoética que llegue con antelación. Modelizando la nanoética en la bioética, la paradoja emerge: la inversión masiva en nanotecnología se justifica precisamente por su supuesto potencial revolucionario, es decir, su potencial enorme para transformar la sociedad. Pero a la vez, la misma nanotecnología es una categoría no muy bien definida, diversa y ambigua. Por eso la ética tenía que llegar con antelación. Esto es diferente de la biotecnología ya que en este caso, por lo menos había una visión relativamente clara de las esperanzas y las preocupaciones (véase, por ejemplo, el libro *The Molecular Vision of Life* de Lily Kays (1993)).

Antes de la llegada de la sociedad nanotecnológica no existen las visiones claras y evidentes, pero las prácticas y modelos institucionales para



manejar esta tecnología, suponen que hay visiones bien definidas. Esto es verdad para la ética, pero también para el manejo del riesgo (Kjølberg *et al*, 2007; Kjølberg y Strand, 2008). Y es que se supone que las herramientas para evaluar y manejar riesgos conocidos tienen eficacia en el manejo de peligros poco definidos y parcialmente desconocidos. La situación tal vez parezca “normal”, en el sentido de que el control está en las manos de expertos de ética y riesgo respectivamente, pero la responsabilidad de que la situación verdaderamente está bajo control, se ha pulverizado.

En nuestra opinión, es necesario reconocer y aceptar que el desarrollo de una ciencia y tecnología tan potente como la nano, no está, no estará, ni puede estar bajo control. El desarrollo es **abierto** (Pickering, 1995) y evita predicción y control. El reto aún más urgente en la era nanotecnológica es aprender a vivir en la presencia de esta fuente de indeterminación y manejarla mejor. El trabajo ético no sólo debe avocarse al análisis de problemas éticos, sino también a investigar activa y creativamente, para luego ofrecer evaluaciones éticas de las posibilidades, acciones y prácticas novedosas que estas ciencias y tecnologías pueden crear. La actitud responsable se ve en **no** pretender tener la situación bajo control, sino más bien en participar en los procesos sociales que den forma a la nanotecnología —la gubernanza de la nanotecnología— siempre preguntándose qué futuro nanotecnológico deseamos.

Será evidente para nuestros lectores que el argumento aquí presentado tiene implicaciones radicales para la política actual de nanociencia y nanotecnología dado que un supuesto implícito en tales políticas de todos los países con un sector científico-tecnológico fuerte, es la creencia de que las consecuencias del desarrollo nano serán mayormente positivas. La implicación de esta creencia es que la política debe crear condiciones óptimas para la innovación nano, al tiempo que vigila los problemas éticos emergentes. No obstante, una nanoética adecuada no se puede introducir sin un debate de las políticas contemporáneas de innovación. Ello implica que la nanoética buena no debe aceptar ser relegada a una posición secundaria cuyo rol es apaciguar los aspectos negativos del desarrollo nano mientras que el desarrollo se conforma y se decide positivamente en foros, debates e instituciones donde la nanoética no tiene ningún papel o influencia. Relegar la ética de ese modo implica que el desarrollo nanotecnológico de hecho será resultado de una ética positivista, inmanente y no articulada que surge de los actores mismos y que es arbitraria en el sentido de no haber disfrutado de la articulación e investigación sistemática que la ética aplicada puede ofrecer.

La nanotecnología no es única en su actualización de la necesidad de una ética positiva articulada. Después de unas generaciones dominadas

por creencias optimistas en progreso, ciencia, tecnología, industria, instituciones políticas, crecimiento económico, instituciones de bienestar y, de modo más general, de racionalización, diferenciación y crecimiento en sociedades modernas, las dudas siguen creciendo en países occidentales, particularmente en los últimos decenios. Vemos el grito para “más ética!” como una de las expresiones de estas dudas. Los llamados por más interdisciplinariedad en las ciencias; nuevas formas de participación y deliberación en las democracias; y herramientas nuevas de transversalidad en gestión y gobernanza son otras expresiones parecidas. Todas señalan la necesidad de encontrar prácticas y discursos menos diferenciados y especializados para intentar recapturar la visión global y responsable del desarrollo de las sociedades. El concepto de desarrollo sustentable ha sido uno de esos intentos de manejar los problemas que se producen por la suma y las interconexiones de todas las prácticas y sectores que en sí parecen racionales y razonables.

Aunque un lector quiera darnos “el beneficio de la duda” y aceptar la perspectiva presentada, quedan dos puntos claves en contra de nuestra perspectiva. Primero, la nanoética positiva que queremos básicamente no existe en términos de instituciones y prácticas operativas y funcionales. ¿Qué va a hacer concretamente la ética de antelación? Segundo, hay una fuerte resistencia intelectual en ver cómo se puede cambiar el supuesto de que la ciencia y el desarrollo tecnológico son algo positivo en sí, que no necesita otra justificación que demostrar el control de los efectos secundarios. El valor de la ciencia está sentado muy profundo en nuestra cultura.

Nuestra hipótesis es que los dos puntos están conectados. Las posibilidades constructivas de una nueva nanoética positiva sólo serán visibles al pasar la mencionada barrera intelectual. Por tanto, tenemos que recordar la multitud de análisis diferentes (pero a menudo convergentes) de los últimos 20 años de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad. En lo siguiente vamos a mencionar algunas ideas que consideramos relevantes.

## EL DESAFÍO INTELLECTUAL

La obra mayor de Thomas Kuhn (1970), *La Estructura de las revoluciones científicas*, todavía tiene relevancia. Kuhn señalaba que,

...si se considera a la historia como algo más que un depósito de anécdotas o cronología, se puede producir una transformación decisiva de la imagen que tenemos actualmente de la ciencia.

Esta declaración se ha citado muchas veces, quizás porque transmite algo como lo siguiente: Como civilización, no sabemos exactamente en qué



consiste nuestra imagen de la ciencia. Sea como sea, esta imagen sí tiene algunos rasgos que no entendemos o de los cuales no estamos muy conscientes. Sin embargo, nuestra imagen cultural —y filosófica— de la ciencia en gran medida se ha dado por supuesto. En este sentido podemos decir que esta concepción de la ciencia es “nuestra”.

La imagen convencional de la ciencia —que carga de ideales al investigador y a la investigación— se ha mostrado difícil de articular. Dentro de la disciplina emergente de Estudios de Ciencia y Tecnología (CTS), desde hace años se habla de la llamada “visión vieja” (*old view*) y la “visión recibida” (*received view*) (véase: Edge, 1995: 5). Brevemente se puede decir que los estudios CTS con su concepto de “la visión recibida” articulaban una crítica fuerte de la concepción convencional de atribuir a la ciencia una autoridad exagerada. La fuente, o quizá más bien la articulación, de esta autoridad, se encuentra en una forma muy pura en la parte de la filosofía llamada la *epistemología*. Al menos desde Descartes, y a través de los siglos de filosofía de la ciencia, sobre todo en la filosofía anglosajona, la cuestión de la autoridad legítima de la ciencia se tradujo en debates filosóficos sobre la superioridad del conocimiento científico, definido como teorías con ciertas características. El problema, y en el mundo filosófico alemán, francés y español esto se sabía ya en la primera parte del siglo, es que la epistemología solía tener una imagen muy estilizada de la ciencia. Basta mencionar los nombres de Edmund Husserl, Gaston Bachelard y José Ortega y Gasset.

Los últimos 30 años, pero, también en nivel empírico los estudios CTS han conseguido mostrar estas limitaciones, formulando una deconstrucción de casi todos los conceptos claves de la visión recibida (Hacking, 1981): demarcación, acumulación de conocimiento, realismo, la unidad de la ciencia, empiricismo, la distinción entre los contextos de justificación y descubrimiento, la diferencia absoluta entre teoría y observación, y la unicidad de conceptos científicos.

Es preciso afirmar que estas críticas no implican que la ciencia no tenga valor, ni que la ciencia no sea la forma más avanzada de producción de conocimiento. Sin duda, hay contextos y casos donde el debate, e incluso, la lucha sobre la autoridad de la ciencia y de otras formas de conocimiento tiene relevancia y, a veces, urgencia. Este artículo, no obstante, se trata de otra cuestión: de cómo producir —co-producir— una nanoética y una nanotecnología que sirvan a la sociedad. Por tanto, nuestro interés en las críticas de la visión recibida se basa no en algún deseo nuestro de menospreciar la ciencia, sino en la necesidad de encontrar perspectivas constructivas para entender las dinámicas de desarrollo de ciencia y tecnología. En este sentido, vemos que los estudios CTS han logrado (al menos parcialmente) girar los debates y las reflexiones sobre la ciencia de las discusiones bastante

estrechas de la epistemología y hasta perspectivas más institucionales, enfocándose en las relaciones entre ciencia, o mejor, las *ciencias* en plural, y la sociedad, tal y como son y están cambiando.

Permítanos recordar algunos ejemplos. La distinción de Silvio Funtowicz y Jerome Ravetz (1993) entre ciencia normal y *ciencia posnormal*, así como la de Michael Gibbons y colegas (Gibbons *et al*, 1994; Nowotny *et al*, 2001) entre dos formas de producción de conocimiento que denominan “modo 1” y “modo 2”. Ambos casos son ejemplos de propuestas para entender la relación entre ciencia y el mundo; de cómo es la relación y de cómo debería ser. La ciencia posnormal —o las condiciones modo 2— generan un contraste ante la imagen recibida (ciencia normal o modo 1) que por razones diferentes necesita una revisión. Ambas perspectivas señalan que la actividad científica no se puede entender bien como actividad delimitada y autónoma. Funtowicz y Ravetz demuestran como una parte creciente de la investigación científica implica riesgos ecológicos y/o económicos o, digamos, éticos. Gibbons y sus colegas explican cómo el sector de producción de conocimiento está cambiando porque la investigación ya no se encuentra en buena medida en “la torre de marfil”, sino organizada dentro y por redes industriales-políticas-académicas. Esto es, lo que Ziman (2000) llamó la ciencia post-académica. En fin, hay que reflexionar acerca de que está cambiando lo que se ha llamado “el contrato social” de la ciencia (Winner, 1993; Guston y Keniston, 1994; Lubchenco, 1997; Gibbons, 1999; Demeritt, 2000; y Gallopin, Funtowicz, O’Connor y Ravetz, 2001).

El desafío intelectual de construir una alternativa a la visión recibida, consiste en (a) entender mejor cuáles ideales científicos siguen operativos, y (b) hacer una revisión crítica de los ideales basándose en la descripción actualizada de la ciencia. Gibbons *et al*. (1994) lo expresan así en la introducción de *New Production of Knowledge*:

Este volumen esta dedicado a explorar los cambios en el modo de producción del conocimiento en la sociedad contemporánea [...] Ningún juicio de valor es hecho sobre tales tendencias —esto es, si son buenas y por tanto deben ser estimuladas, o malas y por tanto rechazadas— pero sí se muestra que esos cambios aparecen más frecuentemente en aquellas áreas que actualmente definen la frontera y entre aquellas que se consideran como líderes en sus distintos campos (Gibbons, 1994: 1)

La nanotecnología con todo y su vínculo a la retórica de la convergencia de las ciencias naturales, parece ser hoy por hoy la arena (o frente) *por excelencia* de cambio y desarrollo dentro de las ciencias naturales, apta para comprensiones de los aspectos dinámicos de ciencia, tecnología y sociedad.

Por lo anterior, vale preguntarse entonces qué cambios y tendencias merecen apoyo. Ante tal interrogante, las grandes líneas de análisis de la *modernidad* pueden ayudar a clarificar, explicando por qué ha sido tan difícil a través de los últimos siglos producir una imagen alternativa de la ciencia. Queremos destacar a Charles Taylor y Bruno Latour cuyas perspectivas, bastante diferentes, complementan a la otra y describen y luego critican la constelación de discusiones y actividades epistémicas y éticas en la modernidad (véase también Nydal, 2006).

Latour (1993) describe la escenificación de las condiciones para la ética dentro de la modernidad como un “trabajo de purificación”. Esto forma una categoría distinta y característica de la modernidad, complementada por el “trabajo de traducción” que se hace en la producción de sistemas socio-tecnológicos grandes y robustos. El trabajo de purificación adopta varias formas de vigilio intelectual, argumentando e insistiendo en la separación entre la esfera humana, social y cultural de lo material y técnico. Por ejemplo, en la modernidad ya no hay signos y sentido en la naturaleza; esto es algo que existe en nuestras cabezas humanas y en nuestras *interpretaciones* de la naturaleza. El trabajo de purificación, según dice Latour, es importante para mantener la constitución moderna, y apoya y refuerza el trabajo de traducción haciendo invisible el carácter de ese último.

Podemos decir que el esfuerzo intelectual de Latour y otros autores que elucidar el trabajo de traducción ha conmovido el orden normativo que Latour denominó como la constitución moderna (Latour, 1999; Latour, 2004). El concepto del trabajo de traducción dirige la atención hacia la ética immanente dentro de la ciencia, y la gobernanza de la ciencia que normalmente elude la atención ética. Este orden normativo se caracteriza, por ejemplo, en divisiones de trabajo con sus respectivas identidades profesionales que delimitan los papeles legítimos de los expertos.

