

Revista  
Interdisciplinaria  
en Nanociencia  
y Nanotecnología

Vol. 1, No. 2, Junio de 2009

Universidad Nacional Autónoma de México

- Grafeno: un paso hacia el futuro
- Nano-remediación del agua
- Crisis, negocio y avance nanotecnológico
- Interdisciplina en nanociencias





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

# DIRECTORIO

## UNAM

**Dr. José Narro Robles**

Rector

**Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro**

Secretario General

**Dr. Carlos Arámburo de la Hoz**

Coordinador de la Investigación Científica

**Dra. Estela Morales Campos**

Coordinadora de Humanidades

**Dr. Jaime Martuscelli Quintana**

Coordinador de Innovación y Desarrollo

**Dra. Norma Blazquez Graf**

Directora del CEIICH

**Dr. Sergio Fuentes Moyado**

Director CNYN

**Dr. José Saniger Blesa**

Director CCADET

## MUNDO NANO

### Editores

**Dr. Gian Carlo Delgado Ramos •**

giandelgado@unam.mx

**Dr. Noboru Takeuchi Tan •**

takeuchi@cnyunam.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@ingen.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

#### Ciencia, tecnología y género

Dra. Norma Blazquez Graf •

blazquez@servidor.unam.mx

#### Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow •

Louis.Lemkow@uab.es

#### Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia •

amoz@labcomplex.net

Dr. Ricardo Mansilla Corona

mansy@servidor.unam.mx

#### Medio ambiente, ciencia

y tecnología

Dra. Elena Álvarez-Buyllá •

eabuylla@gmail.com

#### Aspectos éticos, sociales y

ambientales de la nanociencia

y la nanotecnología

Dr. Roger Strand •

roger.strand@svt.uib.no |

Dr. Paulo Martins •

marpaulo@ipt.br |

Mtra. Kamilla Kjolberg •

kamilla.kjolberg@svt.uib.no



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. 2, México, agosto de 2009.

D.R. © *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología.*

Registro en trámite.

Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez

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, 4º piso. Ciudad Universitaria. CP. 04510. México, D.F. México.

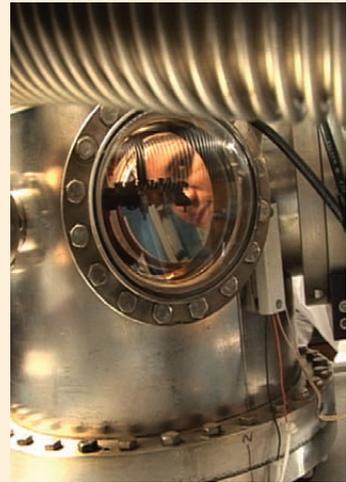


Imagen de la portada: Sistema PHI-548 (con AES y XPS) para "espectroscopía de electrones fotoemitidos". Centro de Nanociencia y Nanotecnología, UNAM.

# CONTENIDO

- 4 EDITORIAL**
- 5 CARTAS**
- 9 NOTICIAS**
- 15 ARTÍCULOS**
  - 15** Grafeno: un paso hacia el futuro  
E. Martínez-Guerra, M. E. Cifuentes-Quintal y R. de Coss
  - 24** Procesos cuánticos en islas semiconductoras: manipulación óptica y control de estados coherentes  
J. Enrique Rolón y Sergio E. Ulloa
  - 37** Nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y carbón activado para el tratamiento fotocatalítico de aguas contaminadas  
Juan Matos, Jean-Marc Chovelon, Corinne Ferronato
  - 48** Problemas axiológicos y éticos de la tecnología  
León Olivé
  - 61** Nanotecnología; un nuevo futuro para los investigadores y una mina de oro para inversionistas y empresarios mexicanos  
Milton Jorge
  - 70** ¿Hacia una nanotecnología dislocada del conocimiento de lo social? Retos de la interdisciplina en nanociencia  
José A. Amozurrutia
  - 78** Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología  
Andrés Pedreño Muñoz
  - 88** Aplicaciones de las nanotecnologías en los estudios sobre el agua: un tema de interés estratégico para Iberoamérica y España  
Pedro A. Serena
- 100 LIBROS E INFORMES**
- 104 INSTRUCTIVO PARA AUTORES**
- 106 EVENTOS**

# EDITORIAL

*Mundo Nano* es una publicación universitaria de divulgación que da a conocer trabajos de colegas de las ciencias exactas, naturales, sociales y de las humanidades. En esta segunda entrega, nuestros colaboradores ofrecen una revisión sobre el potencial del grafeno como sustituto de la tecnología actual basada en el silicio, en particular sobre las propiedades electrónicas y de transporte que se pueden aprovechar en dispositivos de alta velocidad; los últimos desarrollos en las propiedades ópticas de los llamados puntos cuánticos en semiconductores; la posibilidad de controlar las condiciones de síntesis de carbón activado para mejorar la foto-actividad del dióxido de titanio para su empleo en tecnología solar, por ejemplo, de bio-remediación de aguas; y una evaluación sobre el potencial y estado del arte de las aplicaciones nanotecnológicas en la filtración y remediación del agua. También se ofrece una reflexión filosófica sobre los problemas axiológicos y éticos de la tecnociencia y, por tanto, de la nanociencia y la nanotecnología, así como los retos de la interdisciplina en la nanociencia. Asimismo, se incluye la opinión, desde el ámbito empresarial, del potencial de la nanociencia y la nanotecnología en y para México, y una indagación sobre las políticas de desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología en un contexto de crisis económica.

Desde este espacio editorial, invitamos a nuestros lectores a participar en *NanoMex'09, II Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología* organizado por la UNAM, evento que se realizará en el marco de la celebración conmemorativa de los 30 años de presencia de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en Ensenada, Baja California.

En esta segunda edición, *NanoMex'09* se enfoca en áreas de la nanociencia y la nanotecnología que se perfilan como estratégicas para el desarrollo del país. En tal sentido, se dará prioridad a los siguientes ejes temáticos:

1. Nanociencia y nanotecnología en biología y medicina.
2. Energía y medio ambiente
3. Nanomateriales
4. Nanociencia y nanotecnología en agricultura, ganadería y alimentación.
5. Eco-toxicidad y regulación de nanomateriales, estandarización.
6. Aspectos éticos, sociales y legales de la nanotecnología.
7. Educación y divulgación de la nanociencia y la nanotecnología.

La revista *Mundo Nano* y los encuentros *NanoMex* han sido iniciativas del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, el Centro de Nanociencia y Nanotecnología, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y del Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental. Este consorcio académico denominado *nanoUNAM*, formado en 2008, expandió sus fronteras al sumar un total de 11 entidades y un programa universitario. En 2009, se integraron: el Instituto de Física, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Instituto de Biomédicas, el Instituto de Ciencias Físicas, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, el Instituto de Investigaciones Sociales, el Instituto de Investigaciones Filosóficas y la Facultad de Derecho.

Este esfuerzo universitario tiene el propósito de vincular las ciencias exactas, naturales, sociales y de las humanidades para enfrentar el reto de generar nuevos conocimientos y tecnologías en las nanociencias y nanotecnología en beneficio de nuestro país.

GIAN CARLO DELGADO  
NOBORU TAKEUCHI  
*Editores*

## Invitación a Máster en Materiales Nanoestructurados para Aplicaciones Nanotecnológicas (NANOMAT)

**DRA. PILAR CEA MINGUEZA<sup>1</sup>**

NANOMAT es un máster oficial de la Universidad de Zaragoza (España) con una duración de 18 meses y está formado por 75 créditos ECTS. El curso es adecuado para licenciados en ciencias, ingeniería, medicina, biología, farmacia y otras titulaciones asimilables, que desean desarrollar carreras en la vanguardia de la nanociencia y nanotecnología.

El curso es eminentemente multidisciplinario y su propósito es proporcionar a los estudiantes un bagaje teórico así como una amplia experiencia práctica y habilidades en la fabricación y caracterización de materiales nanoestructurados y dispositivos con aplicaciones en áreas clave de la nanoquímica, nanofísica y nanobio-medicina.

La Universidad de Zaragoza y los Institutos de Nanociencia y Ciencia de los Materiales de Aragón (INA e ICMA) disponen de un equipamiento excepcional para la fabricación y caracterización de nanomateriales, incluyendo algunos instrumentos únicos en España y Europa.

El curso se imparte completamente en inglés por miembros altamente cualificados del INA, del ICMA y de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, y cuenta con la participación de personal de otros centros nacionales e internacionales así como representantes de la industria.

El máster está distribuido en ocho asignaturas (54 créditos ECTS) que incluyen clases teóricas, tutorías, prácticas de laboratorio y casos de estudio. El curso también cuenta con un proyecto fin de máster (21 créditos ECTS). Los estudiantes escogerán el trabajo fin de máster, previa consulta con la coordinadora del curso, atendiendo a su licenciatura de origen y sus propios intereses profesionales y de investigación.



Las asignaturas del curso son:

1. Propiedades fundamentales de los materiales nanoestructurados.
2. Preparación de materiales nanoestructurados.
3. Ensamblaje y caracterización de nanoestructuras.
4. Caracterización I: técnicas químico físicas.
5. Caracterización II: microscopías avanzadas.
6. Fabricación de nanodispositivos y aplicaciones.
7. Casos de estudio para aplicaciones industriales.

<sup>1</sup> Investigadora del Área de Química Física de la Facultad de Ciencias, Campus Plaza San Francisco, Universidad de Zaragoza. Coordinadora de NANOMAT.

8. El estudiante elegirá una de las tres asignaturas siguientes:

- a. Fenómenos físicos en la nanoescala.
- b. Síntesis y procesado de materiales nanoestructurados.
- c. Nanobiomedicina.

9. Trabajo fin de máster.

El máster comienza el 28 de septiembre de 2009. Para más información, puede consultarse la página web del máster: [www.unizar.es/nanomat](http://www.unizar.es/nanomat).

Para interesados extranjeros, contactar directamente a la coordinadora del máster al correo: [pilarcea@unizar.es](mailto:pilarcea@unizar.es) o al teléfono +34 976 76 22 96.

## Impulsando la nanotecnología para el tratamiento de aguas: el caso de la Unidad de Medio Ambiente de TECNALIA

TECNALIA es una corporación del País Vasco al servicio del sector industrial e institucional que busca impulsar y facilitar los procesos de innovación y desarrollo tecnológico. La Unidad de Medio Ambiente cuenta con una larga experiencia en ámbitos como: aire, ruido, agua, residuos y suelos.

El agua figura claramente como gran reto futuro que, por sus connotaciones geopolíticas y legislativas, unido a la problemática de su escasez, cobra una importancia relevante para su gestión como uno de los principales recursos de la humanidad. En este contexto, la Unidad de Medio Ambiente de TECNALIA presenta su apuesta por el desarrollo de tecnologías innovadoras, basadas en nanotecnología, para el tratamiento y potabilización de aguas, a fin de dar solución a las nuevas problemáticas surgidas en el entorno.

Por su parte, la reciente creación de la Agencia Vasca de la Nanotecnología, *NanoBasque*, ha supuesto sin duda un gran impulso para el desarrollo de nuevas líneas de investigación basadas en la nanotecnología, con la misión de dar soporte a nuestro tejido industrial y promover un desarrollo económico sostenible en el País Vasco. Se trata de una agencia creada por el gobierno vasco cuya estrategia tiene como finalidad impulsar la transformación y diversificación de la industria aprovechando las nuevas oportunidades que ofrece la nanotecnología.

Con este apoyo gubernamental, nos enfrentamos a uno de los mayores retos en relación con la calidad de las aguas del siglo XXI: el control de la presencia en las aguas de los denominados *contaminantes emergentes*. Esta nueva tipología de contaminantes está compuesta por un grupo muy variado de sustancias que tienen en común una serie de características como son la baja concentración en la que se encuentran en el medio, su difícil eliminación mediante tecnologías convencionales y las pequeñas concentracio-

nes necesarias para provocar daños relevantes en ecosistemas y en la salud humana. Sustancias como pesticidas, antibióticos o cosméticos forman parte de este nuevo grupo de contaminantes, cuyo control y estudio representa, como decimos, el próximo desafío en cuanto a mejorar la calidad del agua. Se trata pues de una situación que ha generado una gran preocupación en la Unión Europea y que llevará a finales del 2008 la publicación de la Directiva 2008/105/EC relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas que apunta las concentraciones medias y máximas admisibles en las masas de agua superficiales de la UE para 33 sustancias.

En este contexto, TECNALIA viene desarrollando dos incipientes líneas de investigación con excelentes expectativas a futuro basadas en la nanotecnología; como son procesos de fotocatalisis solar heterogénea con nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y el desarrollo de nuevos adsorbentes a partir de fibras de diámetro nanométrico.

La fotocatalisis heterogénea con nanotitanio es una tecnología de oxidación avanzada ampliamente investigada en la que es necesaria una fuente de radiación UV para activar las nanopartículas (la nanotitanio sólo es activa en el rango UV) y, en consecuencia, se forman las especies oxidantes que son las responsables de la degradación de los contaminantes. La principal ventaja de esta tecnología estriba en que se trata de una oxidación no selectiva siendo capaz de eliminar un amplio abanico de contaminantes, incluidos los nuevos *contaminantes*

---

[www.tecnalia.es](http://www.tecnalia.es)

Contactos:

Oscar Santa Coloma: Director, Unidad de Medio Ambiente  
TECNALIA. [santacol@labein.es](mailto:santacol@labein.es).

Oihane Monzón: Investigador, Unidad de Medio Ambiente  
TECNALIA. [omonzon@labein.es](mailto:omonzon@labein.es).

*emergentes*, pero tiene el gran inconveniente de requerir un alto consumo energético debido a la necesidad de utilizar radiación UV, lo que claramente es un factor limitante para su aplicación en el mercado. En este sentido Medio Ambiente-TECNALIA centra sus esfuerzos en desarrollar un dispositivo basado en nanopartículas de titania con actividad fotocatalítica en agua bajo luz solar, lo que haría mucho más competitiva dicha tecnología.

Por otro lado, TECNALIA se encuentra inmersa en el desarrollo de procesos de síntesis de nanofibras carbonosas adsorbentes utilizando la técnica de *electrospinning* a partir de distintos materiales. La optimización de dicho proceso abre una importante vía en el campo medioambiental hacia tecnologías de adsorción de contaminantes más eficaces y selectivas, debido al gran aumento de superficie de contacto que supone trabajar con diámetros nanométricos. La adsorción se trata de un fenómeno superficial

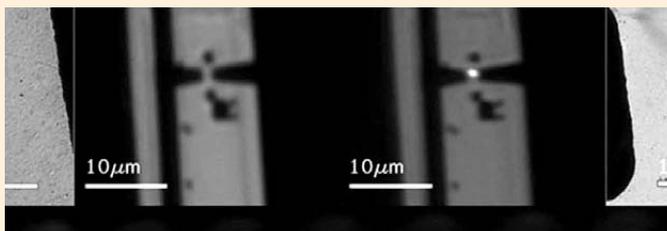
basado en el contacto directo entre la superficie de las fibras y el contaminante, por lo que una de las variables más importantes es el área superficial específica de contacto. Por ello, cuanto mayor sea el área de contacto, mayor será el número de sitios activos para la adsorción. Se ha comprobado que a escala nano se alcanzan eficiencias muy superiores a las obtenidas con el carbono activo convencional.