Esto se ve aún más claro en los análisis del filósofo Charles Taylor, que —como Latour— critica el papel destacado de las discusiones epistemológicas en la cultura occidental. Las preguntas epistemológicas se han presentado como “fundamentales”, en el sentido de que se entendían como cuestiones que se tienen que plantear y resolver **primero**, antes de pasar a cuestiones políticas o éticas (Taylor, 1995). El punto común de Latour y Taylor es que tenemos que enfrentarnos a la tradición epistemológica no sólo por su contenido (los debates epistemológicos), sino también investigando y entendiendo el papel que ese contenido ha tenido en la organización y mantenimiento de nuestra sociedad. En otras palabras, revisar o corregir tal contenido, implica una reflexión y revisión de las prácticas de las que el contenido intelectual forma parte. Se trata de algo más grande y más difícil que solamente corregir unas ideas equivocadas.

En *"Philosophy and its History"* (1984), Taylor introduce el concepto de modelo epistemológico. El análisis de tal modelo lo entendemos como aquel de tipo cultural de la modernidad, que pretende articular el orden normativo implícito que participa en la formación de ideales del buen comportamiento, en una pletera de prácticas en las culturas occidentales. Taylor no analiza el modelo epistemológico como pensamiento equivocado, sino a la luz del contexto histórico del establecimiento de esta tradición y su concepto de conocimiento —conocimiento como representaciones del mundo. Este concepto de conocimiento era la reacción histórica al desarrollo de las ciencias mecanicistas alrededor del siglo XVI y XVII. El hecho que la epistemología luego parecería la disciplina fundamental, en vez de una reacción y un intento de dar sentido a un desarrollo científico particular, revela una forma de olvido colectivo de las razones particulares de dicha reacción, dice Taylor. El problema, sin embargo, es que nuestra sociedad contemporánea es tan diferente de la del renacimiento, que las ideas y argumentos de esa última ya no son adecuados —a los que normalmente todo el mundo nos adherimos espontáneamente en pensamiento o práctica. Necesitamos reflexionar mejor. La sociedad, dice Taylor, "...ya no es fiel al original" (Taylor, 1984: 25).

Lo que pretendemos señalar entonces, es que las ideas y las prácticas éticas que criticamos arriba, están basadas en la constitución moderna y en el modelo epistemológico heredados casi como parte de nuestro patrimonio cultural. El contenido de ese patrimonio sin embargo, no tiene que ser válido hoy en día, ni adecuado, ni obligatorio.

## DESAFIOS PRÁCTICOS E INSTITUCIONALES

Expresábamos arriba nuestra duda sobre un desarrollo de una nanoética que surge y continúa desde la tradición de la bioética y sus prácticas. Creemos que el contexto histórico actual de la nanotecnología crea oportunidades para desarrollar y probar en la práctica una ética no-moderna, o digamos una ética para condiciones posnormales y/o modo 2.

Daremos algunos ejemplos que otra vez se limitan a nuestra experiencia en Noruega y el continente Europeo. Queremos disculparnos por este fallo. Con suerte hay algo aplicable o relevante en nuestro análisis, o más bien en nuestras propuestas.

En Noruega, el Comité Nacional de Ética en Investigación de Ciencia y Tecnología (NENT; vease <http://www.etikkom.no/English/NENT>) adoptó en 2007 directrices nacionales de ética en investigación. Tratan explícitamente la responsabilidad social de la ciencia, y la necesidad de una ética que acepta responsabilidad para las consecuencias sociales en sentido



amplío y con antelación. Debido a que Noruega también tiene una *Ley de Ética en Investigación* (de 2006), las directrices tienen un cierto poder, pero no queda muy claro cómo se tienen que implementar. Los requerimientos negativos se pueden implementar a través de procesos de aprobación y sanción, tal como hacen casi todos los comités de ética hoy en día. La responsabilidad amplía, sin embargo, se expresa más bien en requerimientos positivos. Por ejemplo, “la investigación tiene que apearse al principio de desarrollo sostenible” o “la investigación tiene que contribuir a la paz y la democracia”. La implementación en este caso tiene que ser diferente.

Las exigencias positivas tienen un lugar todavía más destacado en la recomendación de la Comisión Europea sobre un código para una investigación responsable en el campo de las nanociencias y las nanotecnologías (European Commission, 2008). Incluso, se afirma que las recomendaciones se dirigen a todas las “partes interesadas en las nanociencias y las nanotecnologías” (preámbulo (9)) —hasta ONGs y la “sociedad en general”. A todos se invita al desarrollo bueno de la nanotecnología, ya sea como expertos, profesionales o sencillamente ciudadanos. Por supuesto, tales recomendaciones son exigentes y realmente controversiales porque desafían patrones establecidos de división del trabajo. Por ejemplo, obligan a la comunidad de investigadores a ser responsables de explicar el **sentido** de la investigación para la sociedad en general:

...las actividades de investigación sobre nanociencia y nanotecnología deben ser comprensibles para el público. Deben respetar los derechos fundamentales y llevarse a cabo en interés del bienestar de las personas y de la sociedad en su diseño, ejecución, difusión y uso. (European Commission, 2008: Art. 3.1)

Más concretamente que nunca, estas recomendaciones abren el camino para medidas y procesos que tienen el objetivo de “democratizar” la ciencia, en buena correspondencia con varias teorías sobre ciencia, tecnología y sociedad de la década de 1990 (véase: Stengers, 1997; Funtowicz y Ravetz, 1993). No es casual que la nanotecnología sea el “caso de prueba” de esta ética pos-normal, no normal, posacadémica, no moderna —la etiqueta depende del gusto teórico— y lo interesante es que los teóricos de esos campos de repente se sitúan en *posición* y no sólo en oposición a los discursos de poder. El desafío personal a los críticos es si ahora tenemos aptitud y voluntad para tomar responsabilidad y ver con una mente abierta y humilde, si las nuevas respuestas funcionan y verdaderamente contribuyen a mejorar la nano-sociedad.

En términos prácticos, los trabajos de comités, prohibiciones, aprobaciones y sanciones no parecen muy adecuados para implementar las directrices noruegas y las recomendaciones europeas. Conforme a la perspectiva de coproducción, lo lógico sería exigir y/o estimular el debate público y un nivel de contacto y coordinación mejor entre sectores diferentes y entre expertos diferentes. Las directrices, normativas y recomendaciones a lo mejor funcionarán mejor con el objetivo de entendimiento y reconocimiento, que mediante la coerción y la fuerza. No se trata tanto de descubrir y penalizar lo malo, sino hacer un esfuerzo colectivo de aclarar lo bueno. Luego, el colectivo que hizo el esfuerzo puede buscar medidas —un grupo de investigación puede ajustar la dirección de sus proyectos; una universidad, un consejo de ciencia o un ministerio puede dar prioridades a ciertas estrategias de investigación; etcétera.

Lo más enérgico que sea la aclaración, lo más fuerte será la transformación de algunas de las prácticas convencionales de la ética, el derecho y la política. Por lo tanto, la ética positiva sobre todo se tiene que implementar en procesos abiertos buscando un entendimiento colectivo y no en forma de jueces éticos.

La ética positiva no debe intentar monopolizar el debate público sobre la sociedad nano, ni debe ser la forma preferida de experiencia ética que monopolice la nanoética. Eso sería antidemocrático e involucraría el riesgo de lo que el grupo europeo de expertos llamó “la apolítica de la ética”.

Somos optimistas en lo que refiere a la contribución constructiva futura de la ética y de los especialistas en dicha disciplina. También porque nuestra propuesta es que esa ética continuamente se tiene que medir y codesarrollar en términos de las contribuciones buenas que dé a los procesos de desarrollo del sistema nanotecnológico socio-técnico. Es importante, sin embargo, que tal coproducción no sea una armonía cooptada; los especialistas en ética siendo el lubricante para la máquina industrial de innovación y crecimiento económico. El papel del ético no es él de facilitar el desarrollo nanotecnológico. Las estructuras de poder se visibilizan, desaffan y se demandan a la acción cuando el ético toma (o tenga que tomar) el papel del “outsider”, o del bufón, y cuestione la necesidad de algunas nanopartículas o la conveniencia de la política de innovación de tal o cual gobierno. El papel del ético es argumentar y también osar dejar la conversación cuando haga falta. La nanoética responsable exige la posibilidad de que los éticistas a veces sean insistentes, que sean una fuente de “ineficiencia”, una piedra en el máquina (por así decirlo).

Así vemos cómo el desafío institucional y el desafío intelectual están relacionados: hay que ver que la producción del conocimiento y de la nue-

va tecnología tiene que subordinarse al valor de la totalidad (de la sociedad, de la naturaleza), y no al revés.

## BIBLIOGRAFÍA

- Demeritt, D. (2000) The New Social Contract for Science: Accountability, Relevance, and Value in US and UK Science and Research Policy. *Antipode* (32) 308-329.
- Edge, D. (1995) Reinventing the Wheel. En Jasanoff, S., Markle, G. E., Petersen, J. C. and Pinch, T. (eds.) 1995 *Handbook of Science and Technology Studies*. London: Sage Publications.
- European Commission (2007) *Taking European Knowledge Society Seriously*. Report of the Expert Group on Science and Governance to the Science, Economy and Society Directorate, Directorate-General for Research, European Commission.
- European Commission (2008) Code of Conduct Commission recommendation of 07/02/2008 on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research, C(2008) 424, Brussels ([http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec\\_pe0894c\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec_pe0894c_en.pdf))
- Fisher, E. (2005) Lessons learned from the Ethical, Legal and Social Implications program (ELSI): Planning societal implications research for the National Nanotechnology Program. *Technology in Society* (27) s. 321-328
- FUGE 2001a Funksjonell genomforskning i Norge — et sammendrag [Genómica funcional en Noruega — un resumen], Oslo: *Norges forskningsråd*.
- FUGE 2001b Funksjonell genomforskning i Norge — en nasjonal plan [Genómica funcional en Noruega — un plan nacional]. 2001 Oslo: *Norges forskningsråd*
- Funtowicz, S. y Ravetz, J. R. (1993) Science for the post-normal age. *Futures* 25, s. 739-755.
- Gallopín, G. C., Funtowicz, S., O'Connor, M. y Ravetz, J. 2001. "Science for the Twenty-First Century: From Social Contract to the Scientific Core". *International Social Science Journal* (53) s. 219-229.
- Gibbons, M. (1999) Science's new social contract with society, *Nature* 402, s. C81 - C84.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P. y Trow, M. (1994), *The new production of knowledge*. London: Sage.
- Guston, D y Keniston, K. (1994) Updating the Social Contract for Science. *Technology Review* (97) 60-69.
- Hacking, I. (ed) (1981) *Scientific Revolutions*. Oxford: Oxford University Press
- Hofmann, B. (2002) Pasientautonomi som etisk rettesnor - en kritisk gjennomgang [Autonomía del paciente como guía ética — una investigación crítica], *Sykepleien*, 17, s. 39-44.

- Jasanoff, S. (2004) *Ordering Knowledge, Ordering Society*. I Jasanoff, S. (ed.) *States of Knowledge: The Co-production of Science and the Social Order*. London: Routledge.
- Johnson, D. G. (2007) Ethics and Technology 'in the Making': An Essay on the Challenge of Nanoethics. *NanoEthics* (1), s.21-30.
- Karlsen, J. R. y Strand, R. (2008), The ethical topography of research biobanking, *manuscrito bajo evaluación*.
- Kay, L. (1993) *The Molecular Vision of Life*. Oxford: Oxford University Press.
- Kjølbørg, K. y Strand, R. (2008), European Strategies for Regulating Nanoparticles, En, J. van der Sluijs, J. Ravetz y K, Kjølbørg (red): Innovative approaches for the governance of complex science and technology issues: Towards a post normal practice, *en preparación*.
- Kjølbørg, K. & Wickson, F. (2007) Social and Ethical Interactions with Nano: Mapping the Early Literature. *NanoEthics*, (1) s. 89-104
- Kjølbørg, K., Delgado, G., Wickson, F. y Strand, R. (2007) Models of Governance for a Socially Robust Development of Converging Technologies, *Technology Analysis & Strategic Management*, (20) s. 83-97.
- Kuhn, T. (1970) *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago University Press, 2nd ed.
- Latour, B. (1993) *We Have Never Been Modern*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- Latour, B. (1997) Stengers's Shibboleth. I Stengers, I. *Power and Invention. Situating Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Latour, B. (1999) *Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge: Harvard University Press.
- Latour, B. (2004) *Politics of Nature - How to Bring the Sciences into Democracy*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lubchenco, J. (1997) Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science. *Science* (279) s. 491-497.
- Mayer, S. & Stirling A. (2004) GM crops: good or bad? *EMBO reports* 5 (11) s. 1021-1024.
- NFR (2006): National Academics Forum. Environmental, Social, Legal and Ethical Aspects of The Development of Nanotechnologies in Australia. A report for The National Nanotechnology Strategy Taskforce. Department of Industry Tourism and Resources. Parville Vic: National Academics Forum
- NFR (2005): Nanoteknologier & nye materialer: Helse, miljø, etikk & samfunn. [Nanotecnología y materiales nuevos: Salud, medio ambiente, ética y sociedad]. Oslo: Norges Forskningsråd.
- Nowotny, H., Scott, P. & Gibbons, M. (2001) *Rethinking Science*. Cambridge: Polity.
- NSF, National Science Foundation (2001) *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Report from the Workshop held at the National

- Science Foundation, Sept. 28-29, 2000. Roco M.C. and Bainbridge, W. (eds)
- Nydal, R. (2006) *Rethinking the topoi of normativity. Co-production as an alternative to epistemologically modelled philosophies of science*. Tesis de Dr. Art., Dept of Philosophy, Trondheim: NTNU.
- Pickering, A. (1995) *The Mangle of Practice*. Chicago: The University of Chicago Press.
- RE/RAE (2004) Royal Society and Royal Academy of Engineering: *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. London: Royal Society.
- RNA (2004): Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. *How big can small actually be? Some remarks on research at the nanometre scale and the potential consequences of nanotechnology*. Prepared for the Dutch Minister of Education, Culture and Science. Amsterdam: Royal Netherlands Academy.
- Rommetveit, K. (2007) *Biotechnology: Action and choice in second modernity. Tesis de Dr. Art.* Bergen: Universitetet i Bergen.
- Stengers, I. (1997) *For en demokratisering av vitenskapene*. Oslo: Spartacus forlag
- Taylor, C. (1984) Philosophy and Its History. I Rorty, R., Schneewind, J. B. and Skinner, Q. (eds.) *Philosophy in History*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Taylor, C. (1995) Overcoming Epistemology. *Philosophical Arguments*. Cambridge: Harvard University Press.
- Toulmin, S (1982) How Medicine Saved the Life of Ethics. *Perspectives in Biology and Medicine* 25, s. 736-750.
- UNESCO (2006): United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). *The Ethics and Politics of Nanotechnology*. Paris: UNESCO.
- Winner, L. (1993) A New Social Contract for Science. *Technology Review* (96) 65.
- Ziman, J. (2000) *Real Science. What it is and what it means*. Cambridge, The Cambridge University Press.

# EVENTOS

▼ 25-28 de enero de 2009

## Nanomedicine Conference 2009

Antigua y Barbados. Conferencia Internacional sobre “Nanomedicina y Nanotoxicología” organizada por Zing, el Imperial College de Londres (Inglaterra) y la Universidad College de Dublin (Irlanda).



Más información en: [www.zingconferences.com/index.cfm?page=conference&intConferencelD=45&type=conference](http://www.zingconferences.com/index.cfm?page=conference&intConferencelD=45&type=conference)

▼ 27 de febrero de 2009

## Nanotoxicology: Health & Environmental Impacts

### Nanotoxicology: Health & Environmental Impacts



BioPark Hertfordshire. Welwyn Garden City, Hertfords hire, Reino Unido. Conferencia Internacional presidida por el Dr. Shareen H. Doak de la Universidad de Wales Swansea del Reino Unido. Abordará tópicos como las implicaciones a la salud de las nanopartículas;

los peligros de los nanotubos de carbono; la vinculación entre toxicología y ecotoxicología; efectos, comportamiento, destinos y ecotoxicología de las nanopartículas en aguas naturales; efectos tóxicos de nanomateriales en las truchas; etcetera.

Más información en: <https://www.regonline.co.uk/builder/site/Default.aspx?eventid=161852>

## Entrando en el mundo nano

ALFRED NORDMANN\*

**H**ay mucho de cierto en el entusiasta *slogan* que alguna vez utilizó la Asociación Internacional de Nanotecnología de San Francisco: "... es un mundo nano, hagámoslo un mejor lugar". El *slogan* expresa los términos en los que somos invitados a contribuir en el desarrollo responsable de la nanotecnología: el mundo nano ya está con nosotros; no puede ser cuestionado o rechazado. Si entramos al mundo nano animados y con buen entusiasmo, seremos más que bienvenidos a la hora de colaborar en decorarlo y mejorarlo.

En lugar de entrar a ese mundo tan optimistas, debemos, por el contrario, intentar dar un paso atrás y desafiar esta invitación. Y es que el problema comienza con la definición de nanotecnología. Describir y definir la nanotecnología no es una tarea inocente. Dependiendo de cómo la definamos, el resultado puede ser cualquier cosa, desde el asombro paralizante o la especulación impotente hasta la concienciación crítica o la modelización de la política, en el otro extremo.

Nuestra definición nos conducirá a asumir la expectativa de que todos los aspectos de nuestras vidas serán revolucionados, o de lo contrario, a creer que estamos ante una tendencia de moda, que, sin embargo, está lejos de ser de poca importancia.

La manera más modesta de definir el término, dígame el establecimiento del más bajo común denominador sobre lo que se entiende por investigación nanotecnológica, no es aún, y bajo ningún motivo, inocente. Y es que el más bajo común denominador sigue siendo demasiado grande para poder hacer una reflexión significativa o tomar acciones políticas. Definiciones limitadas en términos del tamaño o propiedades novedosas sirven meramente para establecer el dominio de la investigación nanocientífica. La nanotecnología, entonces, aparece como potencial casi infinito de posibles aplicaciones que surgen de trabajar con esos objetos de investigación.

Por consiguiente, una típica afirmación es que la nanotecnología hace uso de las propiedades que ocurren sólo en la escala molecular de 1 a 100 nanómetros ( $10^{-9}$  -  $10^{-7}$  metros) y que son distintas a las propiedades macroscópicas. El oro es usualmente utilizado como un ejemplo de ello: su

---

\* Universidad Técnica de Darmstadt (Alemania). [www.nanoOffice.eu](http://www.nanoOffice.eu)



color, su inercia química y, por tanto, sus impactos en la salud son todos bien conocidos. Sin embargo, si su composición química se mantiene y el oro se reduce meramente al tamaño de una nanopartícula, tales propiedades cambian. Aquí es donde la nanotecnología entra en juego. Abarca todo lo que hace uso de ese tipo de cambios.

Y ¿cuáles podrían ser éstos? En este punto, la definición ya no ofrece ninguna guía y más bien nos deja con posibilidades ilimitadas. Si los nanotubos de carbono poseen propiedades ópticas interesantes, ¿no sería concebible construir un tipo de computadora completamente diferente, una que ya no trabaje con base en la electrónica binaria sino más bien con base en la fotónica, es decir, usando el espectro del color? Si las fibras nanoestructuradas son especialmente ligeras y fuertes, ¿no sería posible hacer una cuerda con ellas para unir las a un elevador que vaya al espacio? Si los procesos de autoorganización o autoensamblaje de la naturaleza están entre las nuevas propiedades, ¿no podríamos imaginarnos nanosistemas o, incluso, pequeños robots que produzcan y se reproduzcan a sí mismos? Y así sucesivamente.

Si así definimos la nanotecnología, comenzamos a creer que es capaz de cualquier cosa y terminamos con una determinación del futuro –sea éste cercano, o no– en el que nada es como solía ser previamente. De este modo, la nanotecnología elude el poder de nuestra imaginación y se convierte en algo que no está disponible al pensamiento crítico o la acción política. Es una marioneta en un juego de vagas suposiciones.

Sin embargo, la “nanotecnología” puede ser definida en una forma totalmente diferente; como un concepto político que vincula trayectorias de investigación heterogéneas. Dichas trayectorias tienen, desde luego, algo en común. Se espera que todas ellas abran nuevos mercados y todas ellas manipulan propiedades o estructuras en el rango de 1 a 100 nanómetros. Pero nótese que aquí, no son esos factores en común la clave sino más bien los programas específicos que confluyen en este punto. Así, en vez de hablar sobre nanotecnología, deberíamos en cambio estar hablando sólo acerca de diferentes nanotecnologías.

¿Significa, entonces, que no hay nada que decir sobre la nanotecnología en general? Bueno, si lo hacemos, no estamos hablando acerca de programas de investigación y trayectorias tecnológicas. Nanotecnología en lo singular es sólo una palabra relativa a lo que la gente espera hoy de la tecnología –una conquista del espacio en la que se supone que las soluciones para todos nuestros problemas yacen ahí ocultas. De hecho, y a diferencia de la guerra contra el cáncer, la carrera armamentista o el proyecto genoma humano, la investigación a nanoescala no es impulsada por una preocupación en asuntos específicos, sino más bien, está orientada hacia un espacio

de posibilidades. La nanotecnología no está interesada en representaciones científicas de la naturaleza ni en dispositivos técnicos que funcionan. En cambio, la nanociencia es un intento explicatorio para reclamar territorio extranjero y habitar un nuevo mundo o, más bien, una región inexplorada del mundo. El éxito de los investigadores siempre es un tipo de realización técnica, dígase la habilidad de actuar a nanoescala. Aunque esto no altera fundamentalmente nuestra comprensión básica de la naturaleza, es intelectualmente estimulante y finalmente “experimentar” las condiciones reales a nanoescala, cara a cara y con las manos sobre la materia. Por tanto, como con el programa espacial, el éxito científico y tecnológico a nanoescala consiste en la habilidad de ver, de moverse, de mover cosas y de actuar a esa escala, esto es, en la adquisición de capacidades que permitan habitar el espacio interior de modo similar a cómo hemos conquistado el mundo salvaje o cómo hemos empezado a reclamar el espacio exterior.

Entrando en el mundo nano y reconociendo el reto de colonizar y organizar ese espacio interior, vale preguntarse entonces cuáles son algunos de los retos de diseño que enfrentan los políticos, los ciudadanos y los nanotecnólogos. Propongo considerar, 1) el diseño de *interfaces*, y 2) el diseño de la nave espacial terrestre.

## 1. EL DISEÑO DE *INTERFACES*

Desde la perspectiva de muchos investigadores y comentaristas, la nanotecnología está generando un curioso cambio en la concepción tradicional de la tecnología. La visión tradicional sugiere lo siguiente: la naturaleza solía ser un lugar extraño y mágico con algo de espiritualidad en cada árbol. A falta de previsibilidad racional y control, no hay nada que podemos hacer más que rezar a esas cosas. La tecnología nos liberó de tal predicamento dándonos control a la par que desencanto y alienación. Sin embargo, ahora, las visiones tecnológicas más avanzadas en computación, genética o nanotecnología llegan a un límite en el que la tecnología se convierte en algo mágico, regresándonos a nuestro punto de partida, es decir, a un encantado y extraño estado de la naturaleza que, en realidad, en un principio, ya habíamos considerado insostenible cuando pensábamos en controlarla, computarla e incluso manipularla y dominarla. Este tipo de “tecnología naturalizada” es regresiva en tanto que nos devuelve a un estado de ignorancia de cara a nuestras invenciones técnicas. Los productos de nuestras mentes y acciones se confrontan; tal vez dejándonos como parte de esa naturaleza incomprendida.

La noción de diseño de *interfaces* hace un llamado a los ingenieros en el sentido de reflexionar acerca del propósito de la tecnología y sobre la

necesidad de combatir su regresión. Por ejemplo, si uno fuera a diseñar un dispositivo nanoescalar que puede desplazarse, afectar cosas y replicarse autónomamente, uno también tendría que aprender a rastrearlo, monitorearlo, avistarlo y controlarlo. Para la tecnología naturalizada necesitaremos descubrir tecnologías de confinación que permitan atarla a la escala de la acción humana. Tales tecnologías de confinación implican el diseño de *interfaces*, la determinación política en cuanto a especificaciones de diseño, inclusive técnicas conceptuales o literarias de conceptos venideros, así como la socialización de la tecnología naturalizada.

## 2. EL DISEÑO DE LA TIERRA COMO UNA NAVE ESPACIAL

Cuando Richard Feynman publicó su discurso de 1959: “There is plenty of room at the bottom”, no estaba, en realidad, fundando la nanotecnología, pero sí extendió una “invitación a entrar a un nuevo campo de la física”. Mientras Feynman articuló su visión de espacio interno sin fronteras, complementó la obsesión de sus días por la exploración del espacio exterior. Como lo ha señalado Astrid Schwarz (2005), “hay suficiente espacio ahí abajo”, significa que podríamos estar viviendo en un mundo limitado de recursos escasos, pero que hay una abundancia global ilimitada en el mundo nano –por tanto, colonicemos el mundo tal y como los contemporáneos de Feynman soñaron en escapar de la limitada condición humana por medio de la colonización de Marte. Dicha actitud es raramente enunciada explícitamente, pero es implícita en la creencia de un todopoderoso arreglo nanotecnológico (no hay problema que la nanotecnología no vaya a resolver) y en la ausencia de una reflexión sobre la eventual aparición de límites en el conocimiento y en la capacidad de control, ello, sobre todo, de cara a la complejidad que caracteriza la nanoescala.

Ahora bien, en lugar de apostarle, al futuro, una ruta alternativa es comenzar con los problemas medioambientales inmediatos y dirigir específicamente los programas de investigación en nanotecnología a la solución de tales problemas. Con el fin de alcanzar esta última ruta, será necesario entonces priorizar las promesas medioambientales de la nanotecnología en cuanto a su urgencia y relevancia social. La elección básica está, pues, entre el diseño consciente, la salvaje y peligrosa “Tierra como nave espacial” y la mera espera de los supuestos beneficios ambientales que se presumen de la mano de capacidades ilimitadas y de una recién descubierta abundancia.

En el recuento ofrecido hasta ahora, los nanoingenieros y nanoéticos trabajan en el mundo nano buscando caminos para acomodar a los seres humanos en éste. A la apertura inicial del mundo nano (hay mucho espacio

y, por tanto, un supuesto ilimitado potencial tecnológico) le corresponde entonces una aparente apertura del espacio social. Considerando lo anterior, la investigación en nanoescala y otras tecnologías “facilitadoras”,<sup>1</sup> parecen permitir posibilidades únicas para la modelización social y el establecimiento de la agenda pública. De hecho, la transformación de la “nanotecnología”, en determinadas nanotecnologías, debería y podría surgir de procesos democráticos. Pero, si el desarrollo de las nanotecnologías queda mejor enmarcado en el discurso de la globalización o en el de la colonización, es importante reconocer que ese espacio social no es, bajo ningún motivo, un espacio vacío donde todo es posible. Y es que cuando los ciudadanos del mundo se reúnan para reflexionar sobre los programas nanotecnológicos y sus promesas, seguramente encontrarán que su espacio discursivo, aparentemente abierto, está ocupado en buena medida por nociones de eficiencia, sustentabilidad, innovación, competitividad, supervivencia económica, entre otras cuestiones. En consecuencia, la labor de ingenieros y especialistas en ética no es sólo dilucidar visiones nanotecnológicas de modo específico, sino también resistir a los intentos de cierre prematuro. Necesitan desenmarañar demandas incuestionables referentes a las necesidades de innovación, la competencia global, las predicciones de mercado, los supuestos beneficios sociales o las necesidades humanas que han de ser asumidas.