Se tiene pues como objetivo el desarrollo de un nuevo dispositivo de descontaminación de efluentes con las tecnologías antes mencionadas, tanto por separado como en combinación, de tal suerte que las haga más eficaces. Actualmente, la fotocatalisis con luz solar como la adsorción mediante nanofibras se encuentra en un desarrollo cercano al necesario para conseguir la descontaminación por debajo de los estándares europeos definidos, lo que supondrá a futuro una vía de solución para el tejido industrial y el medio ambiente que nos rodea.

▼ 14 de mayo de 2009

## El foco incandescente más pequeño del mundo fabricado con un solo nanotubo de carbón

Un grupo de investigadores de la Universidad de California, campus Los Angeles, ha creado el foco incandescente más pequeño del mundo usando un filamento hecho con un solo nanotubo de carbón, el cual tiene tan solo 100 átomos de ancho. El objetivo es explorar los límites entre la termodinámica y la mecánica cuántica. Si no se observa con cuidado, el filamento es completamente invisible cuando la lámpara está apagada, pero aparece como un punto luminoso cuando se enciende. Con menos de 20 millo-



nes de átomos, el filamento del nanotubo es lo suficientemente largo para aplicar las bases estadísticas de la termodinámica, pero lo suficientemente pequeño para ser considerado como un sistema molecular cuántico.

§

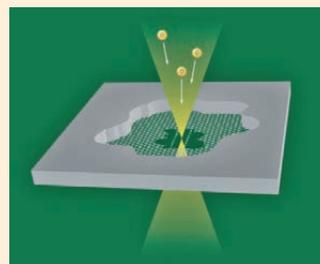
Para ahondar más sobre el tema, léase: "Probing Planck's Law with incandescent light emission from a single carbon nanotube". *Physical Review Letters*, vol. 102, núm. 18. 5 de mayo de 2009. <http://prl.aps.org/>.

▼ 19 de mayo de 2009

## Fabricación de cadenas atómicas de carbón a partir del grafeno

Usando un haz de electrones de alta energía, varios investigadores han podido transformar el grafito en grafeno y luego en cadenas de átomos de carbono. Para fabricar las nanoestructuras, los científicos manipularon el haz electrónico de un microscopio electrónico de transmisión. Enfocando el haz de alta energía y alta corriente de electrones en un punto de una hojuela de grafito, pudieron remover átomos de carbono y adelgazar la hojuela hasta llegar a una sola capa de átomos de carbono. Al continuar con la

irradiación, se produjeron dos agujeros en la capa de grafeno separados por una nanocinta de grafeno, la cual continuaron adelgazando usando el haz de electrones. Los investigadores explicaron que la energía de los estados del borde de la cinta son muy altos comparados con los del centro, y es por esto que eran muy fáciles de remover. Al final, cuando los dos bordes coinciden, la cinta se separa en dos cadenas paralelas de átomos de carbono. Dichas cadenas son de aproximadamente 2.1 nm o 16 átomos de carbono.

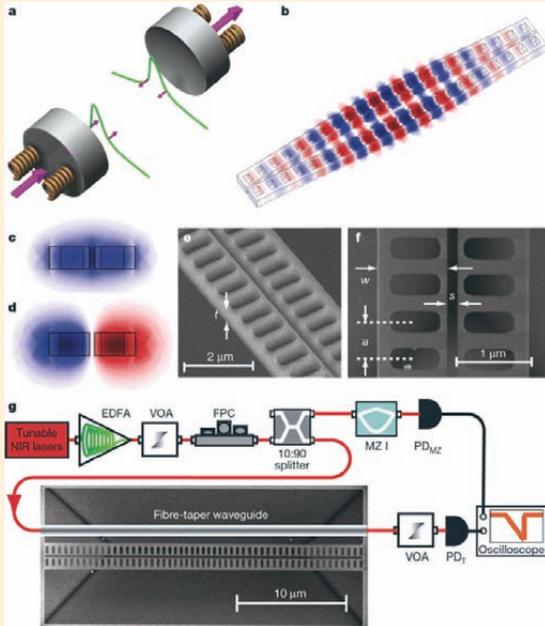


§

Para ahondar más sobre el tema, léase: "Deriving carbon atomic chains from graphene". *Physical Review Letters*, vol. 102, núm. 20. 18 de mayo de 2009. <http://prl.aps.org/>.

▼ 28 de mayo de 2009

### Nanodispositivo para convertir fotones en energía mecánica



Ciertos investigadores han construido un nanodispositivo que vibra cuando le llega la luz de un láser. El aparato es sensible a la energía de un solo fotón. A partir de material de silicio para microchips, los científicos fabricaron un par de tablones de tan solo unos cientos de nanómetros de ancho. Químicamente se grabaron una serie de agujeros en cada uno de ellos. Dichos agujeros canalizan y capturan la energía del láser y el dispositivo vibra con una frecuencia que depende de la intensidad de la luz que le llega.

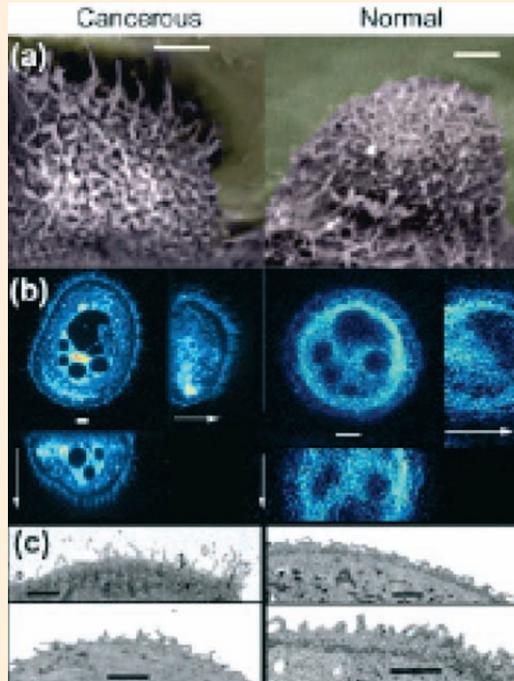
§

Para ahondar más sobre este tema, léase: "A picogram-and nanometer-scale photonic-crystal optomechanical cavity". *Nature*. vol. 459, núm. 550-555. 28 de mayo de 2009. <http://www.nature.com/nature/journal/v459/n7246/full/nature08061.html>.

▼ 23 de abril de 2009

**AFM revela diferencias escondidas entre células normales y cancerosas**

Usando un microscopio de fuerza atómica, ciertos investigadores han identificado una diferencia importante entre las propiedades superficiales de células normales y cancerosas. Encontraron que las celdas normales tienen “peines” de una sola longitud en su superficie, mientras que las células cancerígenas tienen dos longitudes en sus peines. Además, la densidad de los peines cancerígenos es diferente a la de los normales. Debido a esta diferencia, las células cancerígenas podrían interactuar con las nanopartículas en una forma diferente a las células normales, lo que podría usarse para detección y tratamiento del cáncer. Los investigadores obtuvieron sus resultados al analizar medidas de fuerza tomadas de la superficie de las células usando un microscopio de fuerza atómica. Al analizar las curvas de deformación, encontraron un comportamiento de dos capas en las células. Fue necesario desarro-



llar un modelo para desacoplar estas dos capas y poderlas estudiar por separado.

§

Véase: “Atomic force microscopy detects differences in the

surface brush of normal and cancerous cells”. *Nature Nanotechnology*. 23 de abril de 2009. <http://www.nature.com/nnano/journal/v4/n6/abs/nnano.2009.77.html>.

▼ 25 de abril de 2009

**Telaraña reforzada con nanotecnología**

Científicos alemanes han añadido diminutas cantidades de metales a la tela de araña para hacerla aún más fuerte y elástica. Según los investigadores, la técnica podría conducir al desarrollo de textiles, hilo quirúrgico o tejidos artificiales (como

huesos y tendones) súperresistentes.

La tela de araña es famosa por ser más firme y ligera que el acero. En un estudio más reciente, publicado en la revista *Science*, los investigadores aprovecharon un truco de la na-

turalidad con el objetivo de potenciar las propiedades de este material ya de por sí extraordinario. Los científicos utilizaron una técnica llamada “deposición de capa atómica” (ALD, por sus siglas en inglés) para introducir iones de zinc, titanio

y aluminio en la tela de araña. Normalmente, la deposición de capa atómica tan sólo deja una capa de óxidos de metales sobre la superficie de la fibra tratada; por tanto, tratar la tela de araña de ese modo apenas produciría efectos sobre su resistencia. Sin embargo, adaptando ligeramente la técnica, los investigadores fueron capaces de infiltrar los iones de los metales en la tela de araña, logrando que formen parte del hilo.

La telaraña tratada de este modo es más fuerte y más elástica que la no tratada; según los científicos, hace falta 10 veces

más energía para romper la telaraña tratada que la natural.

El trabajo es muy prometedor en cuanto a aplicaciones prácticas, ya que con este método se podría hacer que muchos otros biomateriales fuesen más dúctiles y resistentes a rupturas, explicó el Dr. Mato Knez, del Instituto Max Planck de Física de Microestructuras, en Alemania.

Sin embargo, hay una limitación: la técnica sólo funciona en materiales constituidos en gran parte por proteínas. Aun así, el Dr. Knez y su equipo ya han utilizado esto en su favor y

han logrado utilizar la técnica para reforzar hilos hechos de colágeno, la proteína que protege los huesos de fracturas y la piel de desgarros. El mecanismo exacto por el cual el metal se infiltra en la telaraña y hace que se vuelva más fuerte continúa siendo desconocido, aunque los científicos ofrecen algunas ideas en su trabajo.

§

Véase: "German scientists spin stretchier and stronger spider silk". *AzoNanotechnology*. [www.azonano.com/news.asp?newsID=11112](http://www.azonano.com/news.asp?newsID=11112).

## ▼ 19 de mayo de 2009

### España, pionera en la aplicación de microscopio de nanotecnología en el estudio del cerebro



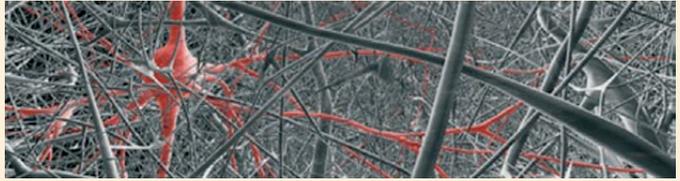
España será el primer país del mundo que utilice un microscopio de nanotecnología para el estudio del cerebro, en el marco del proyecto Blue Brain, una iniciativa de IBM y la Escuela Politécnica Federal de Lausana. La iniciativa, de investigadores de la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Ma-

drid (FIUPM), procura desarrollar una serie de herramientas para el análisis e interpretación de sus datos.

La utilización del microscopio constituye una significativa innovación tecnológica no sólo porque la microscopía electrónica no permite alcanzar un muy elevado grado de deta-

lle en el estudio de células cerebrales, sino también porque permite obtener muestras a partir de tejido cerebral en sólo dos horas, cuando mediante otras tecnologías el mismo resultado requiere la participación de dos técnicos a lo largo de un año.

El proyecto Blue Brain, cuyo nombre deriva del nombre de la supercomputadora que se utiliza, la Blue Gene de IBM, se centra en dos aspectos principales: la neuroanatomía que desarrolla el Instituto Cajal para la obtención de datos sobre el funcionamiento y reacciones de determinadas partes del cerebro, y el desarrollo tecnológico necesario para visualizar los complejos resultados de estas investigaciones.



La meta final del Blue Brain es proveer a la comunidad científica de una herramienta que, mediante simulaciones, permita desarrollar investigaciones básicas y clínicas sobre la es-

tructura y función del cerebro. En ese sentido, se prevé que, en un futuro, los neurocientíficos conozcan cómo se forma, desarrolla y envejece el cerebro, o los mecanismos de aprendizaje.

§

Véase: [www.fi.upm.es/?id=tablon&acciongt=consulta1&idet=216](http://www.fi.upm.es/?id=tablon&acciongt=consulta1&idet=216). Para información sobre Blue Brain Project: <http://bluebrain.epfl.ch>.

## ▼ 10 de junio de 2009

### Buscan mecanismos para contrarrestar toxicidad de nanopartículas de uso médico

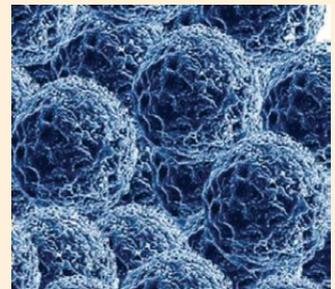
Ciertos investigadores chinos descubrieron que una clase de nanopartículas ampliamente desarrollada en la medicina (los dendrímeros de poliamidoamina o PAMAMS) causan daño pulmonar al provocar un tipo de muerte celular conocida como muerte celular autofagia. También demostraron que usando un inhibidor de la autofagia se puede prevenir la muerte celular y contrarrestar el daño pulmonar inducido por nanopartículas en ratones.

Para los científicos, los resultados son prometedores en el desarrollo de estrategias de prevención del daño pulmonar causado por nanopartícu-

las. La nanomedicina tiene una extraordinaria promesa, sobre todo para enfermedades como el cáncer y las infecciones virales, pero los aspectos de su seguridad han llamado fuertemente la atención. Con la tecnología evolucionando rápidamente, se necesita empezar ya a encontrar maneras para proteger a los trabajadores y a los consumidores de cualquier eventual efecto tóxico, dijo el líder del estudio, Jiang Chengyu, biólogo molecular en la Academia China de Ciencias Médicas.

§

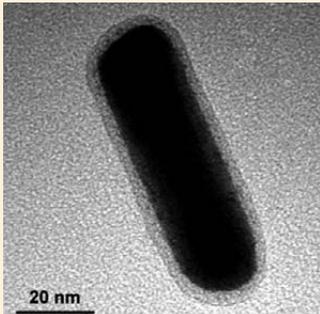
Para ahondar más en el tema, léase: Chengyu *et al.*, "pamam nanoparticles promote acu-



te lung injury by inducing autophagic cell death through the Akt-TSC2-mTOR signaling pathway". *Journal of Molecular Cell Biology*. 10 de junio de 2009. <http://jmcb.oxfordjournals.org/cgi/content/full/mjp002v1>.

▼ 21 de junio de 2009

### Advertencias sobre posibles impactos de las nanopartículas en ecosistemas marinos



Científicos del Nano-Centro de la Universidad de Carolina del Sur y del Centro Costero de Salud Ambiental e Investigación Biomolecular han advertido que las nanopartículas pueden moverse fácilmente hacia los ecosistemas marinos, ser absorbidas y

trasladadas de pastos de marismas hacia biopelículas y especies de invertebrados marinos filtro-alimentación como las almejas. Los científicos introdujeron nanorrodillos de oro (seleccionados por su trazabilidad) en tres réplicas de laboratorio de ecosistemas costeros de estuario, registrando que las almejas acumularon una cantidad significativa de nanomateriales.

Según los científicos, es necesario seguir investigando para determinar con mayor precisión cómo las nanopartículas son transportadas y distribuidas a través del medio ambiente marino. Más aún con

lo que pasa en la cadena alimenticia, algo que no fue estudiado en esta ocasión. Para los autores, el trabajo sugiere, por tanto, poner atención en el eventual impacto que podrían tener las nanopartículas acumuladas en los mariscos y pescado que comemos.