Un poco menos entusiasta y con al menos una pizca de resignación, deberíamos modificar, por lo menos ligeramente, el eslogan que abre la presente reflexión: “Es un mundo nano – hagamos lo mejor de éste”.

Para una revisión extensa de los puntos aquí tratados, léase: Nordmann, 2007.

## BIBLIOGRAFÍA

- Nordmann, Alfred (2007). ‘Design Choices in the Nanoworld: A Space Odyssey’ en Marian Deblonde, Lieve Goorden *et al.* “Nano Researchers Facing Choices.” Christiane Timmerman y Barbara Segaert (eds). *The Dialogue Series*. Universitair Centrum Sint-Ignatius Antwerpen. Vol. 10: 13-30.
- Schwarz, Astrid (2005) “Shrinking the Ecological Footprint with NanoTechnoScience?” en Davis Baird, Alfred Nordmann, Joachim Schummer (eds.) *Discovering the Nanoscale*, Amsterdam: ios Press, pp. 203-208.

---

<sup>1</sup> *Enabling technologies*, en inglés. Se refiere a tecnologías que permiten el avance de la ciencia y la tecnología en su conjunto. Dentro de éstas, la literatura precisa la biotecnología, la electrónica e informática, entre otras.

# EVENTOS

▼ 18-20 de febrero de 2009

## Nano Tech 2009

Conference Tower. Tokyo Big Sight. Japón. Evento internacional sobre el avance de la nanotecnología y su presencia en el mercado. Organizada por el Prof. Tomoji Kawai del Instituto de Investigación Científica e Industrial de la Universidad de Osaka; el Dr. Eiichi Maruyama, asesor del Centro para Estrategias de la Propiedad Intelectual del RIKEN; entre otros miembros de la Universidad de Tohoku, el Instituto de Investigación de Mitsubishi, el Instituto Nacional para el Avance de la Ciencia y la Tecnología (AIST), etcétera.



Más información en: <http://www.nanotechexpo.jp/en/index.html>

▼ 9-11 de junio de 2009

## Nanotoxicology: Health & Environmental Impacts

**International Conference on the Environmental Implications and Applications of Nanotechnology**



Amherst, Massachusetts, Estados Unidos. Conferencia internacional organizada por el Environmental Institute y la Environmental Protection Agency de Estados Unidos. Temas a tratar: caracterización, detección y análisis;

nanotecnología verde; regulación y asuntos de legislación en nanotecnología; destino ambiental y movimiento de nanomateriales; biocapacidad, toxicidad y grados de exposición de nanomateriales; nanotecnología para el control y remediación ambiental.

Más información en: <http://www.umass.edu/tei/conferences/NanoConference/index.html>



## Economía Política de la Nanotecnología

**GIAN CARLO DELGADO RAMOS\***

**L**a nanotecnología refiere a la manipulación de la materia a escala nanométrica, es decir a la mil millonésima de metro. Se trata de una tecnología que más allá de caracterizarse por operar a esas dimensiones (en la que también trabajan otras disciplinas como la química), particularmente alude al diseño, caracterización y producción de nanoestructuras, nanodispositivos y nanosistemas novedosos a partir de ‘controlar’ la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a dicha escala con el objeto de su uso en diversas aplicaciones civiles y/o militares.

Las aplicaciones nanotecnológicas pueden, por tanto, ser tan distintas y con grados de complejidad tan amplios que los especialistas prefieren hablar de “nanotecnologías” para apreciar con mayor precisión tal diversidad de usos. Por ejemplo, los materiales nanoestructurados ya son utilizados en productos como bolas de tenis, golf o boliche; en la fabricación de neumáticos de alto rendimiento o de telas con propiedades antimanchas / antiarrugas; en cosméticos, fármacos y nuevos tratamientos terapéuticos; en filtros/membranas de agua nanoestructurados y ‘remedios’ medioambientales; en la mejora de procesos productivos mediante la introducción de materiales más resistentes o eficientes (tanto industriales como agroindustriales); o en el diseño de nuevos materiales para usos que van desde la electrónica, la aeronáutica y prácticamente toda la industria del transporte, hasta para su uso en armas más sofisticadas, ligeras y eficaces.

Estas aplicaciones, entre otras, han generado ya una doble atención. Por un lado, se observan amplios beneficios que posibilitarían la potencial reestructuración, en principio, de todo el entorno material que nos rodea. Y, por el otro, se identifican las posibles implicaciones que esa transformación generaría en el medio ambiente y, de ahí, en la salud, puesto que estarían presentes novedosas nanoestructuras diseñadas por el ser humano y cuyas características, en su gran mayoría, son todavía desconocidas.

Entre los riesgos e implicaciones que ya se indican, inclusive de fuerte tinte éticomoral, están: 1) que la promesa de reducir el consumo de energía y materiales por medio de aplicaciones nanotecnológicas no necesi-

---

\* Investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México. Contacto: [giandelgado@unam.mx](mailto:giandelgado@unam.mx)

riamente se realizará si se toma en cuenta toda la ‘mochila ecológica’ que cuesta la producción, uso y desecho de tales o cuales avances; 2) que las nanoestructuras pueden y seguramente alterarán el organismo humano y el de otras formas de vida con consecuencias impredecibles, por ejemplo, daños a los tejidos, a la información genética de las células, etc; 3) que los potenciales beneficios no necesariamente llegarán a la gran mayoría de la población que carece de medios económicos; 4) que las aplicaciones policomilitares potencialmente afectarán los derechos humanos al transformar la naturaleza de la guerra, las operaciones clandestinas, así como también los operativos de contrainsurgencia; o 5) que el actual avance de la nanotecnología, a la par de la biotecnología, la electroinformática y las ciencias cognitivas (las llamadas “tecnologías convergentes”) podrían resultar en el mediano-largo plazo en la transformación de la “naturaleza” humana al alterar el cuerpo y la mente, supuestamente hacia algo “mejor” (lo que sea que ello sea), entre otros puntos (véase: Delgado, 2008).

De cualquier modo, las expectativas se mantienen álgidas, factor que se refleja en un gasto público y privado exponencial y en un sostenido impulso y avance de la IyD de las nanotecnologías.

Se estima que las principales aplicaciones que se están desarrollando corresponden al sector salud y las ciencias de la vida en un 18% del total mundial; al de químicos en un 12%; al de la industria de la información y las comunicaciones en un 9%; a de remediaciones y otras aplicaciones medioambientales en un 9%; al sector transporte en un 8%; al de energía en un 8% y al de bienes de consumo en un 8%. Otras áreas de interés son el de la construcción (6%), artículos del hogar (5%), defensa y seguridad (5%), aeroespacial (5%), cuidado personal (3%), textiles (3%), y alimentos (1%) (Nanosspots, 2007: 39).

Es de notarse, sin embargo, que a pesar de que ya son numerosos los productos derivados de la nanotecnología que se comercializan o que están en fases de pre-comercialización, éstos son relativamente pocos en comparación a las dimensiones de la inversión efectuada. El grado de retorno de ganancias es todavía mínimo, sobre todo de frente al esperado en el mediano-largo plazo puesto que los diversos datos indican que, en términos del mercado global, hay una tendencia exponencial de negocio: de entrada, en los próximos 10 años, con aplicaciones nanotecnológicas en alrededor del 15% de la manufacturas a nivel global (Nordan, 2005). A ello súmese las expectativas que se tienen en el ámbito militar, mismo que no necesariamente opera bajo los lineamientos del mercado puesto que, por el contrario, muchas de las veces el producto ya ha sido vendido antes de su desarrollo y producción. Véase cuadro 1 referente a las principales líneas de investigación y desarrollo militar en Estados Unidos.





**CUADRO 1. Gasto en Nanotecnología del Departamento de la Defensa por aplicación (millones de dólares)**

Aplicación	2006 (real)	Adiciones del Congreso (2006)	2007 (estimado)	Adiciones del Congreso (2007 est)	2008 (solicitado)
Nano-fenómenos y procesos básicos	184.59	33.78	180.99	33.49	179.12
Nanomateriales	109.70	17.46	84.77	3.06	91.68
Nanodispositivos y sistemas	110.44	21.58	107.53	23.14	70.63
Instrumental de Investigación / Metrología	10.77	2.73	9.51	1.37	8.25
Nanomanufactura	3.12	0.00	4.83	1.91	1.00
Instalaciones y adquisición de instrumentos	4.31	0.00	28.60	0.00	22.97
Dimensiones Sociales	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00
TOTAL	423.95	75.56	417.26	62.99	374.68

FUENTE: DEPARTAMENTO DE LA DEFENSA, 2007.

Según *Lux Research*, en 2004 se registraron 12,980 millones de dólares (mdd) en ventas de productos que utilizan algún tipo de nanotecnología, monto que para 2008, según Científica, se especula en 166 mil mdd (Lux Research, 2008; Científica, 2008). Las proyecciones en el corto plazo son aún más llamativas en términos de su potencial ritmo de crecimiento. Para Lux, en 2010 se espera que las ventas asciendan a unos 507 mil mdd (Lawrence, 2005; Baker *et al.*, 2005). Cinco años después, en 2015, se calcula ya el billón de dólares (millón de millones) (Feder, 2004).

En este contexto de entusiasmo nanotecnológico, numerosos esquemas e iniciativas gubernamentales han sido implementados como mecanismos para estimular la investigación y desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología (Ver cuadro 2 para el caso de los países a la cabeza de este proceso). En lo que refiere al financiamiento, se estima que el gasto de los gobiernos en nanotecnología a nivel mundial, pasó de 430 millones de dólares en 1997 a 3 mil mdd en 2003; contexto en el que EUA aportó el 25 por ciento (Roco, 2004). Para 2004, Lux Research supone que el gasto total mundial ascendió a 8.6 mil mdd de los cuales 4.6 mil mdd provinieron del sector público. El gobierno de los Estados Unidos de América, EUA, contribuyó con 1.6 mil mdd (1.15 mil mdd a nivel federal y el resto a nivel estatal); el de Japón con alrededor de un millardo; y la Unión Europea, UE, con poco más de mil mdd (350 millones a nivel europeo, y a nivel nacional: 271 millones de Alemania, 187 millones de Francia, 162 millones del Reino Unido y el resto de otros países miembros).



**CUADRO 2. Nanotecnología y su financiamiento: el caso de Estados Unidos, Europa y Japón.**

País	Áreas Prioritarias	Política de financiamiento y monto
Estados Unidos	Fenómenos y procesos a la nanoescala; nanomateriales; nanodispositivos y nanosistemas de uso civil y militar; instrumentos de investigación, metrología y estandarización; nanomanufactura; emplazamiento de infraestructura de gran dimensión; grupos de análisis sobre dimensiones sociales de la nanotecnología.	Financiamiento anual desde la Iniciativa Nacional de Nanotecnología. Presupuesto estimado para el 2008: 1.44 mil millones de dólares.
Unión Europea Comisión Europea –FP7	Nanociencias y nanotecnología civil y militar; nanobiotecnología/nanomedicina (instrumental, materiales y procesos); nanoelectrónica y optoelectrónica; materiales y tecnologías para el desarrollo de nuevos procesos productivos.	Programa Marco Siete (FP7) del 2007 al 2013. Otorga un financiamiento programado de entre 45 y 50 mil millones de dólares. Corresponde sólo al 31% del gasto total europeo en el rubro. El resto lo comprende en un 57% el gasto público por país; en un 6% programas Comisión Europea-Estado Nacional; 4% Nacional-Privado; y en 2% Comisión Europea-Privado. Los países líderes son Alemania (NanoRed con numerosos entes realizando IyD y más de medio millar de empresas; cuenta con la denominada “NanoIniciativa 2010”); Francia (Consortio en Nanotecnología encabezado por el Centro Nacional de la Investigación Científica); y el Reino Unido (con una Iniciativa Nacional en Nanotecnología y su Programa de Nanotecnología LINK). El gasto anual alemán programado para el periodo 2006-2009 ronda entre los 300 y los 330 millones de euros. El francés los 140-150 millones según estimaciones que incluyen el 2008. Y el inglés, los 50 a 75 millones de euros anuales estimados para el lapso que va del 2003 al 2009.
Japón	Nanotecnología relacionada al desarrollo de materiales y dispositivos útiles, sobre todo, a la industria de la información y las comunicaciones, pero también al desarrollo de nuevas energías y tecnologías ambientales; aplicaciones medicas puntuales; entre otras áreas.	Tercer Plan Básico de Ciencia y Tecnología 2006 – 2010 con un financiamiento total de 25 billones de yenes o unos 208 mil millones de dólares. El gasto en nanotecnología programado para el periodo 2006-2010 se estima en unos 5 mil millones de dólares.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DE: DELGADO, 2008 Y NANOSPOSTS, 2007.

En 2005 los montos sugieren haber aumentado a 5.9 mil mdd del sector público, 4.5 mil mdd del gran y mediano empresariado y unos 500 millones de *start-ups* para un total de 10.9 mil mdd (Lux Research, 2006). Para 2006 las cifras de Lux Research precisan un total de 12.4 mil mdd: 6.4 mil mdd del sector público, 5.3 del gran y mediano empresariado y unos 700 millones de start-ups (Holman, 2007). Para el 2007, el monto del gasto total en nanociencia y nanotecnología a nivel mundial se especula entorno a los 14 mil mdd.

Nótese que para propósitos comparativos con otros países como China o Corea del Sur, las cifras deben ajustarse a lo que cada monto compra a nivel local pues, por ejemplo, el gasto gubernamental de China en nanotecnología de 130 mdd para 2004, *relativamente* compraba lo que en EUA hacían unos 611 millones.<sup>2</sup>

**CUADRO 3. Gasto Público en Nanotecnología por País -2004 / millones de euros-**

EUA	910 (Federal) + 333.3 (Estatal)
UE	915 (Estado) + 370 (Comisión)
Japón	750
China - Taiwan	83.3 + 75.9
Total	3,437
<i>Total Mundial</i>	<i>3,850</i>

FUENTE: COMISIÓN EUROPEA, 2005.

En 2006 esa misma relación representó un equivalente a 906 millones (Ibid). Si a lo anterior se suma el gasto de Taiwan de poco más de 100 millones de dólares y el de Hong Kong en el rango de otra cifra similar, China y sus provincias “especiales” —con las que tiene acuerdos de cooperación en investigación nanotecnológica— se colocan en términos relativos como “un” competidor importante en la arena internacional aunque en términos absolutos no lo figure así (Cuadro 3). Ello ya es especialmente visible en el rubro de publicaciones en nanociencia y nanotecnología. Véase cuadro 4.

<sup>2</sup> Debe tenerse en cuenta que tal ventaja es sólo en aspectos como salarios y ciertos costos de material de trabajo y de construcción de instalaciones. Algunos componentes y herramientas de trabajo han de ser importadas a precios en dólares o euros, lo mismo sucede con la movilidad internacional de sus investigadores, etcétera. Véase: Nordan, 2005. Op cit.

**CUADRO 4. Posicionamiento en publicaciones de Nanotecnología por autores (1995 – 2005)**

País	Todos los autores (1995)	Primer autor (1995)	Todos los autores (2005)	Primer autor (2005)
UE (27)	3,797 (25.3%)	3,476 (23.2%)	17,343 (31.0%)	14,806 (26.4%)
EUA	3,112 (20.8%)	2,836 (18.9%)	14,247 (25.4%)	12,183 (21.8%)
Japón	1,146 (7.6%)	1,031 (6.9%)	6,191 (11.1%)	5,342 (9.5%)
China	507 (3.4%)	472 (3.1%)	9,859 (17.6%)	9,252 (16.5%)
Alemania	1,077 (7.2%)	894 (6.0%)	4,910 (8.8%)	3,458 (6.2%)
Tigres Asiáticos	351 (2.3%)	315 (2.1%)	5,366 (9.6%)	4,760 (8.5%)

FUENTE: YOUTIE ET AL., 2008.

En adición a lo anterior, debe tenerse presente que el gasto en nanotecnología, por un lado, varía según la definición de ésta en cada país (por ejemplo a diferencia de la Unión Europea, en Estados Unidos ninguna actividad de la microelectrónica es sujeta a financiamiento en nanotecnología).

Por el otro lado, hay que también considerar que cuando se habla de gasto en nanotecnología, solamente se trata de aquel cuya modalidad es directa y específica ya que ahí no se considera el gasto indirecto en ciencia y otras tecnologías fundamentales para el avance de la nanotecnología (e.g. física, química, biotecnología). En tal sentido, la fortaleza del aparato científico-tecnológico como un todo es un factor más ha considerar. Y es que si bien los porcentajes de adjudicaciones en la Oficina Europea de Patentes durante 1978-2005 es similar en nanotecnología para EUA (34.6%), Japón (29.2%) y Europa (28.4%) (Igami y Okazaki, 2007: 14), ello no es así en términos generales de la innovación tecnológica de vanguardia ya que EUA acapara el 33% de ésta a nivel mundial, mientras que la Unión Europea (de los 15) lo hace en un 28.8% y Japón en 12.9 por ciento (NSF, 2004).

En resumen, el estímulo y expectativas en cuanto al avance de la nanociencia y las nanotecnologías es claramente creciente. Involucra actores de múltiples países que se vienen posicionando en diversas áreas o nichos de oportunidad aún a pesar de ya hay actores con clara ventaja. Y es que el potencial de negocio es de gran envergadura.

En el proceso, el diálogo social entorno a los aspectos legales, éticos, sociales y ambientales se considera fundamental puesto que debe incluir a todas las “partes”, desde nanotecnólogos y científicos de las ciencias

'exactas' y naturales, hasta especialistas de las ciencias sociales y las humanidades; empresarios; actores de la esfera política nacional e internacional; representantes de la sociedad civil; etcétera (Delgado, 2008: 381-417). El objeto: maximizar beneficios considerando las realidades nacionales; evitar o minimizar costos innecesarios; y consensuar y distribuir el riesgo.

## BIBLIOGRAFIA

- Baker, Stephen y Aston, Adam (2005). "The Business of Nanotech." **Business Week. EUA, 14 de enero.**
- Comisión Europea (2005). *Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond*. Bruselas, Bélgica.
- Delgado, Gian Carlo (2008). *Guerra por lo Invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. Ceiih, UNAM. México, 2008.
- Departamento de la Defensa (2007). *Defense Nanotechnology Research and Development Program*. EUA, 26 de abril.
- Feder, Barnaby (2004). "Nanotech IPOs, without a product." *The International Herald Tribune*. 26 de mayo.
- Holman, Michael (2007). *Top Nations in Nanotech See Their Lead Erode*. Lux Research. EUA, 8 de marzo.
- Igami, Masatsura y Okazaki, Teruo (2007). *Capturing Nanotechnology's Current State of Development Via Analysis of Patentes*. STI Working paper 2007/4. Directorate for Science, Technology and Industry. OECD. 23 de mayo.
- Lawrence, Stacy (2005). "Nanotech Grows Up. Funding for R&D doubled in 2004." *Technology Review*. EUA.
- Lux Research (2006). *The Nanotech Report. Investment Overview and Market Research for Nanotechnology*. Lux Research. Nueva York, EUA.
- Científica (2008). *Nanotechnology Opportunity Report*. 3rd edition. EUA.
- Nanoposts (2007). *Government Policy and Initiatives in Nanotechnology Worldwide 2007*. Canadá.
- Nordan, Matthew (2005). "Nanotechnology: where does the US stand?" *Lux Research*. Testimonio ante la House Committee on Sciences. EUA, 29 de Junio.
- NSF - National Science Foundation (2004). *Science & Engineering Indicators 2004*. Vol. 2. EUA

Roco, Mihail (2004). "Nanoscale science and engineering: unifying and transforming tools." *AIChE Journal*, Vol. 50. No. 5. EUA.

Youtie, Jan; Aspira, Philip; Porter, Alan L (2008). "Nanotechnology publications and citations by leading countries and blocs". *Journal of Nanoparticle Research*. SpringerLink. Holanda.

## ¿Qué es el Foro Consultivo?

### I. OBJETIVO Y FUNCIONES

La Ley de Ciencia y Tecnología, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2002, establece un parteaguas en la política de ciencia y tecnología en nuestro país al constituir nuevos organismos: **el Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y el Foro Consultivo Científico y Tecnológico** y al identificar **al CONACYT como cabeza de sector**.

En su artículo 36, la Ley plantea la constitución del Foro Consultivo Científico y Tecnológico y lo constituye como **órgano autónomo y permanente de consulta del Poder Ejecutivo, del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico y de la Junta de Gobierno del CONACYT**.

A petición de los **Poderes Legislativo y Judicial Federales**, el FCCYT podrá emitir consultas u opiniones sobre asuntos de interés general en materia de ciencia y tecnología.

El Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico es el órgano de política y coordinación encargado de regular los apoyos que el Gobierno Federal está obligado a otorgar para impulsar, fortalecer y desarrollar la investigación científica y tecnológica en general, en el país.

El Consejo General está integrado por:

1. El Presidente de la República, quien lo preside,
2. Los titulares de nueve secretarías de Estado,
3. El Director General del CONACYT en su calidad de Secretario Ejecutivo,
4. El Coordinador general del Foro Consultivo Científico y Tecnológico,
5. Cuatro miembros invitados por el Presidente de la República que actúan a título personal y que pueden ser integrantes del FCCYT.

Asimismo, el FCCYT promueve la expresión de la comunidad científica, académica, tecnológica y del sector productivo para la formulación de propuestas en materia de política y programas de investigación científica y tecnológica y presentarla al Consejo General.





Las funciones del Foro Consultivo se señalan en el artículo 37 de la citada Ley, éstas son:

1. Proponer y opinar sobre las políticas nacionales y programas sectoriales y especiales de apoyo a la investigación científica y al desarrollo tecnológico.
2. Proponer áreas y acciones prioritarias y de gasto que demanden atención y apoyo especiales en materia de investigación científica, desarrollo tecnológico, formación de investigadores, difusión del conocimiento científico y tecnológico y cooperación técnica internacional.
3. Analizar, opinar, proponer y difundir las disposiciones legales o las reformas o adiciones a las mismas, necesarias para impulsar la investigación científica y el desarrollo y la innovación tecnológica del país.
4. Formular sugerencias tendientes a vincular la modernización, la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector productivo, así como la vinculación entre la investigación científica y la educación conforme a los lineamientos que la Ley de Ciencia y Tecnología y otros ordenamientos establecen.
5. Opinar y valorar la eficacia y el impacto del Programa Especial y de los programas anuales prioritarios y de atención especial, así como formular propuestas para su mejor cumplimiento.
6. Rendir opiniones y formular sugerencias específicas que le solicite el Ejecutivo Federal o el Consejo General.

El Foro Consultivo podrá, a petición del Poder Legislativo Federal, emitir consultas u opiniones sobre asuntos de interés general en materia de ciencia y tecnología.

## II. CONSTITUCIÓN DEL FORO CONSULTIVO

Según lo señalado en el artículo 36 fracciones II y III, el Foro Consultivo está integrado por científicos, tecnólogos, empresarios y por representantes de las organizaciones e instituciones de carácter nacional, regional, local, públicas y privadas, reconocidas por sus tareas permanentes en la investigación científica y desarrollo e innovación tecnológicas, quienes participarán de manera voluntaria y honorífica. La selección de participantes se hace con base en los criterios de pluralidad, renovación y representatividad marcadas en la Ley de Ciencia y Tecnología.

Las fracciones IV, V y VI del artículo 36 de la Ley establecen que el Foro Consultivo deberá contar con una Mesa Directiva y con Comités de Trabajo

especializados por disciplinas y áreas de la ciencia y la tecnología. La Mesa Directiva es presidida por un Coordinador General, elegido por los propios integrantes, y auxiliada por un Secretario Técnico designado por el Director General del CONACYT.

La Mesa Directiva está formada por los titulares de catorce instituciones y por tres investigadores electos por los miembros del Sistema Nacional de Investigadores a través de una convocatoria conjunta entre el CONACYT y el Foro Consultivo. Las instituciones miembros de la Mesa Directiva son:

1. Academia Mexicana de Ciencias, A.C.
2. Asociación Nacional de Universidades de Educación Superior, A.C.
3. Asociación Mexicana de Directores de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico, A.C.
4. Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos.
5. Academia de Ingeniería, A.C.
6. Universidad Nacional Autónoma de México.
7. Academia Nacional de Medicina, A.C.
8. Consejo Nacional Agropecuario.
9. Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
10. Instituto Politécnico Nacional.
11. Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología, A.C.
12. Academia Mexicana de la Lengua.
13. Consejo Mexicano de Ciencias Sociales.
14. Academia Mexicana de la Historia.

El Coordinador General, quien representa al FCCYT en el Consejo General, en la Junta Directiva del CONACYT y se encarga de solicitar el resultado de las gestiones con las entidades y dependencias relativas a las recomendaciones que emanen del Foro.

La Secretaría Técnica, que se encarga, entre otras actividades, de auxiliar al Coordinador, a la Mesa Directiva y a los Comités de Trabajo en la organización de sus sesiones, en la logística de sus trabajos regulares, así como en la organización de cualquier otra actividad en la que el FCCYT se involucre.

Conforme a las Bases para la Integración, Funcionamiento y Organización del Foro señaladas en la fracción VII del artículo 36, los Comités y Grupos de Trabajo se integrarán por expertos científicos, tecnólogos y empresarios acreditados en sus respectivas áreas del conocimiento y por

representantes de las organizaciones e instituciones de carácter nacional, regional, local, públicas y privadas reconocidas por sus tareas permanentes en la investigación científica, desarrollo e innovación tecnológica. El resultado de sus sesiones de trabajo es la base de las propuestas, opiniones y posturas que presenta la Mesa Directiva ante las diversas instancias que toman decisiones políticas y presupuestales que afectan la investigación científica o al desarrollo tecnológico. La elección de los integrantes en cada comité o grupo, dependerá de su objetivo específico.

### III. FUNCIONAMIENTO

El Foro Consultivo Científico y Tecnológico es una organización de la sociedad civil, con autonomía operativa del Gobierno Federal. Su función primordial es la de proporcionar consejo experto en los temas de ciencia y tecnología al Ejecutivo Federal y a los otros poderes de la Unión. Aunque el Foro es una institución comparativamente joven, ha llegado de manera creciente a ocupar un espacio en el debate nacional en temas relacionados con la creación y apropiación del conocimiento en colaboración con las instituciones que lo integran y gobiernan.