§

Para ahondar más sobre el tema, léase: Ferry *et al.*, "Transfer of gold nanoparticles from the water column to the estuarine food web". *Nature Nanotechnology*. 21 de junio de 2009. <http://www.nature.com/nnano/journal/vaop/ncurrent/abs/nnano.2009.157.html>.

▼ 25 de junio de 2009

### Raytheon desarrollará nanomateriales de interfaz térmica



La Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación para la Defensa otorgó un contrato a Raytheon para desarrollar nanomateriales de interfaz térmica con el propósito de ser empleados en mejorar el rendimiento térmico de los sistemas electrónicos de defensa. El programa utilizará nanomateriales

para reducir la resistencia térmica entre las capas interface de los ensamblajes electrónicos. Las mejoras de rendimiento se traducirían en más pequeños, ligeros, menos costosos y más potentes sistemas de defensa.

La Unidad de Sistemas de Defensa Integrados de Raytheon coordina el desarrollo del pro-

yecto en asociación con expertos de Purdue y el Georgia Tech. El trabajo se realiza en el Centro Integrado de Defensa Aérea y el Centro de Vigilancia y de Sensores de la empresa, ambos localizados en Massachusetts.

§

Véase: "Raytheon awarded contract for nano thermal interface material development". *Raytheon News Archive*. 25 de junio de 2009. <http://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=1317>.

## Grafeno: un paso hacia el futuro

E. MARTÍNEZ-GUERRA<sup>\*,\*\*</sup>, M. E. CIFUENTES-QUINTAL<sup>\*</sup>  
Y R. DE COSS<sup>\*</sup>

**RESUMEN.** Desde su descubrimiento en 2004, el grafeno ha generado una gran expectativa para sustituir la tecnología actual basada en silicio. En este trabajo, discutimos de manera simple cuáles son las propiedades que sustentan esta expectativa. En particular, nos referimos a las propiedades electrónicas y de transporte que se pueden aprovechar en dispositivos de alta velocidad. Además, presentamos una comparación (teoría y experimento) de las cantidades físicas que deben ser controladas antes de diseñar esta clase de dispositivos: dispersión de energía, velocidad de Fermi y masa ciclotrónica. Finalmente, proyectamos algunas formas de modular estas cantidades.

**IMPORTANCIA DE DIVULGACIÓN.** El grafeno es sin duda un material que revolucionará la tecnología actual. Sin embargo, a casi 5 años de su descubrimiento, en México hay muy pocos grupos de investigación que lo estudian en forma experimental y teórica. Estamos convencidos que es fundamental interesar a jóvenes de bachillerato y estudiantes universitarios en la investigación básica y aplicada de este material si queremos que nuestro país no se quede al margen de las próximas innovaciones tecnológicas, como ya le ocurrió a la generación del silicio.

### INTRODUCCIÓN

En marzo del 2007, asistimos a la reunión anual de la Sociedad Americana de Física, en Denver, EUA, y entre pasillos escuchamos que se había sintetizado un nuevo material llamado “grafeno” que, como el silicio, vendría a revolucionar la industria y la tecnología de nuestra generación. Preguntamos a quienes discutían sobre este descubrimiento, qué clase de material era éste y nos contestaron: “es simplemente una membrana de carbono del espesor de un átomo”. ¿Qué características volvían tan especial a esta membrana si está formada solamente de átomos carbono? La respuesta se encuentra en su estructura cristalina y baja dimensionalidad. Es conocido que el carbono tiene una gran capacidad para formar redes complejas con otros elementos, lo cual ha sido la base de la química orgánica y de la existencia de vida en nuestro planeta. Asimismo, se sabe que el carbono elemental forma una variedad de estructuras de distinta dimensionalidad desde las más estables como el diamante y el grafito (3D) descubiertas hace mucho tiempo hasta compuestos de baja dimensionalidad como los fulerenos (0D) (kroto *et al.*, 1985) y los nanotubos (1D) (Ijima, 1991). En esta secuencia de dimensionalidad faltaba la estructura 2D, no obstante, a nadie le había interesado buscarla porque en los años treinta del siglo xx, Peierls (1934, 1935) y Landau (1937) habían demostrado teóricamente que este material era termodinámicamente inestable y no podía existir. Sin embargo, recientemente se ha podido sinte-

\* Departamento de Física Aplicada, Cinvestav-Mérida, Apdo. Postal 73, Cordemex 97310, Mérida, Yucatán, México.

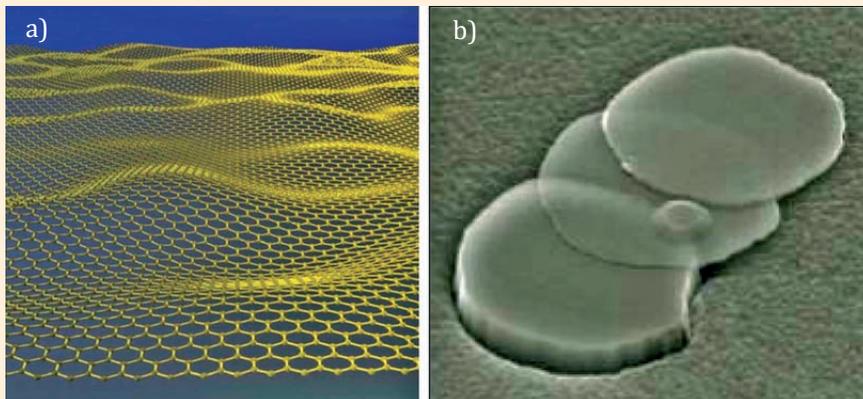
\*\* Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL, Av. Universidad s/n. Cd. Universitaria 66451, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

tizar, y sus propiedades lo han convertido en el candidato ideal para sustituir la actual tecnología del silicio.

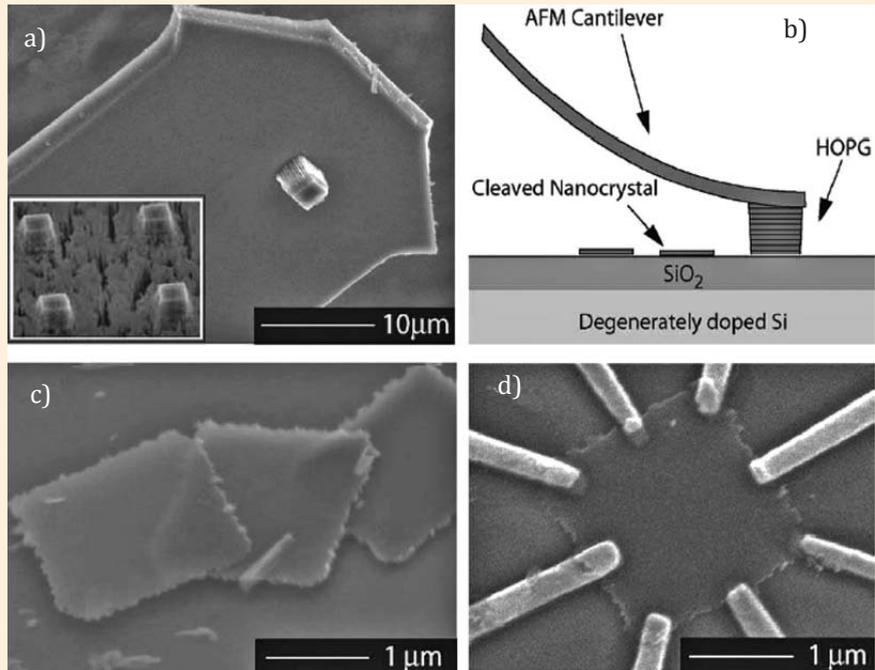
## HISTORIA

En estos tiempos, uno se imagina que los grandes descubrimientos sólo se realizan utilizando tecnología muy sofisticada, pero esto no siempre es así, éste fue el caso del grafeno. En 2004, Andre Geim, Kostya Novoselov y colaboradores colocaron, en la Universidad de Manchester, una cinta adhesiva sobre una muestra de grafito y la removieron consecutivamente hasta aislar una sola capa de átomos de carbono, poniendo fin a las predicciones de Pierls y Landau de que este material no podría aislarse sin que las vibraciones del material a temperatura ambiente lo destruyeran. Ahora es conocido que el material es estable, porque sus vibraciones se acomodan en ondulaciones con amplitudes de alrededor de 1 nanometro a lo largo de la membrana atómica (Carlsson, 2007; Fasolino *et al.* 2007; Geim y Novoselov, 2007) Estas ondulaciones son intrínsecas del grafeno y son resultado de inestabilidades vibracionales. En la figura 1a, se muestra una imagen esquemática de la estructura de este material y en la 1b, su imagen tomada con un microscopio electrónico de barrido. Después de algunos meses de su descubrimiento, el grupo de Geim perfeccionó el método de síntesis original (Novoselov *et al.*, 2005) sustituyendo la cinta adhesiva con una superficie dura donde se deslizaban muestras de grafito. Pocos meses después, Zhang, en la Universidad de Columbia, validaba que esta técnica era apropiada para sintetizar grafeno de manera reproducible (figura 2) (Zhang *et al.*, 2005) Al mismo tiempo, Walt de Heer y Claire Berger, en el Tecnológico de Georgia, desarrollaron un procedimiento de crecimiento “epitaxial” para producirlo a escala industrial (Heer *et al.*, 2007). Así, a 4 años de su descubrimiento, se han desarrollado distintas técnicas de crecimiento tales como: depósito por vapores químicos, reducción de SiC, reducción de  $N_2H_4$  y reducción de etanol con Na, los cuales permiten obtener muestras de mejor calidad que las técnicas originales.

**FIGURA 1.** a) Imagen esquemática a escala atómica del grafeno; b) imágenes de grafeno obtenidas con un microscopio electrónico de barrido (escala de micras).



**FIGURA 2.** a) Imagen de una muestra de grafito tomada con un microscopio electrónico de barrido (MEB); b) esquema del proceso de exfoliación del grafito para sintetizar grafeno; c) muestras de grafeno sobre un sustrato de  $\text{SiO}_2$ , y, d) dispositivo experimental de grafeno con contactos de oro para medir sus propiedades de transporte (tomado de Zhang *et al.*, 2004).



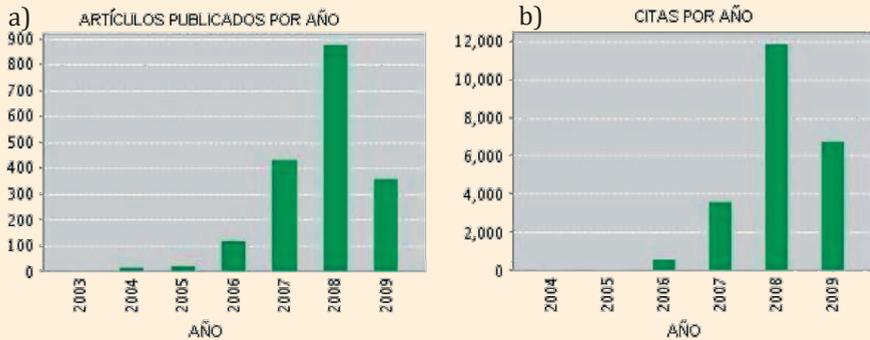
## PROPIEDADES

Desde su descubrimiento en 2004 a la fecha (27 mayo 2009), se han publicado 1,842 artículos científicos con arbitraje internacional, y cada año incrementa exponencialmente el número de citas dedicadas a entender las propiedades de este material (figura 3), pero ¿por qué tanto interés en este material? Entre sus propiedades destacan: alta calidad cristalina ( $\sim 1$  defecto/ $\text{mm}^2$ ), portadores de carga (electrones y huecos) tipo fermiones de Dirac sin masa, alta movilidad de portadores de carga ( $15,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  a 300 K y  $200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  a 4 K) y transporte balístico en la escala de 1 nm a temperatura ambiente. Pueden mencionarse otras, pero sin duda son estas propiedades electrónicas y de transporte las que han ocupado de manera importante el quehacer científico de los últimos años.

## PROPIEDADES ELECTRÓNICAS

Los átomos poseen electrones que se encuentran cerca de sus núcleos, así como electrones lejos de ellos (de valencia). Los electrones de valencia logran separarse de los núcleos cuando reciben energía adicional externa. Por ejemplo, cuando se aplica un campo eléctrico a un material, estos electrones de valencia se separan de sus núcleos

**FIGURA 3.** Reporte de: a) número de publicaciones y, b) citas anuales sobre grafeno (Fuente: Web of Science, 27 de mayo 2009).



y se convierten en electrones de conducción. En el caso de materiales constituidos por átomos que no tienen sus capas electrónicas completas, existen huecos (ausencia de electrones en la banda de valencia) que también pueden separarse de los núcleos si se les adiciona energía. Ésta es la forma en que se producen corrientes de electrones o huecos en un semiconductor. Estos portadores de carga (electrones o huecos) de conducción colisionan entre sí, disminuyendo la velocidad a la que se mueven; sin embargo, en el grafeno, los electrones o huecos se comportan como partículas que se mueven a una velocidad constante, viajando distancias del orden de micras ( $1 \times 10^{-6}$  m) sin sufrir dispersión. Este hecho determina que la movilidad de los electrones sea de alrededor de  $200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  en comparación a los  $140,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  en el silicio y  $77,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  en la aleación In-Sb. Ésta es la característica más atractiva del grafeno. ¿Qué les permite moverse a los portadores de esa manera en el grafeno?, la respuesta se encuentra en su estructura electrónica, pues determina las energías características que pueden tener los portadores de carga en un material. En un material convencional, la relación de dispersión de energía de un electrón o hueco es del tipo parabólica/cuadrática, esto es:

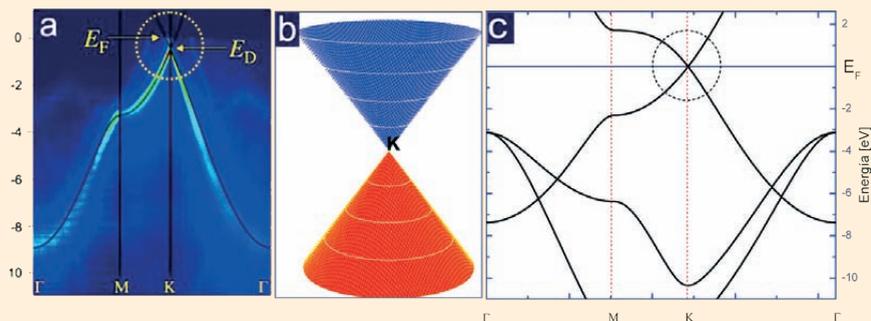
$$E(\vec{k}) \approx \frac{k^2}{2m}$$

donde  $m$  es la masa efectiva del portador y  $k$  su momentum. Asimismo, la velocidad de un portador está descrita por:

$$v = \frac{dE}{dk} = \sqrt{2E/m}$$

de esta manera, la velocidad de un portador depende normalmente de la energía que adquiere como resultado de las interacciones colectivas. Sin embargo, en el grafeno, la relación de dispersión de la energía alrededor del nivel de Fermi ( $E_F$ ) es aproximadamente lineal, esto es:  $E(\vec{k}) \approx v_F k$ , donde  $v_F$  es la velocidad de Fermi y, por lo tanto,  $v_F$  es una constante:  $v_F = \frac{dE}{dk} \approx 1 \times 10^6$ . Esta relación lineal, entre la energía y el momentum

**FIGURA 4.** Estructura de bandas del grafeno: a) espectro de energías experimental como función del momentum en las direcciones principales de la zona de Brillouin (tomado de Bostwick *et al.*, 2006) b) acercamiento de la estructura de bandas calculada donde se observa la banda de valencia y de conducción (Conos de Dirac) y c) estructura de bandas calculada.



de los portadores, fue predicha teóricamente por Wallace hace muchos años (Wallace, 1947), y se confirmó muy recientemente en forma experimental (Bostwick *et al.*, 2007). Bostwick y colaboradores emplearon la técnica de espectroscopía ARPES (Angle Resolved Photo Electron Spectroscopy) para medir la función espectral de los portadores de carga en el grafeno (figura 4a). También se han estudiado las propiedades electrónicas de este material, mediante metodologías numéricas basadas en el contexto de la Teoría del Funcional de la Densidad. En este sentido, la figura 4c corresponde a la estructura de bandas obtenida por cálculos de primeros principios (Cifuentes-Quintal *et al.*, s/f) y la figura 4b es una vista tridimensional de  $E(\vec{k})$  dentro de la región circular del espectro teórico. Ambos espectros (teórico y experimental) coinciden, y la dispersión  $E(\vec{k}) = v_F k$  define una superficie tridimensional llamada “conos de Dirac” por la geometría cónica que presentan y por la similitud al espectro de energías de fermiones de Dirac sin masa (Semenoff, 1987; Haldane, 1998).