La mayor parte de los trabajos del Foro consiste en estudios y monografías de algún aspecto de la vida intelectual o productiva del país. Estos estudios son desarrollados por especialistas nacionales a quienes de manera casuística, se apoyan en colaboradores y expertos de otros países contribuyendo, en combinación con una o más de las instituciones que lo gobiernan, en un número muy superior de productos. Éstos incluyen la celebración de reuniones temáticas, la gestión de leyes, normas y reglamentos, y el fomento de la construcción de un marco regulatorio sólido para el fomento a la ciencia y a la tecnología en México.

La configuración actual del Foro y la consolidación de su participación en este rico conjunto de actividades se logró en sus tres primeros años de vida. La tarea que toca emprender ahora incluye la revitalización de la vocación nacional para planear su propio destino, la consolidación de los instrumentos que animen a una rica actividad en ciencia y tecnología y, desde luego, a mejorar y diversificar de manera muy sustancial la forma en que nuestro país financia la ciencia y la tecnología en general.

Según lo estipulado en la Ley de Ciencia y Tecnología, el FCCYT tendrá las facultades que la Ley Orgánica del CONACYT le confiere en relación a la Junta de Gobierno y al Director General de ese organismo.

El CONACYT deberá transmitir al Consejo General y a las dependencias, entidades y demás instancias competentes las propuestas del FCCYT, así como de informar a éste el resultado que recaiga.

El CONACYT otorgará, por conducto del Secretario Técnico de la Mesa Directiva, los apoyos necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, lo que incluirá los apoyos logísticos y los recursos para la operación permanente, así como los gastos de traslado y estancia necesarias para la celebración de sus reuniones de trabajo.

#### IV. ACTIVIDADES

Los temas centrales que ocupan y orientan las labores del Foro Consultivo, Científico y Tecnológico pueden agruparse de la siguiente manera:

1. Evaluación al Sistema Nacional de Innovación.
2. Análisis de los programas de apoyo a la ciencia y a la tecnología, en particular al Sistema de fondos sectoriales y mixtos del CONACYT.
3. Construcción de un Acuerdo Nacional para Fomentar el Desarrollo, la Innovación y la Competitividad de México con base en el Conocimiento.
4. Estudio de prospectiva para la ciencia y la tecnología en México al 2030.
5. Propuesta de programas y reformas para la federación de la ciencia y la tecnología en México.
6. Identificación y propuesta de las bases para una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación.
7. Identificación de mecanismos de inversión en conocimiento para el desarrollo y bienestar de México.
8. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.
9. Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación.

En los cuatro años de su funcionamiento, el FCCYT ha:

1. Suscrito convenios de colaboración con:
  - 1.1. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión.
  - 1.2. Cámara de Senadores del Congreso de la Unión.
  - 1.3. Consejo de la Judicatura Federal, Poder Judicial de la Federación.
  - 1.4. Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología.
  - 1.5. Foro de Ciencia y Tecnología del Estado de México.
  - 1.6. Comisión de Economía, Cámara de Diputados del Congreso de la Unión.
  - 1.7. Universidad Autónoma Metropolitana.
  - 1.8. Instituto Nacional de Ecología, A.C.
  - 1.9. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C.



2. Colaborado con el Poder Legislativo Federal a través de:

- a. La realización de seminarios en los siguientes temas:
  - 2.1 El marco legislativo necesario para ciencia, tecnología, innovación y educación superior.
  - 2.2 Clonación y células troncales.
  - 2.3 Genoma Humano.
  - 2.4 Competitividad con base en el conocimiento.
  - 2.5 México, hacia un modelo de competitividad global.
  - 2.6 Nueva Ley para los Inmigrantes.
- b. Participando en los siguientes eventos, apoyando además su organización y difusión (\*):
  - 2.7 Foro Académico “La ciencia y la Tecnología como Ejes de la Competitividad de México”.
  - 2.8 Declaración de Cozumel, Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIX Legislatura, H. Cámara de Diputados.
  - 2.9 Congreso Internacional y Feria Ciencia y Tecnología, Cámara de Diputados “La Ciencia y la Tecnología y el Bienestar de las Naciones: Los Retos para la Política de Innovación y el Desarrollo Científico-Tecnológico en México”.
- c. Opiniones vertidas por el Foro en relación a las iniciativas presentadas por diputados o senadores en los siguientes temas:
  - 2.10 Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados.
  - 2.11 Clonación, células troncales y genoma humano.
  - 2.12 Propiedad industrial.
  - 2.13 Ley de Ciencia y Tecnología.
  - 2.14 Ley General de Salud.
  - 2.15 Captación de recursos para incrementar el presupuesto de egresos de la Federación para ciencia y tecnología.
  - 2.16 Creación de la Agencia Espacial Mexicana.
  - 2.17 Ley para el Fomento a la Innovación y al Desarrollo de Empresas y Actividades de Base Tecnológica.
- 3. Colaboración con los Congresos Estatales a través de la realización de seminarios en los siguientes temas:
  - 3.1 Cinco Reuniones sobre Legislación y Política en Ciencia Tecnología y Educación Superior (Regiones Sur-Sureste, Centro-Occidente, Noroeste, Noreste y Centro Sur y Metropolitana).
  - 3.2 Reunión Nacional sobre Legislación y Política en Ciencia, Tecnología y Educación Superior.



- 3.3 Peligro Geológico: Sismos y Tsunamis en México y en el Mundo.
  - 3.4 Sismos y Tsunamis en las Costas del Pacífico Mexicano.
  - 3.5 Protección Civil y Desastres Naturales.
4. Congresos nacionales, regionales y seminarios con la participación de legisladores estatales y federales, académicos, empresarios y miembros del Poder Ejecutivo Estatal.
- 4.1 Congreso de Nacional de Vinculación para la Competitividad.
  - 4.2 Congreso Nacional sobre la Situación de la Ciencia y la Tecnología en las Universidades Públicas de los Estados.
  - 4.3 Congreso Estado y Perspectivas de la Investigación en las Instituciones de Educación Superior en la Región Sur-Sureste.
  - 4.4 Seminario: Mecanismos para la Apropiación y Explotación del Conocimiento de Científicos e Investigadores de México.
  - 4.5 Cinco Seminarios Regionales sobre Desarrollo de la Competitividad con base en el Conocimiento (Regiones Sur-Sureste, Centro-Occidente, Noroeste, Noreste y Centro Sur y Metropolitana).
  - 4.6 Seminarios Permanentes de Discusión sobre las Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación en México:
    - 4.6.1 Concepciones y visiones sobre políticas de ciencia, tecnología e innovación.
    - 4.6.2 Los retos de la investigación científica.
    - 4.6.3 Desarrollo tecnológico e innovación: el rol de la I+D privada.
    - 4.6.4 Recursos Humanos para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación.
    - 4.6.5 Enfoques y ámbitos de las políticas: Nacional, regional, estatal, local y sectorial.
  - 4.7 Ocho Seminarios Regionales de Innovación con los temas de:
    - 4.7.1 Innovación, turismo y desastres naturales.
    - 4.7.2 Innovación, vinculación y educación pertinente.
    - 4.7.3 Desarrollo sustentable: El agua.
    - 4.7.4 Impulsando la competitividad y el empleo de calidad.
    - 4.7.5 Ciencia básica para el bienestar sustentable de la sociedad.
    - 4.7.6 La política energética de México y los recursos renovables.
    - 4.7.7 Migración y desarrollo: Hacia políticas públicas innovadoras en México.
    - 4.7.8 Bienestar y desarrollo social.
  - 4.8 Seminario: Propiedad Intelectual en la Economía Nacional.



5. Propuestas al CONACYT tendentes a la difusión y el mejoramiento de sus instrumentos de fomento a la ciencia y la tecnología así como la creación de otros que satisfagan la demanda de la comunidad científica, específicamente en relación a:

- 5.1 Fondos Mixtos y Sectoriales.
- 5.2 Sistema Nacional de Investigadores.
- 5.3 Análisis y propuestas de modificación al Reglamento del SNI.
- 5.4 Renovación de las Comisiones Dictaminadoras del SNI.
- 5.5 Plan de carrera.
- 5.6 Vinculación del sector académico con el sector productivo.
- 5.7 Fortalecimiento Ciencia y Tecnología en los Estados.
- 5.8 Renovación de las Comisiones Dictaminadoras del SNI.
- 5.9 Estímulos Fiscales a la Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- 5.10 Cuenta Nacional de Ciencia y Tecnología.

6. Propuestas al Gobierno Federal en relación al Presupuesto Federal de Egresos de la Federación en materia de Ciencia y Tecnología.

- 6.1 Análisis del presupuesto ejercido en ciencia y tecnología (2004, 2005 y 2006).
- 6.2 Proyecto: "Análisis de las Finanzas Públicas en México".
- 6.3 Proyecto de captación de recursos federales adicionales para ciencia y tecnología.
- 6.4 Presupuesto Federal de Egresos. Propuesta para 2005 "Inversión para impulsar la Investigación Científica y el Desarrollo Tecnológico en México".

7. Actividades interinstitucionales

- 7.1 Semana de las PYMES (2003, 2004 y 2005).
- 7.2 Participación en los órganos colegiados del CONACYT (Junta de Gobierno, Comisión Asesora de la Junta de Gobierno, Comité Técnico del Fondo Institucional, Comité Técnico de Estímulos Fiscales).
- 7.3 Participación, en calidad de miembro permanente del Consejo General de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.

8. Proyectos especiales

- 8.1 Dictamen sobre las condiciones de seguridad e higiene de la mina Pasta de Conchos (Secretaría del Trabajo y Previsión Social).
- 8.2 Impacto social de la construcción del aeropuerto de la Ciudad de México.
- 8.3 Creación de un centro de investigación, desarrollo tecnológico e innovación para la minería en México.





## 9. Edición de libros producto de las actividades de los Grupos de Trabajo del Foro

- 9.1 Análisis de las finanzas públicas en México.
- 9.2 Situación de la ciencia y la tecnología en las universidades públicas de los estados.
- 9.3 Estado y perspectivas de la investigación en las instituciones de educación superior en la región sur-sureste.
- 9.4 Hacia la construcción de las instituciones de investigación y educación superior (IPIES).
- 9.5 Bases para una política de Estado en ciencia, tecnología e innovación en México.
- 9.6 Conocimiento e innovación en Mexico: Hacia una política de Estado, elementos para el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa de Gobierno 2006-2012.
- 9.7 Memorias de los Seminarios de clonación y células troncales.
- 9.8 La tecnología mexicana al servicio de la industria.
- 9.9 Memorias de los Seminarios de protección civil y desastres inducidos por fenómenos naturales.
- 9.10 Ciencia, tecnología e innovación: El desarrollo sustentable alrededor de oportunidades basadas en el conocimiento.

## 10. Coedición de libros

- 10.1 Una reflexión sobre el Sistema Nacional de Investigadores a 20 años de su creación, Academia Mexicana de Ciencias, Foro Consultivo Científico y Tecnológico
- 10.2 Memorias de los Encuentros Internacionales de Derecho Ambiental, Liga Internacional de Abogados Ambientalistas, Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- 10.3 Casos de éxito del Programa de Estímulos Fiscales, CONACYT, Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- 10.4 La crisis del petróleo en México, Sección Mexicana del Club de Roma, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, *Campus Santa Fe*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico
- 10.5 Eutanasia (en proceso) Colegio de Bioética, Foro Consultivo Científico y Tecnológico.

La información recabada a través de las anteriores actividades, la interlocución lograda entre los diversos actores y el conocimiento adquirido de los diversos esquemas estatales, regionales y federal en cuanto al estado de la ciencia, la tecnología y la innovación, su financiamiento y su impacto en la educación, el empleo y el bienestar social, hacen posible que para el presente sexenio el FCCYT se encuentre plenamente validado para propo-

ner al Ejecutivo un proyecto de política de Estado en ciencia, tecnología e innovación, haga propuestas al Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 en los temas de su competencia e identifique sistemas, programas y propuestas de estímulos que hagan posible la articulación real entre el sector productivo y el académico. Además, ha favorecido desde su creación el diálogo horizontal entre los legisladores, el Ejecutivo estatal y federal y las comunidades científica y empresarial del país

México, D.F. a 31 de marzo de 2008.

## Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología de Gian Carlo Delgado-Ramos

JOSÉ A. AMOZURRUTIA\*

### EL NEGOCIO DE LO INVISIBLE: PLAN DEL LIBRO

**H**ablar de nanotecnología, dice Delgado Ramos, “implica abrir una amplia discusión sobre la ciencia y la tecnología de punta, de su ‘naturaleza’, de sus incertidumbres, implicaciones y potenciales beneficios y riesgos...”, pero además, señala, tiene “implicaciones en la guerra que desata...”, y ello lo explicita certeramente en el título del libro: “**el negocio de lo invisible**”, como una metáfora que tiene todos los ingredientes para ser “real”.

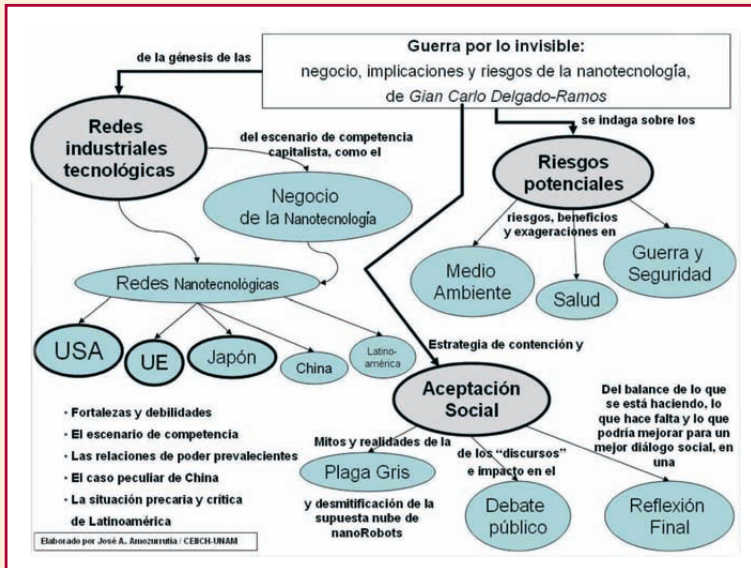
Este libro da cuenta del estado tecnológico de punta, al hacer explícitas las incertidumbres y riesgos en los que estamos involucrados y propone alternativas para enfrentar este reto con lo invisible. Para enfrentar una situación que se cierne ya desde hace varios años y que continúa de manera casi “intangibles y subliminal”, añadiría yo. Pero veamos cuál es la estructura del libro a través del siguiente mapa:



### PERSPECTIVA MULTIDISCIPLINARIA

Lo primero que me llama la atención de este libro, es la perspectiva multidisciplinaria del planteamiento del problema. El autor vincula en diferentes grados de acoplamiento y conjugación, las perspectivas de comprensión y explicación de las ciencias naturales y físicas con las ciencias sociales y humanísticas: reto mayúsculo que hoy en día enfrentan los centros de investigación de manera asidua.

\* Es investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM.



\*\* USA: ESTADOS UNIDOS; UE: UNIÓN EUROPEA.

Se trata, entonces, de una mirada analítica que parte de un compromiso sociocientífico, esto es, de las implicaciones sociales de la ciencia y de la tecnología (mejor comprendida hoy como “tecnociencia”), y sin dejar de aludir, y dar el lugar adecuado al componente científico, lo vincula necesariamente a lo social y a lo político.

Con ello, la tecnociencia siempre estará vinculada a un contexto social y político, perspectiva que caracteriza ya, la mirada multidisciplinaria de la investigación en los últimos años.

Esto es admirable, creo yo, porque es desde este ángulo de observación y de análisis, donde vital reflexionar los temas sustantivos que nos atañen como sociedad. Este libro es un ejemplo que apunta hacia un ideal sobre la reflexión sería de la realidad que construimos, “y también una crítica a la realidad que dejamos ciegamente construir”, otro aspecto que quiero también enmarcar y enfatizar como característica de esta lectura.

## PERSPECTIVA TÉCNICA DE LO “NANO”

La reflexión que hace Delgado es a partir de un análisis muy completo de información derivada de una investigación documental a lo

largo de varios años, tiene todos los elementos para ser también un documento de difusión inteligente para lectores que no desconocen los conceptos básicos de las ciencias naturales como la física, química, computación y biología, así como elementos de psicología, sociología y ciencia política. Además, el libro también nos enriquece en el conocimiento de temas y conceptos asociados a esta tecnología de punta: ahí describe los tipos de nanoestructuras, de fullerenos, de dendrímeros, los “quantum dots o puntos cuánticos”<sup>2</sup> o los fenómenos de multiexcitón, entre otros.

La lectura de estos temas, “de lo invisible físicamente” (que de algún modo nos acerca a la experiencia que viven los físicos de la mecánica estadística), nos exige pensar, aún más, en nuevas formas de comprensión de los fenómenos físicos, de sus condiciones de operación, de sus formas de interacción y de repercusión. Por ello, tendremos la necesidad de matizar nuestra concepción de partícula y de estructura específicamente a nivel molecular, dado que ello nos lleva a una mejor dilucidación hacia nuevas formas de comprensión de los niveles de reacción, de alteración, de control de la materia y de contaminación. Todo ello, a su vez, nos conducirá a una reconceptualización de conceptos y fenómenos a nivel “nano”, y necesariamente a la necesidad de redefinirlos ahora bajo dicho prefijo para aludirlos como nanopartículas, nanoestructuras, nanotubos, nanometrías y demás términos por venir.

Esta “nano perspectiva” no debe tomarse como un mero prefijo gramatical que cambia el nivel de escala, como quien cambia una regla de medición de kilómetros a milímetros. Se trata de un cambio “no-lineal” que exige una fuerte transformación de los conceptos y procedimientos que hemos usado para medir y explicar los fenómenos físicos hasta el desarrollo científico actual. Se trata del desarrollo de una nueva forma de comprensión de la realidad a nivel “nano” y, sobre todo, del desarrollo de nuevos instrumentos de medición y de nuevas herramientas para intervenir a ese nivel de realidad, dentro de una escala de comportamientos e interacciones más integrada respecto a los conceptos de “materia/energía/tiempo”.

---

<sup>2</sup> “Punto cuántico o transistores de un solo electrón” se refiere a una estructura cristalina que puede transformar su energía lumínica de manera particular y atractiva para la mirada “nano”: dado que el 70% de los átomos de estas estructuras cristalinas operan en capas externas, a nivel de superficie, la adición de un electrón en ella produce cambios en sus propiedades que pueden ser usados para aplicaciones computacionales en donde estas modificaciones de energía, se utilizan para procesar información.

Delgado también aborda en su libro esos temas, estas implicaciones que tiene la “Guerra por lo invisible”, y por ello enfatizo la relevancia que adopta desde el nivel multidisciplinario que enfrenta su texto, por ello la importancia que tiene dicho reto para lectores que, además de buscar la perplejidad ante la inventiva y creatividad científica, reflexionan sobre las implicaciones sociales/políticas/económicas/biológicas/morales a que conduce el desarrollo “invisible” de la nanotecnología.

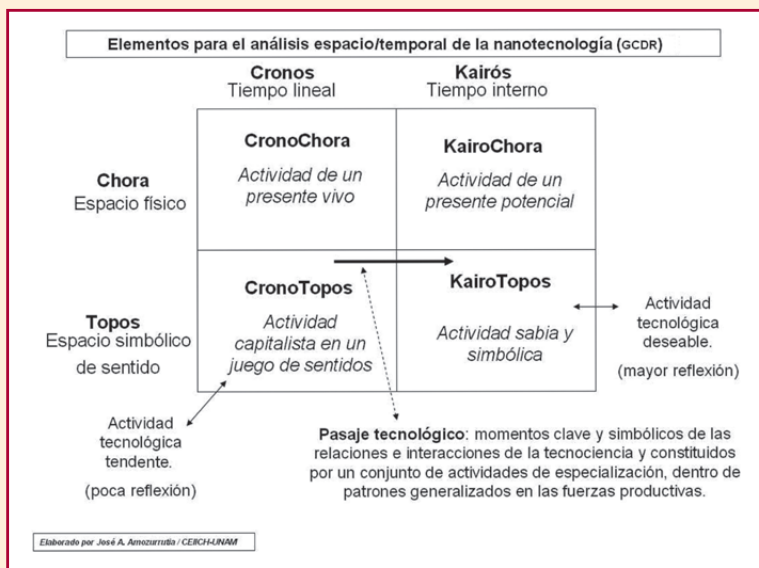
### “TIEMPO/ESPACIO” NANOTECNOLÓGICO

Uno de los recursos que usa Delgado para enmarcar la difícil perspectiva y actividad que se lleva a cabo en este nivel de desarrollo tecnológico, es la construcción de una matriz de cuatro espacios derivados de la interacción de la dimensión espacial y la temporal. En una primera dimensión distingue dos conceptualizaciones de espacio: un espacio que es ocupado y penetrado físicamente por objetos, que es denominado por los griegos como *chora*, diferenciado de un espacio que alude más a un lugar significativo, simbólicamente ocupable, que apunta a un centro imaginario, un espacio referido como *topos*. En una segunda dimensión, distingue dos tiempos: el tiempo lineal medido por el reloj y los calendarios: *cronos* y, por otro lado, el tiempo interno, el del sentido de las cosas, *kairós*, que responde y atiende más a la discursividad en los significados en la investigación. La figura de la página siguiente nos permite sintetizar algunas ideas relativas a estos conceptos:

Considerando lo anterior, nótese que son posibles cuatro combinaciones o formas de interacción “espacio/temporales”. El autor selecciona el cruce entre un espacio (como centro imaginario) y un tiempo, que le da sentido a la creatividad generando así un “kairotopos”, un “espacio/tiempo” que refiere a la unificación de un lugar simbólico y un tiempo abstracto en correspondencia con una actividad sabia en un momento oportuno y propicio para el desarrollo de la nanotecnología.

Se aprecia, sin embargo, que el “espacio/tiempo” que realmente se está dando en el avance de la nanotecnología, en general, es un espacio “CronosTopos”, poblado por intereses económicos de corto plazo, con programas de trabajo cronometrados aunque un tanto idealizados por un sentido de lo deseable.

El “espacio/tiempo” menos deseable en esta matriz es, quizá, el “Cronochora” que reflexiona dentro de un presente cronometrado y con pocos grados de reflexión a mediano y largo plazo.



Estos elementos de análisis nos permiten ubicar desde una perspectiva más sensata y equilibrada –en cuanto a la dosis de análisis y crítica desde las ciencias naturales y físicas y las ciencias sociales y humanísticas- las posibilidades del desarrollo de la tecnociencia, además de que esta matriz facilita una reflexión multidisciplinar y el reto que ello implica.

## POLOS TECNOCIENTÍFICOS

Como ya referí en el mapa que sintetiza la estructura del libro, en los primeros capítulos Delgado describe cómo el desarrollo de la ciencia y de la tecnología responde hoy en día a una fórmula que vincula al Estado nación, a las universidades y a las empresas privadas. Estos nodos se acoplan intercambiando, entre sí, recursos materiales y humanos de distinto calibre: en los centros de investigación de las universidades se generan ideas y *se exportan expertos* al Estado y Empresas privadas. Del Estado se cubren financiamientos y subvenciones y del Sector Empresarial se capitalizan contratos, equipos de trabajo y se cubren financiamientos. Este último sector es, desde luego, el más fuerte. Éste es el sector (añado yo) que adopta un juego invisible, hacia “jaques” sociales más certeros en futuros próximos,



aunque no oculte algunos logros en su camino. Pero es desde esta perspectiva posible, donde es necesario un “kairotopos”, y una reflexión orientada al mejor tipo de transformaciones sociales, construida bajo axiologías derivadas de la perspectiva interdisciplinaria consensuada.

Delgado nos presenta en su libro un esquema que matiza y desarrolla esta poderosa red industrial y nos ofrece gran cantidad de información para dar cuenta de una de las formas que está adoptando la gran guerra por lo invisible, una estrategia que va “de las dimensiones pequeñas a los negocios grandes”. Tanto en lo económico como en lo político estos polos industriales se están consolidando exponencialmente en las potencias referidas, Estados Unidos, el bloque de la Unión Europea y Japón principalmente (y muy de cerca China), pero también va disminuyendo cada vez más en las potencias que, más que invisibles, son borradas del desarrollo tecnológico, y aludo a los países en vías de desarrollo, como es el caso de América Latina y África. Razones, cifras y análisis en la primera parte del libro nos dan cuenta de esta situación y siempre será muy sano y necesario conocer las distancias, contradicciones y dependencias a que están sujetas nuestras latitudes en estos aspectos.

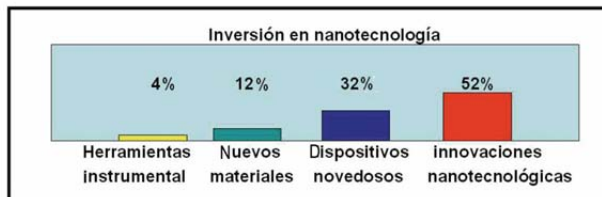
## PROPUESTAS...

A partir de estos elementos y de muchos otros que Delgado describe en los capítulos subsiguientes, nos presenta una propuesta sobre “cómo proceder para abrir el sistema de evaluación de ‘pares válidos’ cuando hay incertidumbres” y riesgos en el desarrollo nanotecnológico, y de aquí la necesidad de un “diálogo social” vinculado a un intercambio de información, deliberación, interpretación y decisión, asociadas a una perspectiva política.

Efectivamente, se trata de un diálogo social en donde es vital el desarrollo de una cultura de información, asociada a una de comunicación y, necesariamente, de conocimiento, en donde se mejore la comprensión social sobre la complejidad, la incertidumbre, los beneficios y riesgos de un desarrollo tecnológico como el nanotecnológico, a lo largo de un panorama espacio-temporal de actividades tipo “kairotopos”, referido a la construcción de un lugar simbólico consensado y deseable, acoplado a un tiempo en correspondencia con una actividad más serena y sabia en cada decisión en las investigaciones.

Dentro de la metodología más idónea para llevar a cabo este diálogo social, Delgado hace referencia a la necesidad de establecer un

## Polos/nodos de desarrollo en ciencia y tecnología



diálogo entre actores de las comunidades de las ciencias físicas, naturales, sociales y humanidades, así como del sector gubernamental, empresarial “y” de la comunidad civil. Incluye, además, a una sexta comunidad que funge como “facilitadora” del proceso del diálogo social, una comunidad de “especialistas independientes Inter-, multi- y transdisciplinarios en aspectos legales, éticos, sociales y ambientales: las comunidades ALESA. De ella describe minuciosamente los diferentes matices y cualidades que se han desarrollado en comunidades semejantes que han surgido recientemente tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea.