### *Ecuación de Dirac y Conos de Dirac*

La ecuación de Dirac describe el comportamiento de partículas de espín  $\frac{1}{2}$  (fermiones), ej.: el electrón, cuando se mueve a velocidades cercanas a la luz ( $c$ ), pero en el grafeno los portadores de carga se mueven a velocidades mucho más bajas ( $c/300$ ), ¿cuál es entonces la conexión de estos portadores con la electrodinámica cuántica?

La ecuación de Dirac está sustentada en la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad y una de las aportaciones más importantes de esta ecuación ha sido predecir la existencia de “antipartículas” como los positrones. En particular, se ha comprobado experimentalmente que las energías de estas antipartículas (electrones y positrones) están íntimamente ligadas. Así, cuando un electrón de masa  $m$  tiene una energía en reposo  $E_0 = mc^2$ , existe una antipartícula (positrón) que tiene una energía  $-E_0$ . A esta propiedad se le conoce en la electrodinámica cuántica como “simetría conjugada”. Además, cuando la energía del electrón  $E \gg E_0$ , la energía es linealmente dependiente del momentum,  $E \sim k$ . Cuando estas partículas no tienen masa, este tipo de dispersión se conserva y los espectros de energía de ambas partículas convergen en un punto, como ocurre con los “conos de Dirac” en el grafeno.

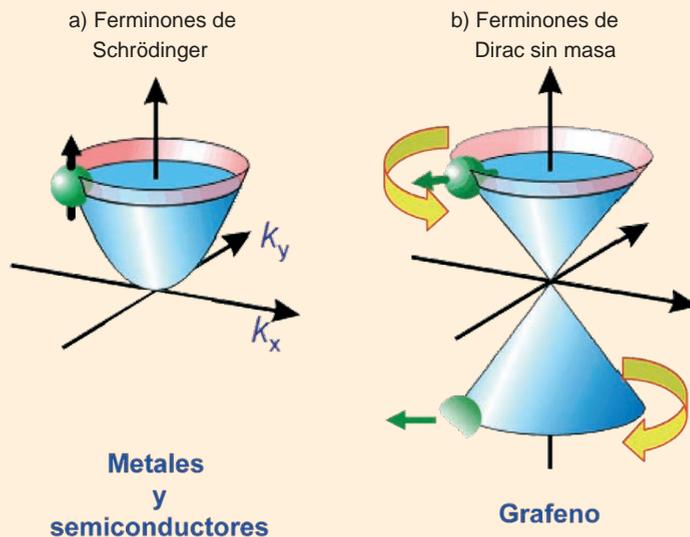
Otra similitud entre los portadores del grafeno y “los fermiones de Dirac sin masa” de la electrodinámica cuántica es la conexión entre el movimiento de estas partículas y la dirección de su espín. En ambos casos, el espín de la partícula (electrón) tiene la dirección del movimiento de propagación, y la “antipartícula” (hueco) la dirección opuesta del movimiento de propagación, tal y como se observa en la figura 5. Esta situación es única en materiales, pues usualmente una partícula de espín  $\frac{1}{2}$  y masa  $m$ , como los electrones, pueden tener sólo espín hacia arriba y hacia abajo. Ésta es la conexión maravillosa con la electrodinámica cuántica: los portadores en el grafeno se comportan como partículas cargadas sin masa y sus espines tienen “simetría conjugada”. Este comportamiento de los electrones en un material no se había observado previamente y, más importante aún, podría ser aprovechado para innovaciones tecnológicas.

## PROPIEDADES DE TRANSPORTE

### *Velocidad de Fermi y masa ciclotrónica*

La velocidad de Fermi es una de las cantidades que se deben controlar antes de diseñar dispositivos de alta movilidad. Esta cantidad está asociada a la energía de Fermi y es un concepto muy utilizado en física del estado sólido para caracterizar metales, semiconductores y aislantes. En particular, si extraemos toda la energía posible a una membrana de grafeno enfriándola cerca del cero absoluto (0 K), los portadores de carga aún se estarían moviendo sobre su superficie. Los electrones y huecos que se muevan más rápido lo harán a una velocidad máxima. Esta velocidad es la velocidad de Fermi y corresponde a la energía cinética de los portadores del último estado ocu-

**FIGURA 5.** Representación esquemática de: a) las direcciones de espín de los portadores de carga en un metal o semiconductor y, b) en grafeno.



pado. La velocidad de Fermi se puede conocer experimentalmente de forma indirecta de un espectro ARPES (figura 4a) o teóricamente de la estructura de bandas calculada (figura 4c). Como se mostró en ambos casos en grafeno, la relación entre  $E$  y  $k$  es lineal, y  $v_F = dE/dk \approx 1 \times 10^{-6}$ .

Otra cantidad importante y que está relacionada con el movimiento de propagación de los portadores descritos en la sección anterior (figura 5b) es la masa ciclotrónica. En los trabajos experimentales de Novoselov y colaboradores (Novoselov *et al.*, 2005), se observó que la masa ciclotrónica ( $m^*$ ) depende de la densidad de electrones o huecos ( $n$ ) como su raíz cuadrada  $m^* \approx \sqrt{n}$ . Por otro lado, considerando un modelo dentro de una aproximación semi-clásica (Ashcroft y Mermin, *s/f*), la masa ciclotrónica se puede expresar como

$$m^* = \frac{1}{2\pi} \frac{dA(E)}{dE}$$

donde  $A(E)$  representa el área transversal de los conos de Dirac (figura 5a) encerrada por la órbita en que se mueven los portadores de carga y está dada como

$$A(E) = \pi k^2 = \pi \frac{E^2}{v_F^2}$$

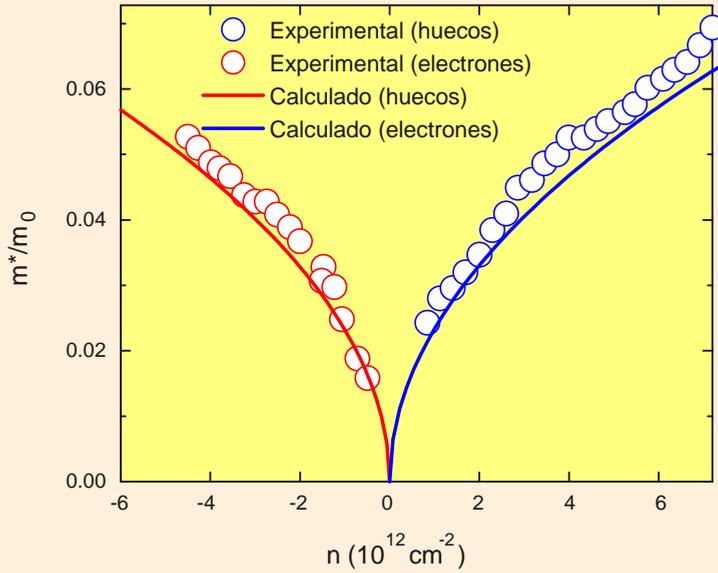
Sustituyendo esta expresión para  $A$  en la ecuación anterior para  $m^*$ , tenemos que la masa ciclotrónica se puede expresar como,

$$m^* = \frac{\sqrt{\pi}}{v_F} \sqrt{n}$$

Así, a partir de la velocidad de Fermi encontramos la dependencia de la razón  $m^* / m_0$  como función de la densidad de portadores (figura 6), donde  $m_0$  es la masa del electrón libre. En la figura 6, los círculos corresponden a las mediciones hechas por Novoselov (Novoselov *et al.*, 2005) y las líneas sólidas a los valores obtenidos por cálculos de primeros principios (Cifuentes-Quintal *et al.*, *s/f*). Éste es un buen ejemplo de que teoría y experimento pueden acompañarse para contestar una misma pregunta. Actualmente, buscamos diferentes procedimientos para modular la velocidad de Fermi y la masa efectiva de estos portadores, para sintonizar el transporte de estas partículas en dispositivos de alta velocidad. Las deformaciones mecánicas, la adsorción molecular, campo eléctrico aplicado, así como introducir impurezas o vacancias, son algunos de los mecanismos de modulación de portadores que se están explorando. También se estudian los efectos de tamaño finito en nanocintas y nanohojuelas de grafeno.

En resumen, el grafeno es un material que puede operar a escala nanométrica y a temperatura ambiente, con propiedades de transporte que ningún semiconductor ofrece. Por ello, todo apunta a que se podrán crear nuevos dispositivos electrónicos con base en este material. El principal reto para quienes lo estudiamos en forma experimental o teórica es ampliar el rango de modulación de estas propiedades.

**FIGURA 6.** Masa ciclotrónica de los portadores de carga (electrones o huecos) en grafeno como función de su concentración ( $n$ ). Los círculos azules corresponden a los datos experimentales que se midieron para los electrones y los círculos rojos para los huecos (Novoselov *et al.*, 2005) Las líneas sólidas corresponden a las masas ciclotrónicas calculadas (Cifuentes-Quintal *et al.*, s/f)



## BIBLOGRAFÍA

- Ashcroft, N.W. y N.D. Mermin. (s/f). *Solid State Physics* (Saunders College, Philadelphia, PA).
- Bostwick, A., T. Ohta, T. Seyller, K. Horn y E. Rotenberg. (2007). "Quasiparticle dynamics in graphene". *Nature Physics* 3, 36
- \_\_\_\_\_. (2006). "Experimental determination of the spectral function of graphene". arXiv:cond-mat/0609660v1.
- Carlsson, J.M. (2007). "Graphene: Buckle or break". *Nature Materials* 6, 801.
- Cifuentes-Quintal, M.E. E. Martínez-Guerra, y R. de Coss (s/f) "Ab initio study of the electronic properties of strained graphene". Enviado a *Phys. Rev. B*.
- Fasolino, A. J.H. Los y M.I. Katsnelson. (2007). "Intrinsic ripples in graphene". *Nature Materials* 6, 858.
- Geim, A.K. y K.S. Novoselov . (2007). "The rise of graphene". *Nature Materials* 6, 183.
- Haldane, F. (1988). "Model for a quantum Hall effect without Landau levels: Condensed-matter realization of the parity anomaly". *Phys. Rev. Lett.* 61, 2015.
- Heer, W. A. de, C. Berger, X. Wu, P. N. First, E.H. Conrad, X. Li, T. Li, M. Sprinkle, J. Hass, M.L. Sadowski, M. Potemski y G. Martínez. (2007). "Epitaxial graphene". *Solid State Communications* 143, 92.
- Ijima, S. (1991). "Helical microtubules of graphite carbons". *Nature* 354, 56.
- K.S. Novoselov, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S.V. Dubonos, I.V. Grigorieva y A.A. Firsov. (2004). "Electric field effect in atomically thin carbon films". *Science* 306, 666.

- Kroto, H.W., J.R. Heath, S.C. O'Brien, R.F. Curl y R.E. Smalley (1985). " $C_{60}$ : Buckminsterfullerene". *Nature* 318, 162.
- L.D. Landau, (1937). *Phys. Z. Sowjet Union* 11, 26.
- Novoselov, K.S, D. Jiang, F. Schedin, T.J. Booth, V.V. Khotkevich, S.V. Morozov y A.K. Geim (2005). "Two-dimensional atomic crystals". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102, 10451.
- \_\_\_\_\_, A.K. Geim, S.V. Morozov, D. Jiang, M.I. Katsnelson, I.V. Grigorieva, S.V. Dubonos y A.A. Firsov, (2005). "Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene". *Nature* 438, 197.
- Peierls, R.E. (1934). *Helv. Phys. Acta* 7, 81.
- \_\_\_\_\_. (1935). *Ann. Inst. H. Poincare* 5, 177.
- Semenoff, G, "Condensed-matter simulation of a three-dimensional anomaly". *Phys. Rev. Lett.* 53, 2449 (1984).
- Wallace, P. R., (1947) "The band theory of graphite". *Phys. Rev.* 71, 622.
- Zhang, Y., J.P. Small, W.V. Pontius y P. Kim. (2004). "Fabrication and electric field dependent transport measurements of mesoscopic graphite devices". arXiv:cond-mat/0410314v1.
- \_\_\_\_\_. (2005). "Fabrication and electric-field-dependent transport measurements of mesoscopic graphite devices". *Appl. Phys. Lett.* 86, 073104.

## Procesos cuánticos en islas semiconductoras: manipulación óptica y control de estados coherentes

J. ENRIQUE ROLÓN\* Y SERGIO E. ULLOA\*

### INTRODUCCIÓN

Es notable que muchos de los avances científicos recientes y más asombrosos de nuestra sociedad, tanto en las ciencias físicas y químicas, como en las matemáticas mismas, derivan directamente de una de las leyes más peculiares de la naturaleza, la *mecánica cuántica*. A más de 100 años de su formulación, por algunas de las figuras más destacadas de la física de todos los tiempos, la mecánica cuántica sigue iluminando y causando perplejidad tanto en aficionados y estudiantes universitarios, como en expertos en las teorías más sofisticadas de la física (Tegmark y Wheeler, 2001). Lo que es quizá menos obvio, y que con frecuencia la sociedad en general ignora, es que muchos de los artefactos tecnológicos de uso común hoy en día, como el computador personal, el teléfono móvil, la televisión, la electrónica de aparatos electrodomésticos y la más avanzada instrumentación médica, existen gracias al entendimiento profundo de la naturaleza vía la física cuántica. Asimismo, el hombre ha buscado desde tiempo ancestral la forma de manipular la materia de tal manera que ésta exhiba propiedades físicas y químicas que no existen naturalmente. La química y la física han dirigido estos esfuerzos desde el advenimiento de la ciencia moderna. A lo largo de este camino, un reto actual es el de crear nuevos métodos para crear estructuras *artificiales* a escalas mucho más pequeñas que la escala macroscópica, pero grandes en comparación con los átomos mismos. Este reto tiene como objetivo obtener una nueva gama de materiales (y dispositivos construidos a partir de ellos) explotando las propiedades cuánticas de la *nanoescala*, con dimensiones de decenas o centenas de mil-millonésimas de metro (o  $10^{-9}$  m = 1 nanometro). En efecto, esto ha sido posible en los últimos años, creando en el laboratorio estructuras materiales con propiedades fantásticas, pero completamente controladas o anticipadas gracias a la mecánica cuántica. Es en este contexto, presentamos algunos de los últimos desarrollos en las propiedades ópticas de los llamados puntos cuánticos en semiconductores. Estas técnicas nos permiten explorar el mundo nanoscópico al nivel de una sola “molécula” o “átomo” artificial, fabricado con puntos cuánticos.