### CERRANDO...

Así como existe una controversia entre los aduladores de la nanotecnología y los críticos que cuestionan la pertinencia de dicho desarrollo (sesgado y ocultando informaciones), así deberemos construir una crítica cada vez mas sólida, que bajo el paraguas de un *Kairotopos*, o sea, un “espacio/tiempo” alejado del látigo del “tiempo/espacio-cronometrado/delimitado”, y mejor centrado en la reflexión de



mundos posibles en “tiempos/espacios” contruidos inteligente y más sabiamente.

Para ello, como propone Delgado al final del libro —por ello habrá que leerlo!—, tenemos la obligación, científicos en equipo, profesionales reflexivos y gobiernos inteligentes, de propiciar proyectos e investigaciones multidisciplinarias y autónomas, propiciando y manteniendo un diálogo incluyente, participativo y activo ante la negociación. Tenemos la obligación, añado yo, de documentarnos con lecturas como la que enmarcamos en este espacio y en reflexiones que nos conduzcan a mejores toma de decisión respecto a nuestras propias identidades y culturas. Enhorabuena el destino de este libro para que estimule un conocimiento reflexivo de lo implícito y lo invisible y nos permita comprender, ubicar y actuar en qué lugar queremos estar como sujetos sociales.

## 1. BASIUK, VLADIMIR Y BASIUK, ELENA

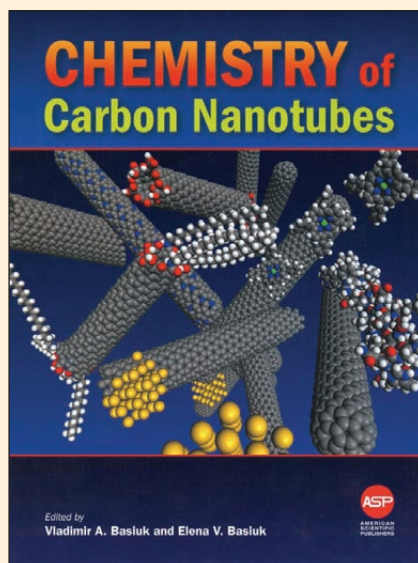
*Chemistry of Carbon Nanotubes. American Scientific Publishers. Estados Unidos, 2008. Vol. 1, 2 y 3*

Una de las colecciones más relevantes en la temática con colaboraciones de 90 expertos de más de 20 países. Los editores son investigadores del Instituto de Ciencias Nucleares y del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; ambos de la UNAM.

Compuesta por tres volúmenes, la colección *Química de Nanotubos de Carbono*, ofrece un compendio sobre la química de nanotubos de carbono y toda una gama de aspectos relacionados a teoría y modelización, así como a su síntesis, caracterización, funcionalización, potenciales aplicaciones, etcétera.

El *primer volumen* aborda tópicos como la síntesis de nanotubos de carbono; síntesis, separación y transformación térmica de nanotubos de carbono monocapa; curvatura, aromaticidad y reactividad de nanotubos de carbono monocapa; defectos de imagen en nanotubos de carbono y de grafeno con microscopio de barrido de efecto túnel; fenómeno de irradiación inducida en nanotubos de carbono; dopaje de nanotubos de carbono con nitrógeno y boro; avances en síntesis de nanotubos de carbono; sonoquímica de nanotubos de carbono; interacción de hidrógeno con nanotubos de carbono; almacenamiento de hidrógeno en nanotubos de carbono; interacciones de gas con nanotubos de carbono; mecanoquímica de nanotubos de carbono; y fluorización de nanotubos de carbono.

El *segundo volumen* incluye aspectos de oxidación de nanotubos de carbono monocapa; funcionalización de paredes externas en nanotubos de carbono; derivatización orgánica de defectos de oxidación en nanotubos de carbono; técnicas libres



de solventes para la modificación química covalente de nanotubos de carbono; compuestos metalizados en nanotubos de carbono; nanotubos de carbono en nanocompositos donador-atractor de electrones; interacciones de polímeros con nanotubos de carbono; nanocompositos avanzados de nanotubos de carbono; química de polímeros de nanotubos de carbono; dispersiones de nanotubos de cristal líquido y carbono; bioaplicaciones de nanotubos de carbono; aplicaciones electrónicas de nanotubos de carbono modificados químicamente; y aplicaciones de nanotubos de carbonos en química analítica.

El *tercer volumen* aborda temas como la interacción entre nanotubos de carbono y biomoléculas; compositos inorgánicos de nanotubos de carbono;

nanopartículas metálicas en nanotubos de carbono; materiales composites de nanotubos de carbono y puntos cuánticos; modificación endohedral de nanotubos de carbono; nanotubos de carbono solubles; técnicas de separación de nanotubos de carbono; caracterización por espectroscopía de nanotubos de carbono; métodos de nanotubos de carbono; espectroscopía  $^{13}\text{C}$  NMR de nanotubos de carbono; métodos

teóricos de densidad funcional en química teórica de nanotubos de carbono; métodos semiempíricos en química teórica de nanotubos de carbono; y técnica ONIOM en química teórica de nanotubos de carbono.

[www.aspbs.com/cnt.htm](http://www.aspbs.com/cnt.htm)

## 2. CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (NCTC)

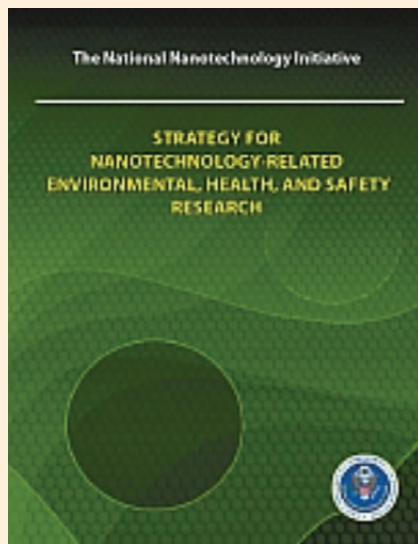
*Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health and Safety Research (Iniciativa Nacional en Nanotecnología. Estados Unidos, febrero de 2008).*

**E**l informe de la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de Estados Unidos es resultado del interés de incrementar las investigaciones en torno a los riesgos que pueden suponer los nanomateriales. De ahí que el presupuesto de la Iniciativa en ese rubro haya pasado de un par de decenas de millones de dólares a principios de siglo a 254 millones para 2009.

El informe describe la estrategia estadounidense para coordinar esfuerzos y priorizar la investigación sobre los aspectos ambientales, a la salud y de seguridad de los nanomateriales. En particular enumera las prioridades conjuntas y por agencias gubernamentales involucradas entre las que destacan: 1) instrumentación, metrología y métodos de análisis; 2) investigación en riesgos a la salud, 3) al medio ambiente; 4) desarrollo de métodos para el manejo de potenciales riesgos y, 5) diseño de esquemas de evaluación de exposición a nanomateriales en humanos y el medio ambiente.

El informe se puede descargar, en Inglés, de:

[www.nano.gov/NNI\\_EHS\\_Research\\_Strategy.pdf](http://www.nano.gov/NNI_EHS_Research_Strategy.pdf)



### 3. FELT, ULRIKE (RAPPORTEUR)

*Taking European Knowledge Society Seriously.*  
(Comisión Europea. Bruselas, 2007)

Una de las entregas más recientes elaborada por un grupo de expertos de la Comisión Europea en el área de “Ciencia y Gobernanza”. El grupo, liderado por Brian Wynne, de la Universidad de Lancaster, ofrece un documento que discute el concepto y lógica de la innovación, al tiempo que llama a la “normalización de Europa” por medio del desarrollo de la ciencia considerando riesgos, incertidumbres y medidas precautorias. El estudio evalúa los nuevos discursos normativos en el desarrollo de la ciencia europea y su gobernanza, en particular, en lo que refiere a cuestiones legales y la ética. También revisa cuáles son los mecanismos de vinculación con y del público en torno a la política y avance científico-tecnológico de vanguardia; y cómo se construyen los imaginarios, narrativas y reflexiones sociales de la sociedad europea del conocimiento. Ofrece una propuesta para el desarrollo robusto y sustentable de la ciencia y la tecnología en Europa.

El informe puede ser descargado, en Inglés, de:

[http://ec.europa.eu/research/science-society/document\\_library/pdf\\_06/european-knowledge-society\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/european-knowledge-society_en.pdf)



## 4. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.

*Diagnóstico y Prospectiva de la Nanotecnología en México*  
(CIMAV-Secretaría de Economía-Funtec. México, febrero de 2008)

Ofrece una visión panorámica del estado y avance de la investigación y desarrollo de la nanotecnología en el mundo, con énfasis en el caso de México.

Identifica 56 instituciones que desarrollan actividades de investigación y/o docencia relacionadas con la nanotecnología en el país. Ésas albergan a 449 investigadores relacionados con la temática, de los cuales 29% pertenece a centros CONACYT, 18% a la Universidad Nacional Autónoma de México, 15% al Instituto Mexicano del Petróleo, 8% al Instituto Politécnico Nacional y el 30% restante a otras 20 instituciones ubicadas en distintos estados del país.

El diagnóstico señala, entre otras cuestiones, que los recursos y esfuerzos dedicados a la nanotecnología en México son aislados y dispersos, no obstante la presencia de varios grupos de investigación y desarrollo de alto nivel e incluso con reconocimiento internacional. Según el documento, entre las debilidades del país están: a) la carencia de un programa o iniciativa nacional de nanotecnología; b) la ausencia de ámbitos colaborativos entre los diferentes grupos de investigación; c) el escaso presupuesto gubernamental; d) la inexistencia de un modelo de transferencia del conocimiento a la sociedad; e) el amplio sector de medianas y pequeñas empresas sin capacidad de inversión en tecnologías; f) la falta de cultura empresarial en inversiones de riesgo; y g) el complejo sistema de trámites y burocracia.

El informe, por tanto, llama a la creación de una iniciativa o programa nacional que impulse la nanociencia y la nanotecnología, constituyendo el marco



de referencia para las actividades de investigación, desarrollo e innovación en el ámbito nacional; al establecimiento de fondos públicos destinados a la inversión en investigación, desarrollo e innovación de la nanociencia y nanotecnología; a impulsar la investigación, desarrollo e innovación de la nanotecnología responsable, sustentada en la normatividad nacional e internacional; a favorecer la formación de recursos humanos competentes en nanotecnología; y a incorporar la nanotecnología en las prioridades de política de desarrollo industrial, como un elemento estratégico para la competitividad y crecimiento del sector industrial.



# INSTRUCTIVO PARA AUTORES

*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* invita a enviar colaboraciones para su número 2 antes del 15 de febrero de 2009.

Las colaboraciones deben ajustarse al objetivo principal de la revista, esto es el 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 COMPLETOS**

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.



## FOTO O ILUSTRACIÓN

Se publicarán las mejores fotos o ilustraciones en nanociencia y nanotecnología, las cuales serán escogidas por el comité editorial.

## MECANISMO EDITORIAL

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 del artículo. Los trabajos aceptados serán revisados por un editor de estilo. La versión final del artículo deberá ser siempre aprobada por el autor.

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Los artículos deben 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 mundon@cnyun.unam.mx. En la elaboración de los manuscritos se deberán cumplir los siguientes lineamientos:

- a) Los textos deberán ser 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 debe de 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) Además deberá enviarse un breve anexo que contenga: resumen del texto, importancia de su divulgación y un resumen curricular de cada autor, el cual incluya, nombre, grado académico y/o experiencia profesional, número de publicaciones, distinciones y proyectos más relevantes.
- d) Las referencias, destinadas a ampliar la información que se proporciona al lector deben de ser citadas en el texto. Las fichas bibliográficas correspondientes deben ser agrupadas al final del artículo, en orden alfabético. Véanse los siguientes ejemplos:

1. Artículos en revistas (no se abrevien los títulos).

N. Takeuchi, N. (1998). "Cálculos de primeros principios: un método alternativo para el estudio de materiales". *Ciencia y Desarrollo*. Vol. 26, No. 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](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html)

e) Se recomienda la inclusión de gráficas y figuras. Éstas deben ser enviadas por correo electrónico en formatos tif o jpg, con un mínimo de resolución de 300 pixeles por pulgada.

# EVENTOS

▼ 29 de marzo al 2 de abril de 2009

## Nanotech Insight 2009

Barcelona, España. Conferencia internacional sobre aspectos científicos, tecnológicos y sociales de los sistemas nanométricos. Tiene como antecedente, las sesiones de 2005 y 2007 realizadas en Egipto. Tiene por objetivo, “integrar aspectos científicos y sociológicos de la nanociencia y la nanotecnología en relaciones duraderas entre la industria y la académica, y entre los científicos, tecnólogos y legisladores de países desarrollados y en vías de desarrollo”. Organizan la Universidad de Barcelona, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, y el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona..



Más información en: <http://www.nanoinsight.sabrycorp.com/conf/nanoinsight/09/>

▼ 25-29 de mayo de 2009

## XI Congreso Mexicano de Catálisis (XI CMC)

Ensenada, Baja California, México. Organiza el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM y la Academia de Catálisis de México

Más información en: [www.ccmc.unam.mx/XICongresoCatalisis/index.html](http://www.ccmc.unam.mx/XICongresoCatalisis/index.html)