---

\* Department of Physics and Astronomy and Nanoscale and Quantum Phenomena Institute, Ohio University, Athens, Ohio 45701-2979, USA.  
4 Junio 2009.

## LA NATURALEZA A LA NANOESCALA POSEE UNA IDENTIDAD DOBLE

La mecánica cuántica predice que la materia a escala nanométrica (o escalas más pequeñas) revela su verdadera naturaleza *dual*, que incluye comportamiento como entes discretos o partículas, al mismo tiempo que muestra una naturaleza ondulatoria. Por ejemplo, un electrón, además de poseer momento mecánico  $p$ ,  $p=mv$ , donde  $m$  es la masa del electrón y  $v$  su velocidad, tiene asociado una descripción ondulatoria caracterizada por una longitud de onda,  $\lambda$ , (Resnik, 2002). Esto implica que si uno hace pasar un electrón por una rendija de dimensiones comparables con  $\lambda$ , éste sufre el fenómeno de *difracción*, al igual que en el caso de una onda luminosa. Además, las ondas de materia pueden interferir entre sí y cuando se habla de propiedades que pueden ser medidas en un experimento, es imprescindible considerar la naturaleza ondulatoria y hablar de la *probabilidad* de que dichas propiedades adquieran tal o cual valor. Por ejemplo, cuando uno considera una nube de electrones «orbitando» en un átomo (*orbital*), no es posible decir *dónde está* el electrón a un determinado tiempo, sino sólo *dónde es probable* que se encuentre y dar dicha probabilidad. Más aún, no se pueden determinar simultáneamente su momento  $p$  y su posición con exactitud arbitraria. Para maravilla de unos y pesar de otros, esto ha sido comprobado experimentalmente repetidas veces en el siglo pasado.

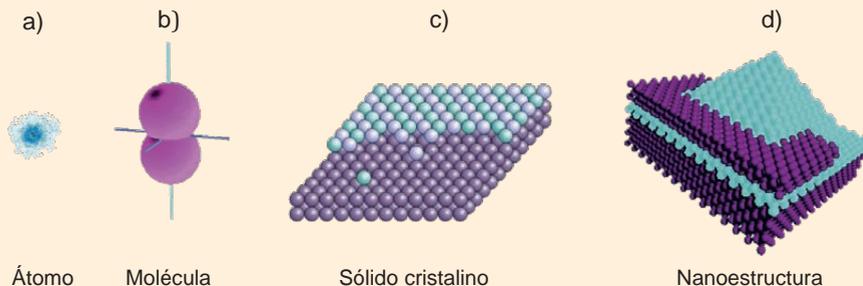
La naturaleza ondulatoria y probabilística de las partículas cuánticas da también lugar a un fenómeno muy peculiar, el *efecto de tunelaje cuántico*, con el que es posible explicar desde los enlaces químicos entre átomos hasta fenómenos como el decaimiento espontáneo de los elementos radiactivos. De hecho, el tunelaje de electrones determina la operación de muchos de los dispositivos electrónicos modernos. Más recientemente, se han desarrollado microscopios capaces de observar objetos con resolución a escalas *atómicas*, que utilizan el efecto de tunelaje de electrones.

## NANOESTRUCTURAS

A partir de la invención del transistor y los circuitos integrados, la física de semiconductores ha progresado enormemente en el desarrollo de dispositivos electrónicos de dimensiones reducidas, que rápidamente se han acercado más y más a tamaños nanométricos. Este esquema de miniaturización no puede continuar de manera arbitraria; sin embargo, debido a que cuando se alcance esta escala, el funcionamiento de dispositivos será fuertemente afectado por la *mecánica cuántica* (Wang, 2008), en formas que no se han incluido todavía en el diseño. Además de tratar de anticipar los problemas que la física cuántica introduzca en dispositivos en un futuro inmediato, una de las preguntas básicas actuales explora los tipos de dispositivos o *nanoestructuras* que pueden ser creados con *nuevas* funcionalidades *gracias* a efectos cuánticos. Una de estas alternativas interesantes es la construcción de los denominados *puntos cuánticos* y arreglos regulares conteniendo varios de éstos (véase figura 1).

Los *puntos cuánticos* son objetos diseñados típicamente en semiconductores con el propósito de confinar electrones en las tres dimensiones espaciales, de modo de confinarlos a ‘cajas’ o volúmenes con dimensiones de sólo unos cuantos nanómetros (Wolverton, 2009). Es interesante observar que el electrón confinado exhibe pro-

**FIGURA 1.** a) Nube electrónica envolviendo un átomo aislado; b) dos (o más) átomos se combinan para formar una molécula mediante una redistribución de sus orbitales; c) arreglo periódico de moléculas forman un sólido cristalino; d) nanoestructura compuesta por una isla piramidal entre varias capas de redes cristalinas distintas, estas pirámides se “auto-ensamblan” en procesos controlados de crecimiento en superficies. (Figura realizada por Patrick Briddon, School of Electrical, Electronic & Computer Engineering).



propiedades cualitativamente similares a los electrones ligados a un átomo, aunque con otras energías y dimensiones características. Por ejemplo, el electrón en un punto cuántico tiene valores discretos de la energía bien definidos, asociados con el tamaño reducido del punto y que en términos generales corresponderían a diferentes orbitales en un átomo. De esta forma, a los puntos cuánticos también se les conoce como *átomos artificiales* [Leutwyler, 2001]. Es de notar, sin embargo, que los niveles cuánticos en esos sistemas están separados por decenas de mili-electrón-Volts (en contraste con las *decenas* de electrón-Volts en un átomo natural), de modo que hay una gran diferencia no sólo en los tamaños sino en las escalas de energía de estos sistemas.

La gran ventaja de estos átomos artificiales es que pueden manipularse en un ambiente sumamente controlado de laboratorio, gracias a ser de mayor tamaño que los átomos ordinarios y a las diferentes técnicas de fabricación. Más aún, cambiando su geometría y composición química detallada, puede alterarse la estructura de niveles intrínsecos de la estructura y, por consiguiente, todas las propiedades espectroscópicas del punto cuántico.

## ÓPTICA CUÁNTICA EN PUNTOS CUÁNTICOS

Una de las ramas de la física atómica moderna es la *óptica cuántica*, que ha permitido investigar la respuesta óptica de los átomos al ser irradiados por campos electromagnéticos (luz) bajo diversas condiciones, las cuales incluyen la aplicación simultánea de campos eléctricos y/o magnéticos. En términos un poco más específicos, la óptica cuántica estudia fenómenos asociados con la luz misma como un ente cuantizado, es decir, cuando a la luz se le considera compuesta por corpúsculos luminosos en vez de un campo clásico descrito por intensidades. Los celebrados corpúsculos o *fotones* poseen cada uno una energía  $E = h\nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  es la frecuencia (color) de la luz. Un haz de luz ‘clásica’, por cierto, contiene un número enorme de fotones. Uno de los efectos más conocidos en óptica cuántica, es el efecto de amplificación de luz por emisión estimulada de radiación o efecto *láser* por sus siglas en inglés, en donde la luz es emitida *coherentemente* por un medio que ha sido típicamente excitado óptica o eléctricamente.

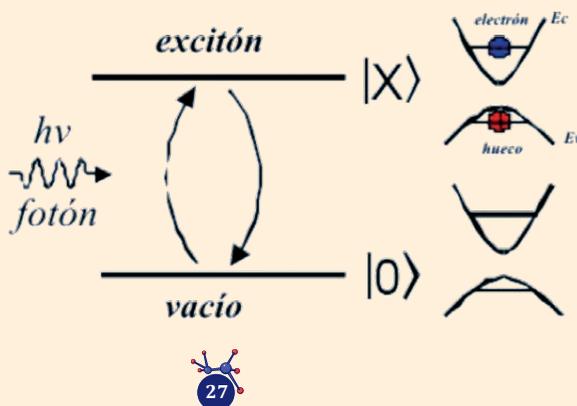
El estudio de nanoestructuras, incluyendo sistemas de agregados de puntos cuánticos, combina los conocimientos de la física del estado sólido, la óptica cuántica y la física atómica, dando como resultado la posibilidad de alcanzar un nivel de miniaturización de componentes electrónicos donde los efectos cuánticos juegan un papel esencial y donde la materia exhibe nuevas propiedades controlables en experimentos.

## ÁTOMOS Y MOLÉCULAS DE DOS NIVELES

Para entender la interrelación entre luz y materia en estos sistemas, partamos de la siguiente premisa básica. Los estados energéticos permitidos a un electrón orbitando en un átomo toman valores discretos; por simplificación, consideremos que posee dos estados,  $E_1$  y  $E_2$ , donde el primero es el estado de más baja energía. Cuando un átomo es irradiado por luz, éste puede *absorber* un fotón y sufrir una transición (excitación) adquiriendo la energía del fotón para llevar al electrón desde el estado de baja energía  $E_1$  al estado de más alta energía,  $E_2$ . Este proceso requiere que la energía del fotón incidente sea igual a la diferencia energética entre los niveles atómicos, esto es,  $h\nu = E_2 - E_1$  (figura 2). El proceso inverso también es posible, tal que un electrón en un estado excitado con energía  $E_2$  se relajaría al estado  $E_1$  *emitiendo* un fotón de frecuencia  $\nu = (E_2 - E_1)/h$ .

Ahora, cuando dos átomos se combinan para formar una molécula, ésta poseerá también una estructura de niveles. En un sólido, conformado por millones de átomos, esta descripción sufre una modificación importante. Dado el enorme número de átomos en el sólido, éstos poseen un número también enorme de *niveles energéticos*, cuya separación entre ellos es tan pequeña, que las posibles energías de transición forman un cuasi continuo de valores (denominadas *bandas de energía*), separadas típicamente a su vez de otras bandas por valores en donde las transiciones no son posibles (bandas *prohibidas*). En sólidos semiconductores, los miles de millones de electrones ocupan *totalmente* un número de bandas energéticas (de las cuales la de más alta energía es la banda de *valencia*), dejando otras completamente vacías y separadas entre sí por una 'brecha' de energía (o *gap*, por su término en inglés) de un ta-

**FIGURA 2.** Creación de un exciton por bombeo óptico. Un fotón de energía  $h\nu$  es absorbido en el punto cuántico, promoviendo un electrón de su estado base a la banda de conducción que deja hueco en la banda de valencia. Este proceso se puede interpretar como la creación de un exciton  $|X\rangle$  desde el estado "vacío"  $|0\rangle$ , en donde no hay excitones y todos los electrones ocupan completamente la banda de valencia.



maño característico al material semiconductor usado (que, por supuesto, depende de la composición química detallada).

Esta configuración energética resulta en una situación interesante. Cuando el material semiconductor es irradiado por luz de energía (frecuencia) mayor al *gap* en cuestión, fotones son absorbidos, llevando a los electrones a ocupar la banda 'vacía' superior (llamada de *conducción*). En este fenómeno de absorción de luz, un electrón es *promovido* a la banda superior, mientras que deja detrás una vacancia (o *hueco*) en la otrora-llena banda inferior de valencia.

## EXCITONES

Cada vez que un electrón es excitado y un hueco es creado en la banda inferior, sucede un fenómeno interesante que parece ser relativamente simple, pero está lleno de sutilezas. Resulta que como hay otros electrones ocupando la banda inferior, el electrón promovido por el fotón deja un 'lugar' que puede ser ocupado por otro electrón de esta banda, este último deja otro hueco que, a su vez, puede ser ocupado por otro electrón, y así sucesivamente. De esta manera, se puede pensar que cada *hueco* en la banda inferior se comporta como una partícula que se mueve en dirección opuesta a los electrones y que como tal tiene una carga efectiva *positiva*. El movimiento de estos huecos (o agujeros) genera una corriente opuesta a la del electrón. Más interesante aún, estas partículas con carga positiva efectiva son *atraídas* a los electrones, que bajo condiciones adecuadas pueden formar un estado *ligado* semejante al que un electrón en un átomo común y corriente tiene cuando se liga al núcleo positivo. A este *par ligado* de electrón-hueco se le llama *excitón* (Lundstrom *et al.*, 1999), véase la figura 2, y puede pensarse como una cuasi-partícula *neutra* compuesta y sujeta a interactuar con otros electrones, huecos, iones u otros excitones presentes; además de ser capaz de transportarse de un lugar a otro dentro del semiconductor. A este *objeto nanoscópico* se le puede también asociar una energía y correspondiente función de onda para su descripción cuántica. Sin embargo, es importante no olvidar que el electrón mismo está en un estado excitado, de modo que después de un tiempo característico, llamado *vida media del excitón*, éste se recombina, regresando hacia la banda de valencia y *destruyendo* al excitón por completo. Al desaparecer el excitón de esta manera, se genera un fotón con una frecuencia característica del material. Es así, de hecho, como se genera la luminiscencia típica en un fotodiodo (LED), donde éste emite en la región visible del espectro electromagnético (aunque otras frecuencias son posibles para los LED). Curiosamente, por un proceso físico similar es que las luciérnagas y algunos animales en los abismos del mar emiten luz, aunque claro que ahí los excitones son generados en *biomoléculas* localizadas en las células del tejido de estos seres.

Si seguimos esta línea de razonamiento, puede pensarse en la posibilidad de generar excitones con estructuras más complicadas, y de hecho así es. Existen excitones neutros llamados *biexcitones*, compuestos por dos electrones y dos agujeros que residen en cercana proximidad en el sólido. Otros excitones con carga residual neta, llamados *triones*, consisten en dos electrones (o huecos) más un hueco (o electrón), conformando triones negativos (o positivos). Otras combinaciones son posibles en principio; sin embargo, entre más electrones o huecos posean estos complejos, más inestables son y más corta es su vida media.

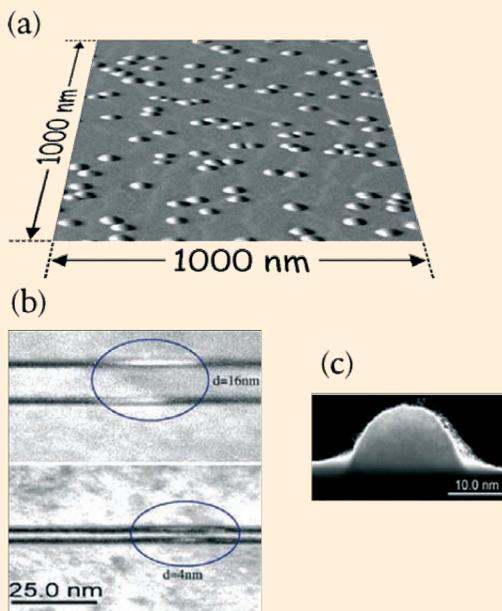
## EXCITONES EN PUNTOS CUÁNTICOS Y MOLÉCULAS ARTIFICIALES

En un punto cuántico, las funciones de onda tanto de un electrón como de un hueco están confinadas en un espacio muy reducido (del orden de la longitud de onda característica de las partículas). Al crearse un excitón en el punto cuántico, el electrón-hueco que lo compone se liga fuertemente formando un excitón confinado. Similarmente, al recombinarse el excitón se produce fotoluminiscencia proveniente de una región localizada en el espacio. El grado de confinamiento que produce un punto cuántico ofrece la posibilidad de que las energías de los diferentes excitones que pueden ser foto-generados exhiban una cuantización adicional, al igual que los electrones por sí mismos. Un punto cuántico, entonces, puede verse como un átomo artificial compuesto por electrones, huecos y excitones. Desde luego, hay muchas otras propiedades de los puntos cuánticos que tienen análogos en otros objetos cuánticos, pero lo que nos interesa aquí es la analogía atómica y molecular. De modo que la pregunta natural concierne al *espectro excitónico* que pudiera exhibir un punto o molécula cuántica artificial (Stinaff *et al.*, 2006). ¿Qué ventajas y posibles aplicaciones ofrecen la física de excitones en estas nano estructuras? Una respuesta interesante surge cuando consideramos complejos estructurales que involucran múltiples puntos cuánticos. De éstos, los pares de puntos acoplados son considerados de particular importancia.

### NANOFABRICACIÓN DE MOLÉCULAS ARTIFICIALES

Consideremos el caso de dos *puntos cuánticos auto ensamblados*, fabricados en el laboratorio por una técnica de crecimiento de superficies por *epitaxia de haces moleculares*, (Tsao, 1993) llamada de Stranski-Krastanov. Mediante esta técnica, es posible crecer una superficie en un sustrato dentro de una cámara de alto vacío, a través del bombardeo controlado del sustrato cristalino con diferentes haces de moléculas o átomos de la especie química deseada. A medida que la primera capa de material se forma sobre el sustrato, ésta se arregla en una estructura cristalina, siguiendo la estructura dictada por el sustrato. Sin embargo, cuando el espaciamiento entre los átomos del sustrato es sustancialmente diferente al de los átomos formando la capa, la aleación que se forja entre éstas dos es sujeta a fuerzas de estrés a medida que los átomos de capa y sustrato tratan de encontrar su periodicidad ideal. Este estrés generado en la red se minimiza con la formación de *islas* de dimensiones nanométricas, *puntos cuánticos*, como se aprecia en la figura 3a. Estas islas pueden adquirir diferentes geometrías, como pirámides truncadas, cilindros truncados, o secciones elípticas, dependiendo de las condiciones de crecimiento, véase la figura 3c. Asimismo, es posible crecer sobre estas islas una capa del mismo material del sustrato, repetir el proceso y generar una capa de islas encima. En este caso, los mismos esfuerzos que producen las islas favorecen la formación de *pares* de islas una sobre la otra, véase la figura 3b. Ahora, si el material del sustrato posee un *gap* mayor entre sus bandas de conducción y valencia que en el material que constituye al punto cuántico, es posible que el punto cuántico resulte efectivamente como un pozo energético de potencial. En este caso, el sustrato resulta ser como una barrera a los electrones que residen en el punto, pues les resultaría difícil excitarse hacia la banda de conducción del sustrato. De manera inversa, los electrones que viven en el sustrato ven al punto cuántico como

**FIGURA 3.** a) Crecimiento epitaxial de puntos cuánticos en forma de islas; b) micrografía por microscopía electrónica de transmisión de un par de puntos cuánticos auto ensamblados, creación de una molécula artificial efectiva para los electrones y huecos; c) acercamiento de un solo punto cuántico. (Figura realizada por T.L Reinecke y D. Gammon, Naval Research Laboratory , Washington DC, EUA).



un pozo en donde podrían relajarse a niveles más bajos de energía. Esta situación la podemos apreciar en la figura 4, donde un par de puntos cuánticos produce un par de pozos de potencial en la banda de conducción.

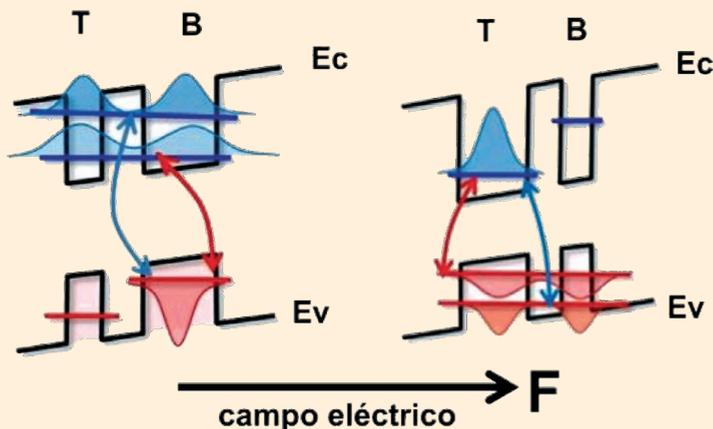
### MOLÉCULAS ARTIFICIALES: TRANSFERENCIA FÖRSTER DE ENERGÍA Y TUNELAJE CUÁNTICO

Uno se pregunta ¿qué tipo de interacciones ocurren en un par de dos puntos cuánticos? Hablamos anteriormente del efecto de tunelaje como uno de los principales responsables del acoplamiento entre puntos cuánticos cercanos. Para entender cómo opera en esta *nanoestructura*, recordemos que los puntos cuánticos están separados por un material que funge como una barrera de potencial, la cual aumenta con el espesor de dicho material. Así, cuando un excitón es generado en uno de los puntos, tanto el electrón o el hueco que lo constituye pueden realizar un tunelaje cuántico hacia el otro punto. De esta forma si uno calculara la probabilidad de encontrar al electrón o al agujero en cierto lugar del espacio, encontraríamos que la probabilidad se distribuye en una región extendida *entre los dos puntos cuánticos*. De esta forma el electrón (hueco) está descrito por una nube electrónica (*distribución de carga*) no localizada en un solo punto. Si recordamos un poco de química, resulta que ésta es la manera de representar cuánticamente los enlaces químicos entre dos átomos, donde una nube electrónica es compartida entre ellos, siendo la intensidad de dicho enlace depen-

diente de la geometría de la nube. Es así que dos puntos cuánticos acoplados por tunelaje dan origen a una *molécula artificial*. Esto lo podemos observar en más detalle en la figura 4, en donde dos puntos cuánticos T y B, en presencia de un campo eléctrico, pueden acoplarse por tunelaje del electrón o del hueco, dependiendo del valor del campo aplicado. El campo eléctrico *sintoniza* en o fuera de resonancia los niveles respectivos del electrón y el agujero en ambos puntos, promoviendo un mayor traslape de las funciones de onda y efectivamente cambiando la naturaleza del enlace químico de esta molécula artificial: sabemos que cuando dos o más estados se acoplan entre sí, éstos forman una *mezcla* tal que sus funciones de onda se combinan y dan lugar a nuevos estados cuánticos y a posibles efectos de interferencia. Estas mezclas afectan de manera directa la probabilidad de encontrar los electrones o huecos de los excitones en una región particular de la molécula. En el lenguaje molecular ortodoxo, se dice que la molécula artificial adquiere diferentes tipos de enlace, caracterizados por la geometría de las nubes electrónicas compartidas de sus componentes. Si el tunelaje entre las moléculas es fuerte, las nubes electrónicas del electrón (hueco) se distribuyen en forma extendida a lo largo de ambos puntos cuánticos, con una probabilidad alta de encontrarse en la barrera entre ellos y dando lugar a un traslape fuerte entre las dos funciones de onda. En contraste, si el traslape entre estas funciones de onda es débil, se espera el confinamiento de la nube electrónica a un solo punto cuántico. En el primer caso, se dice que los puntos se acoplan (enlazan) fuertemente, mientras que en el otro se acoplan débilmente por tunelaje.

Dado que en un punto cuántico viven partículas cargadas (electrones y huecos), las *interacciones* tanto estáticas como dinámicas juegan un papel importante en los mecanismos de acoplamiento molecular. Una de las particularidades de la interacción de Coulomb es que es de largo alcance, decayendo inversamente proporcional a la distancia entre la separación de las cargas. La variación con la distancia entre obje-

**FIGURA 4.** Diagramas de banda de energía de una molécula de puntos cuánticos T y B. Banda de conducción  $E_c$  y de valencia  $E_v$ , en presencia de un campo eléctrico  $F$ . (Panel izquierdo) Los niveles de energía del electrón de T y B en resonancia promoviendo el traslape de sus funciones de onda o tunelaje del electrón. (Panel derecho) Niveles del agujero en resonancia, promoviendo tunelaje del agujero. (Figura realizada por G. Abstreiter y J.J. Finley, Walter Schottky Institut, Technische Universität München, Am Coulombwall 3, D-85748 Garching, Germany).



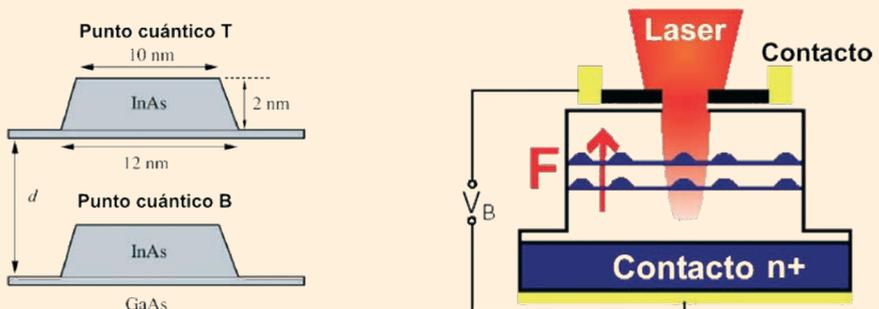
tos con distribuciones de carga de geometrías más complicadas puede ser diferente. Por ejemplo, en el caso de *dipolos eléctricos* formados entre pares *neutros* de electrón-hueco en un excitón, la interacción varía como el inverso de la distancia *al cubo*. En efecto, cuando dos excitones son fotogenerados en diferentes puntos cuánticos de la molécula, cada uno de ellos representando un dipolo, éstos interactúan vía la *interacción dipolo-dipolo* que varía inversamente proporcional al cubo de la distancia entre ellos.

Es interesante observar que la interacción dipolo-dipolo da lugar a un efecto más sutil que resulta en la transferencia de excitación óptica desde un punto cuántico al otro. Imaginemos que es posible excitar continuamente un solo punto cuántico con un láser, esta excitación genera un proceso dinámico mediante el cual se crean y destruyen excitones. Esta energía producida por la excitación en un punto cuántico puede en efecto ser *transferida* al punto vecino, provocando en él la creación de un excitón secundario. Este proceso es llamado *transferencia Förster de energía* (Orrit, 1999), y es un mecanismo que ocurre de manera natural en muchos procesos biológicos, involucrando la transformación de energía luminosa en otras formas de energía, dando lugar a muchas reacciones bioquímicas. Cabe mencionar que hoy en día se buscan crear dispositivos híbridos a base de *nanoestructuras* semiconductoras y biomoléculas orgánicas que toman ventaja de este mecanismo (Shimon, 1999).

## SIGNATURAS ÓPTICAS Y CONTROL DE MOLÉCULAS ARTIFICIALES

Surge ahora la pregunta final en este relato. ¿Qué propiedades podrían identificarse en moléculas artificiales acopladas por tunelaje y transferencia de Förster? Para ello puede pensarse en un modelo. Imaginemos que dos puntos acoplados son colocados dentro de un dispositivo (chip) electrónico e irradiados por luz láser, véase figura 5. El chip además puede proveer a los puntos con un campo eléctrico externo que tendría el efecto de modificar la geometría de las nubes electrónicas asociadas a los electrones y huecos de los excitones, como hemos descrito arriba (Krenner *et al.*,

**FIGURA 5.** (Panel izquierdo) Molécula artificial de arseniuro de indio (InAs), crecida sobre un sustrato de arseniuro de galio (GaAs). Punto cuántico T es crecido directamente sobre el punto B, separados por una distancia  $d$ . (Panel derecho) Un ensamble de moléculas es embebido en un chip de Schottky proveyendo un campo eléctrico  $F$ . A pesar de la presencia de otras moléculas vecinas, una sola molécula es seleccionada por excitación óptica por luz láser, gracias a una máscara con perforaciones en la parte superior del chip (Krenner *et al.*, 2005)



2005). A su vez, el láser puede adquirir diferentes frecuencias e intensidades luminosas, permitiendo acceder a diferentes niveles de energía de la molécula artificial y sus correspondientes estados excitónicos, los cuales son los más relevantes para fines de nuestra discusión. Así, tenemos dos *parámetros de control* de los estados cuánticos. Si la luz láser ilumina continuamente el chip, podríamos pensar que un haz de fotones inunda la molécula, de modo que cualquier cambio o transición excitónica en uno de los puntos cuánticos, afectaría el campo de radiación inmediato. En este efecto sobre los estados energéticos de la molécula se dice que son *vestidos por el campo de radiación*. De hecho, es la combinación de estos estados *vestidos* la que describe la naturaleza de las diferentes configuraciones posibles de la molécula artificial así como la evolución temporal del estado cuántico bajo diferentes condiciones experimentales externas.

Cuando la molécula no es excitada, podríamos pensar que su estado está caracterizado por el vacío, o ausencia de excitones. Y cuando lo es, la molécula es ocupada por diferentes especies de ellos (excitones neutros, biexcitones, triones, entre otros). Como se mencionó anteriormente, estos excitones se acoplan simultáneamente por tunelaje y acoplamiento Förster.

La naturaleza de los orbitales de la molécula artificial caracteriza a su vez la naturaleza de los excitones que pueden ocurrir en la molécula. Por ejemplo, si es sólo el electrón que se extiende entre los dos puntos, mientras que el hueco queda confinado en uno de ellos, en un límite se puede hablar de un *excitón indirecto*, en donde el electrón y el hueco están en *diferentes* puntos de la molécula. Por otro lado, cuando ambos, electrón y hueco, se localizan en el *mismo* punto, hablamos de un *excitón directo*. Lo mismo ocurre para biexcitones, habiendo biexcitones directos (con dos electrones y dos huecos en el mismo punto), así como un biexcitón *indirecto* puede descomponerse en un electrón extendido entre dos puntos y un trión localizado en el otro.

De esta manera, podemos etiquetar cada uno de los excitones con el símbolo  $\frac{e_B e_T}{h_B h_T} X$  donde los superíndices  $e_B$  y  $e_T$  denotan que un gran porcentaje de la nube de probabilidad del electrón está localizada en el punto cuántico B y T, respectivamente, y de manera análoga para los subíndices del hueco  $h_B$  y  $h_T$ . Así, por ejemplo,  $\frac{10}{10} X$  sería un excitón con carácter directo en el punto B mientras que  $\frac{10}{01} X$  sería un excitón con carácter indirecto con un electrón en B y un agujero en T. El bombeo de un excitón directo en el punto B sería representado por  $|0\rangle \rightarrow \frac{10}{10} X$ , donde  $|0\rangle$  es el estado vacío en la molécula; similarmente, un proceso de tunelaje del electrón a partir del excitón directo en el punto B,  $\frac{10}{10} X \rightarrow \frac{10}{01} X$ , produce un excitón indirecto y así sucesivamente.

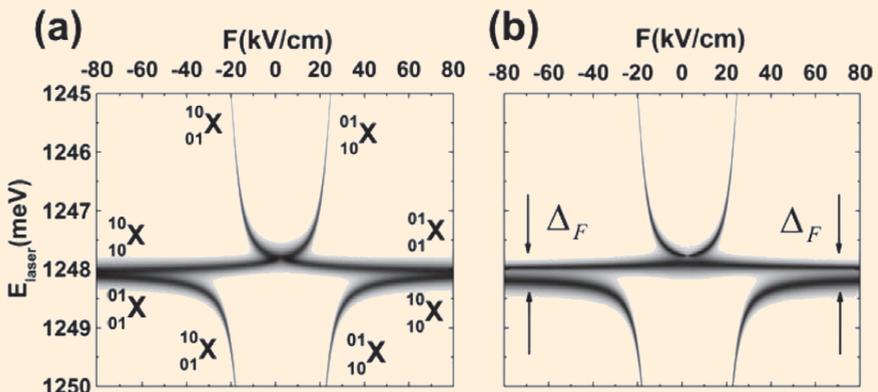
Ahora, lo que realmente define en última instancia la naturaleza de los enlaces moleculares y ejemplifica las fantásticas habilidades experimentales modernas es el comportamiento dinámico de las funciones de onda excitónicas, que pueden ser finamente controladas en el laboratorio al nivel *de una sola molécula*. Este control resulta en efectos de interferencia interesantes que dan lugar a probabilidades dependientes del tiempo, donde un valor máximo de la probabilidad corresponde a una interferencia constructiva de estas ondas y ocupación máxima de un estado excitónico en particular. Bajo condiciones experimentales adecuadas, la dinámica de las probabilidades de ocupación de estados exhibe un comportamiento oscilatorio regular, llamadas *oscilaciones de Rabí*, en donde un sistema de dos niveles simples, por ejemplo, es controlado por la radiación incidente *resonante*. En particular, la amplitud de estas oscilaciones es controlada directamente por la diferencia de energía entre la frecuencia del láser y la energía de creación mínima del nivel excitónico. La amplitud de oscila-

ción es pequeña cuando esta diferencia de energías es muy grande (y el láser se dice está muy *fuera de tono* con el nivel en cuestión), pero crece cuando las dos energías son iguales (y el láser está en *resonancia*).

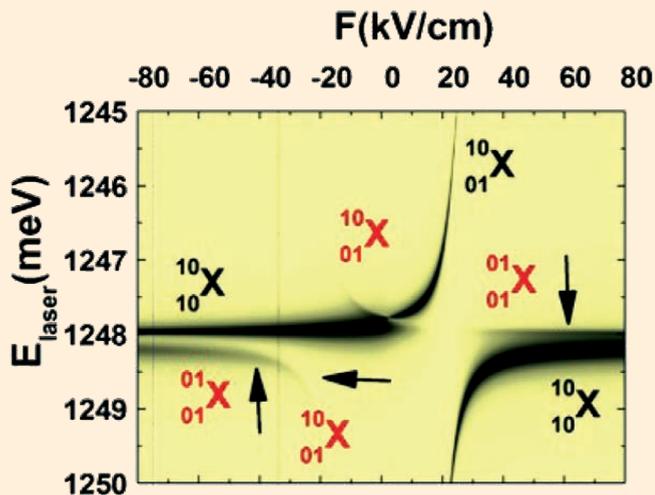
En el laboratorio, se tienen entonces una serie de controles finos sobre el estado cuántico de la molécula. Por una parte, el campo eléctrico externo deforma los orbitales de la molécula, haciendo el tunelaje cuántico de los electrones o huecos más o menos difícil (y por ende cambiando el traslape de las funciones de onda asociadas y la naturaleza del enlace). Por otra parte, la frecuencia del láser que se usa para crear los excitones puede acercarse a una condición resonante, modificando las poblaciones de los diferentes excitones en una forma *dinámica*. Finalmente, la molécula puede ser “interrogada” monitoreando la luz que es emitida por la molécula, completando el ciclo de definición–control–interrogación del sistema cuántico molecular de puntos semiconductores.

En este amplio contexto con potencial para afectar el comportamiento cuántico de dichos objetos nanoscópicos, cabe preguntar cuál es el efecto de la transferencia Förster de energía, cómo compete con los procesos de tunelaje y bombeo óptico, y cómo puede quizá utilizarse para mejorar más aún el control sobre estas moléculas. Justo esta pregunta hemos analizado con detalle en un trabajo reciente. (Rolón y Ulloa, 2009). Como se puede apreciar en las figuras 6 y 7, el efecto Förster provoca el “desdoblamiento” de líneas espectrales (en donde dos líneas aparecen en vez de una sola, si por ejemplo comparamos los paneles a y b en la figura 6), asociadas a los orbitales excitónicos de carácter directo, para campos eléctricos intensos,  $F > 80$  kV/cm para el caso de las figuras. Vemos que a diferencia del tunelaje, que acopla excitones directos con indirectos (vía el tunelaje de electrones o huecos), la interacción de Förster acopla dos excitones directos como un todo. El desdoblamiento de las líneas excitónicas directas es análogo al desdoblamiento de las líneas espectrales atómicas por un campo magnético o eléctrico efectivo, como sucede en el efecto Zeeman o Stark, respectivamente. En nuestro contexto, el desdoblamiento se explica por el hecho de que

**FIGURA 6.** a) Distribución de probabilidad de cada uno de los excitones presentes en la molécula artificial, en función del campo eléctrico aplicado  $F$  en unidades de kilo-voltios por centímetro y energía (frecuencia) de luz láser aplicado en unidades de mili-electrón voltios; b) el acoplamiento *coherente* de Förster promueve el desdoblamiento de las líneas excitónicas con carácter directo indicada por las flechas (Rolón y Ulloa, 2009).



**FIGURA 7.** Distribución de probabilidad (población de niveles) correspondiente al excitón directo localizado en el punto B. Se observa que este excitón se mezcla con otros tipos de excitones (distintas hibridaciones orbitales) dependiendo del valor del campo eléctrico y de la energía de láser de bombeo. En rojo se observa la mezcla simultáneamente con el excitón directo en el punto T y un excitón indirecto. La flecha de la esquina inferior izquierda muestra el correspondiente desdoblamiento de esta mezcla por acoplamiento Förster (Rolón y Ulloa, 2009).



la interacción de Förster afecta tanto los orbitales del agujero como los del hueco simultáneamente, provocando que el estado cuántico resultante sea una mezcla de las funciones de onda de estados excitónicos directos: diferencia del efecto del tunelaje, donde una de las partículas se deslocaliza entre los dos puntos, el desdoblamiento aquí se debe a la transferencia de excitación óptica y no a la deformación geométrica de los orbitales. Algo muy importante en este sistema es que el campo eléctrico promueve (o controla) que los niveles de energía de los dos puntos cuánticos entren en resonancia, favoreciendo tanto el fenómeno de tunelaje de cargas como el mecanismo de Förster. En la mayoría de las moléculas estudiadas en experimentos, el efecto del tunelaje que deforma el orbital para una sola de las partículas en cuestión, electrón o agujero, acaba por dominar sobre la mezcla causada por Förster, destruyéndola por completo. Esto se aprecia en la figura 6, justo en la región del mapa alrededor de  $F = \pm 20$  kV/cm, en donde la mezcla de los diferentes orbitales excitónicos es completa, produciendo poblaciones casi idénticas sobre una región amplia de campo. La *repulsión* de líneas espectrales observada ahí es debida esencialmente al acoplamiento cuántico por tunelaje, mientras que la mezcla por la interacción de Förster es sólo notable para campos grandes, como mencionamos antes.

Es esta variación *controlada* de parámetros externos capaces de acoplar y desacoplar los puntos cuánticos lo que hace a estas *nanoestructuras* sumamente atractivas. Una aplicación que está en la frontera de la investigación en todo el mundo es la de hacer que éstas moléculas funcionen como un *interruptor lógico* cuántico, o *bit cuántico* (*qubit* es el término usado en inglés). Posibles *qubit* lógicos en este sistema molecular serían la presencia (o ausencia) de un excitón en un punto, la presencia (ausencia) de un electrón o agujero en un punto u otro, o cualquier otra configuración bipartita de

la molécula artificial. Las posibles operaciones cuánticas de este *qubit* deseables para implementar una computadora cuántica están limitadas por el grado de estabilidad de los excitones y de las conformaciones moleculares de ellos. Aunque los retos para llegar a esta meta son importantes, este campo sigue avanzando con la colaboración entre teóricos y experimentales. Además de lograr un mejor entendimiento de estos sistemas cuánticos y de ser capaces de controlarlos *una-molécula-a-la-vez*, ofrecen la promesa de nuevas aplicaciones como en computación e información cuántica. Otros ejemplos incluyen quizá la fabricación de materiales “inteligentes”, con la capacidad de responder a estímulos externos y exhibir propiedades completamente distintas, dependiendo del valor de los parámetros de control.

## BIBLIOGRAFÍA

- Eric A. Stinaff, Michael Scheibner, Allan S. Bracker, Ilya V. Ponomarev, Vladimir L. Korenev, Morgan E. Ware, Matt F. Doty, Thomas L. Reinecke, Dan Gammon. (2006). “Optical signatures of coupled quantum dots”, *Science* 311, 636.
- Krenner, H. J. M. Sabathil, E. C. Clark, A. Kress, D. Schuh, M. Bichler, G. Abstreiter y J. J. (2005). “Finley, direct observation of controlled coupling in an individual quantum dot molecule”, *Phys. Rev. Lett.* 94, 057402.
- Leutwyler, Kristin. (2001). “Scientists create double quantum dot for computing”, *Scientific American Magazine*, septiembre 21.
- Lundstrom, T., W. Schoenfeld, H. Lee, P. M. Petroff. (1999). “Exciton storage in semiconductor self-assembled quantum dots”, *Science* 286, 2312.
- Orrit, M. (1999). “Coherent excitation in the antenna complex”, *Science* 285, 349.
- Resnick, Robert. (2002). *Física*, Vol. 2, CEECSA, Mexico.
- Rolón, J. E. y S.E. Ulloa. (2009). “Föster energy transfer signatures in optically driven quantum dot molecules”. arXiv:0811.4137v2, a aparecer en *Phys. Rev. B* 79.
- Tegmark, Max y John Archibald Wheeler. (2001). “100 Years of quantum mysteries”. *Scientific American Magazine*, febrero 1.
- Tsao, Jeffrey Y. (1993). “Materials fundamentals of molecular beam epitaxy”, Academic Press, Reino Unido.
- Wang, Zhong Lin. “How self-powered nanotech machines work”, *Scientific American Magazine*, noviembre 9.
- Weiss, Shimon. (1999). “Fluorescence spectroscopy of single biomolecules”, *Science* 283, 1676.
- Wolverton, Mark. (2009). “Breaking down nanostructures by the atom”, *Scientific American Magazine*, enero 13.

## Nanopartículas de $\text{TiO}_2$ y carbón activado para el tratamiento fotocatalítico de aguas contaminadas

JUAN MATOS\*, JEAN-MARC CHOVELON\*\*,  
CORINNE FERRONATO\*\*

**RESUMEN.** El objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de diferentes carbones activados sobre la actividad del  $\text{TiO}_2$  en el tratamiento fotocatalítico de aguas contaminadas, empleando como molécula sonda el 4-clorofenol, el cual comúnmente es un subproducto de las aguas de producción en la industria petrolera. Se prepararon diferentes carbones a partir del aserrín de la madera *Tabebuia Pentaphyla* impregnada con  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y KOH y la activación se hizo bajo flujo de  $\text{N}_2$  por 1h a  $450^\circ\text{C}$ . Los resultados indican que la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$  está fuertemente influenciada por las propiedades fisicoquímicas del carbón, observándose efectos de sinergia entre ambos sólidos o inhibición en la actividad del  $\text{TiO}_2$ . Los análisis por microscopía electrónica de barrido mostraron el fenómeno de agregación superficial de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  sobre carbones con pH muy ácido o muy básico. El control de las condiciones de síntesis de carbón activado permite mejorar la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$ , lo cual permite pensar en que este sistema muestra un gran potencial para su empleo en tecnología solar.

Palabras clave: aguas contaminadas; fotocatalisis; carbón activado,  $\text{TiO}_2$ .

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas contaminadas por lo general se lleva a cabo por técnicas como la floculación, filtración, esterilización, o por métodos químicos caracterizados por la adición de reactivos precursores de radicales libres como hidrófilos, dado que éstos son responsables de la oxidación de los contaminantes en productos minerales (Legrini *et al.*, 1993). Más aún, los procesos empleados en el tratamiento de aguas y aires contaminados, muestran cada vez un mayor interés en procedimientos fotoquímicos de oxidación, los cuales son conocidos como procesos avanzados de oxidación (Fox y Dulay, 1993; Ollis y Al-Ekabi, 1993) de los que sobresale la fotocatalisis heterogénea (Al-Ekabi, 1993) que se caracteriza por el empleo de semiconductores fotoactivos en la región UV-visible (Al-Ekabi, 1993). El dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$ , también llamado titania, ha sido el semiconductor más estudiado (Hermann, 1999; Keshmiri *et al.*, 2004) en la purificación y tratamiento de agua y aire, principalmente por mostrar la mayor fotoactividad (Blake, 2001), además de ser un material biocompatible y con una alta resistencia a la fotocorrosión. Se han hecho varios intentos para aumentar la actividad fotocatalítica del  $\text{TiO}_2$  tanto por deposición de metales nobles como por dopaje iónico; sin embargo, estas modificaciones no sólo no aumentaron su acti-

\* Laboratorio de Fotocatalisis, Energía y Medioambiente, Centro de Química, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, (IVIC), Apartado 20632, Caracas 1020-A, Venezuela. E-mail: jmatos@ivic.ve.

\*\* IRCELYON, UMR-CNRS. 5256, Université de Lyon, 69622 Villeurbanne, Francia.

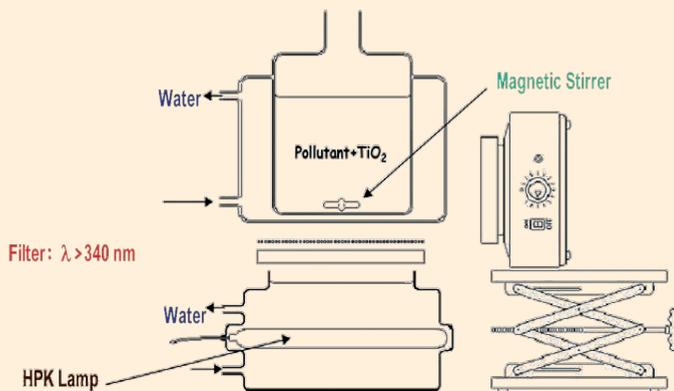
vidad sino más bien mostraron ser perjudiciales (Hermann *et al.*, 1984). Otra forma de aumentar su eficiencia ha sido añadir un co-adsorbente inerte como el carbón activado (Takeda *et al.*, 1995; Torimoto *et al.*, 1997). Al respecto, se han observado diferentes tipos de efectos empleando nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y carbón activado en la degradación fotocatalítica del fenol (Matos *et al.*, 1998; 1999, 2001 y 2007), 4-clorofenol (Matos *et al.*, 2001; Hermann *et al.*, 1999; Cordero *et al.*, 2007a y b) y el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (Matos *et al.*, 2001) un herbicida ácido comúnmente llamado 2,4-D. Se ha encontrado que carbones activados tipo-H (superficie básica y topología cerrada) aumentan sustancialmente la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$ , mientras que carbones tipo-L (superficies ácidas y topología abierta) resultan perjudiciales. Ambos efectos han sido atribuidos a la presencia de una interfase común de contacto creada entre ambos sólidos (Matos *et al.*, 1998; 1999 y 2001) responsable no sólo de la difusión de los contaminantes desde el carbón activado hacia el  $\text{TiO}_2$ , sino también de inducir cambios importantes en las propiedades fisicoquímicas superficiales del  $\text{TiO}_2$  y, por lo tanto, afectar su fotoactividad (Matos *et al.*, 1998, 2001, 2007; Araña *et al.*, 2003a). Con esto en mente, el objetivo principal de este trabajo consiste en detectar las variaciones en la actividad del  $\text{TiO}_2$  durante la degradación fotocatalítica del 4-clorofenol empleando carbones activados con diferentes propiedades texturales, topológicas y químicas, las cuales son una función del tipo de agente químico y de la concentración empleada durante su preparación.

## EXPERIMENTAL

Una descripción detallada del método experimental ha sido reportada en estudios previos (Cordero *et al.*, 2007a y b) lo cual resumimos a continuación. 4-clorofenol (4CP) de alta pureza fue suministrado por Aldrich. El fotocatalizador empleado fue  $\text{TiO}_2$  P25 de Degussa, y los carbones activados (AC) fueron preparados por el método de activación química (Cordero *et al.*, 2007a) bajo flujo de  $\text{N}_2$  a  $450^\circ\text{C}$  empleando aserrín de la madera Apamate (*Tabebuia Pentaphyla*) previamente impregnada con  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  y  $\text{KOH}$  en concentraciones entre 1 y 65% en peso. Luego de preparados, los AC se lavaron extensivamente con agua destilada a  $80^\circ\text{C}$  con el fin de eliminar el material remanente inorgánico aún presente luego de la activación. Las muestras se denotaron  $\text{AC}_{\text{ZnCl}_2-i}$ ,  $\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4-i}$  y  $\text{AC}_{\text{KOH}-i}$  siendo  $i$ , la concentración del agente químico. Las pruebas fotocatalíticas se realizaron a temperatura ambiente empleando 50mg de  $\text{TiO}_2$  y 10mg de AC añadidos bajo agitación a 25mL de solución acuosa de 4CP cuya concentración inicial fue  $0.78 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  (c.a. 100ppm). Se mantuvo esta suspensión en la oscuridad durante 80 min hasta equilibrio de adsorción del 4CP. Para los ensayos de degradación del 4CP se empleó un reactor fotocatalítico estático, según se muestra en la figura 1, el cual consiste de un frasco cilíndrico (Pyrex, c.a. 60mL) con una ventana óptica de fondo de 3cm en diámetro y abierto al aire. La irradiación se realizó con una lámpara de alta-presión de mercurio (Phillips HPK, 125W), filtrando los rayos IR con una celda de circulación de agua (espesor 2.5cm) equipada con un filtro de corte de longitudes de onda menores a 340nm (Corning 052).

El flujo fotónico emitido de luz se calculó por actinometría empleando como actinómetro oxalato de uranilo y el software Logicien Photon versión 1.6. El flujo fue igual a  $2.9 \times 10^{15} \text{ fotones.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Se emplearon discos Millipore (0.45mm) para remover la materia particulada de cada alícuota (0.3mL) antes del análisis cromatográfico empleando un HPLC Varian, serie 9010, equipado con un detector de absorbancia

FIGURA 1. Esquema del reactor fotocatalítico.



Spectra Systems UV 2000 ajustado a 280 nm para determinar las concentraciones de 4CP como una función del tiempo de irradiación-UV. De las curvas cinéticas de fotodegradación del 4CP se obtuvieron las constantes de velocidad aparentes de primer orden como el mejor parámetro cinético a emplear para comparar la fotoactividad de los sistemas. La caracterización textural del  $\text{TiO}_2$  y de los AC se realizó por adsorción de  $\text{N}_2$  a 77K para obtener las áreas superficiales BET ( $S_{\text{BET}}$ ) a partir de las isothermas de adsorción en el rango de presión entre 0.03 y 630Torr empleando un equipo de porosimetría y área superficial acelerada ASAP-2010 (Micromeritics). Se determinaron los pH superficiales ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) del AC y la titania por el método pH variable (López-Ramón, 1999) y, finalmente, se empleó microscopía electrónica de barrido (SEM) para verificar los cambios morfológicos del  $\text{TiO}_2$  en contacto con AC. Las muestras fueron recubiertas con Pd-Au y las imágenes fueron tomadas en un equipo S-800 de Hitachi.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Caracterización del carbón activado*

Los resultados de textura y pH superficial del AC se muestran en la tabla 1. Como se esperaba, a mayor concentración de los agentes químicos de impregnación con naturaleza ácida, las tendencias de los valores del  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  de los AC obtenidos muestran valores más bajos. El  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  de los  $\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$  muestra valores menores que los  $\text{AC}_{\text{ZnCl}_2}$  preparados usando concentraciones similares. Esto es consecuencia de que el primero es un ácido Brønsted fuerte mientras que el último es un ácido Lewis. Sin embargo, se debe resaltar que los  $\text{AC}_{\text{KOH}}$  mostraron una tendencia diferente. Es decir, a mayor concentración de KOH, los valores del  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  de los  $\text{AC}_{\text{KOH}}$  muestran valores más ácidos de pH superficial. Esto podría estar asociado con resultados previos de AC preparados a partir de sacarosa empleando KOH como agente químico de impregnación, los cuales mostraron un alto nivel de desorden estructural (Matos *et al.*, 2004 y 2005), como consecuencia de que los bordes de las capas aromáticas de grafeno

que constituyen la estructura del AC reaccionan con grupos hidroxilos del KOH, con la subsiguiente formación de grupos funcionales ligeramente ácidos, por ejemplo, del tipo fenólicos sobre la superficie del AC (21-23). En la tabla 1 se aprecia que en los tres tipos de AC el aumento en la concentración del agente de impregnación conduce a aumentos en el área  $S_{\text{BET}}$  hasta los valores máximos de  $2485\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $1987\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  y  $476\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  con el empleo de  $\text{ZnCl}_2$  (35%p/p),  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (35%p/p) y KOH (50%p/p), respectivamente. Es importante resaltar que a concentraciones mayores se aprecia un claro descenso en los valores  $S_{\text{BET}}$  (tabla 1). Esto ha sido reportado previamente para la activación de otros precursores lignocelulósicos (Matos *et al.*, 2004, 2005; Zuloaga *et al.*, 2004). En esos trabajos encontramos que las moléculas de agua son responsables de la creación de carbones nanoporosos, por medio de la reacción de gasificación:  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ . La formación de nanoporos en los AC se conoce generalmente con el nombre de activación. Los resultados de  $S_{\text{BET}}$  y  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  de la tabla 1 sugieren que los AC del presente estudio son del tipo-L, es decir, de carácter superficial ácido y una topología abierta.

Esto era de esperarse dado que la presencia de agentes químicos de impregnación y la baja temperatura de activación conducen a la obtención de AC de este tipo, caracterizados por altas  $S_{\text{BET}}$  y un alto contenido de oxígeno, asociados a grupos funcionales orgánicos como ácidos carboxílicos, sobre la superficie del AC y, en consecuencia, con valores bajos de  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  (Bimiak *et al.*, 2001).

### Adsorción en la oscuridad y cinética de desaparición de 4CP

En la figura 2, se muestran los resultados cinéticos de adsorción en la oscuridad y de las cinéticas de fotodegradación del 4CP sobre  $\text{TiO}_2$  y algunos  $\text{TiO}_2$ -AC en función del

**TABLA 1.** Áreas superficiales BET ( $S_{\text{BET}}$ ) y pH superficial ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) del  $\text{TiO}_2$  y AC estudiados

Sistema	$S_{\text{BET}}$ ( $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ )	$\text{pH}_{\text{PZC}}^a$
$\text{TiO}_2$	50	6.5
$\text{AC}_{\text{ZnCl}_2-65\%}$	$2001 \pm 60$	4.5
$\text{AC}_{\text{ZnCl}_2-35\%}$	$2485 \pm 75$	4.8
$\text{AC}_{\text{ZnCl}_2-5\%}$	$561 \pm 17$	6.0
$\text{AC}_{\text{ZnCl}_2-1\%}$	$30 \pm 1$	6.4
$\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4-65\%}$	$1569 \pm 47$	3.1
$\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4-35\%}$	$1987 \pm 60$	3.5
$\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4-5\%}$	$414 \pm 12$	4.0
$\text{AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4-1\%}$	$188 \pm 6$	4.7
$\text{AC}_{\text{KOH}-65\%}$	$309 \pm 15$	6.1
$\text{AC}_{\text{KOH}-50\%}$	$476 \pm 14$	6.5
$\text{AC}_{\text{KOH}-5\%}$	$17 \pm 1$	7.5
$\text{AC}_{\text{KOH}-1\%}$	$5,2 \pm 0,2$	7.7

<sup>a</sup> $\text{pH}_{\text{PZC}}$  con menos del 5% de desviación estándar.

tiempo de reacción. La figura 2 incluye también los resultados obtenidos sobre algunos AC en ausencia de titanio, el cual ha sido reportado previamente por nosotros (Cordero *et al.*, 2007b). Por lo tanto, para comparar los sistemas haremos mención de los resultados obtenidos sobre el  $\text{TiO}_2$  en dicha referencia en donde se emplearon las mismas condiciones experimentales de trabajo que las del presente estudio.

Lo primero que se debe resaltar de la figura 2 es que antes de comenzar la irradiación-UV, un periodo de adsorción del 4CP en la oscuridad de 80 min sobre los diferentes materiales fue considerado (escala de tiempo con valores negativos). Esta etapa previa nos permite calcular apropiadamente los valores de las constantes aparentes de velocidad tomando en consideración sólo el proceso fotocatalítico. En la figura 2 se aprecia claramente que ningún AC es fotoactivo bajo irradiación-UV. Esto se infiere por el hecho de que luego del periodo inicial de adsorción en la oscuridad, la concentración de 4CP permanece constante. Es decir, la desaparición del 4CP bajo irradiación de los AC en ausencia de  $\text{TiO}_2$  es despreciable y, por lo tanto, los presentes AC son fotoinactivos, en concordancia con estudios previos empleando carbonos distintos (Matos *et al.*, 1998, 2001; Hermann *et al.*, 1999; Cordero *et al.*, 2007a). De la figura 2 también se puede inferir que las cinéticas de reacción sobre los sistemas mixtos  $\text{TiO}_2$ -AC siguen un mecanismo de reacción aparente de primer orden en la desaparición del 4CP. En la figura 3, se muestran las transformaciones lineales  $\ln(C_0/C_t) = f(t)$  de los resultados cinéticos de la figura 2. Este tratamiento lineal mostró factores de regresión cercanos a la unidad (tabla 2) lo que permite inferir que la suposición que la cinética de reacción sigue un mecanismo de primer orden fue bastante razonable. De las pendientes de estas rectas podemos estimar las constantes aparentes de velocidad de primer orden ( $k_{app}$ ) como el mejor parámetro cinético para comparar la actividad fotocatalítica de los sistemas estudiados en este trabajo.

En la tabla 2, se presentan los resultados cinéticos obtenidos en la adsorción en el equilibrio en la oscuridad del 4CP ( $4\text{CP}_{ads}$ ) y de las constantes aparentes de velocidad de primer orden ( $k_{app}$ ). De forma general, los resultados de la tabla 2 sugieren que a mayores áreas superficiales de los AC (tabla 1) mayores son los valores adsorbidos de

**FIGURA 2.** Cinética de desaparición de 4CP sobre diferentes AC y sistemas  $\text{TiO}_2$ -AC.

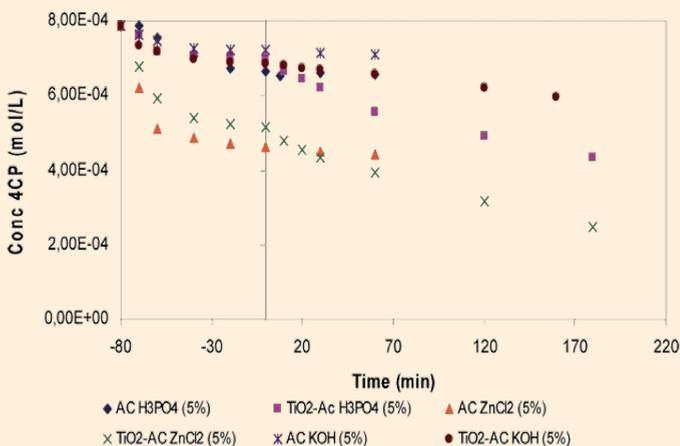
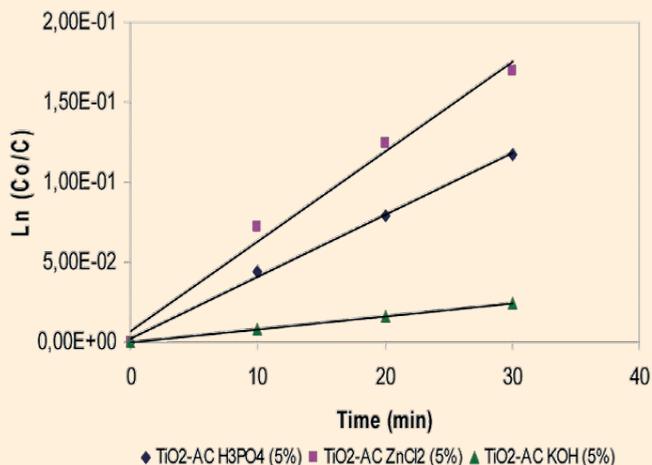


FIGURA 3. Transformación lineal de los datos cinéticos de la figura 2.



4CP en la oscuridad. Podemos observar incluso, que los valores máximos adsorbidos de 4CP sobre el sistema mixto se observaron en las muestras TiO<sub>2</sub>-AC con aquellos AC que tenían los máximos valores de área superficial (tabla 1). Particularmente, esto es cierto para los AC<sub>ZnCl<sub>2</sub></sub> y AC<sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></sub>. Sin embargo, comparando los valores de las tablas 1 y 2, podemos ver que no existe una correlación evidente entre las actividades fotocatalíticas de la Titania, indicada por las constantes aparentes ( $k_{app}$ ) de velocidad de pri-

TABLA 2. Adsorción del 4CP (4CP<sub>ads</sub>) y constantes aparentes de velocidad de primer orden ( $k_{app}$ ).

Sistema	4CP <sub>ads</sub> (%) <sup>a</sup>	$k_{app} \times 10^{-3}$ (min <sup>-1</sup> )	I <sub>F</sub> <sup>b</sup>
TiO <sub>2</sub>	9.8	2.39	1.00
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>ZnCl<sub>2</sub>-65%</sub>	48.4	2.28	0.95
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>ZnCl<sub>2</sub>-35%</sub>	61.2	2.73	1.14
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>ZnCl<sub>2</sub>-5%</sub>	34.8	5.60	2.34
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>ZnCl<sub>2</sub>-1%</sub>	6.5	1.34	0.56
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-65%</sub>	44.1	1.56	0.65
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-35%</sub>	51.5	2.10	0.88
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-5%</sub>	11.6	3.88	1.62
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>-1%</sub>	10.9	2.21	0.92
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>KOH-65%</sub>	32.9	2.99	1.25
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>KOH-50%</sub>	27.4	3.45	1.44
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>KOH-5%</sub>	13.0	8.00	0.33
TiO <sub>2</sub> -AC <sub>KOH-1%</sub>	5.7	4.74	0.20

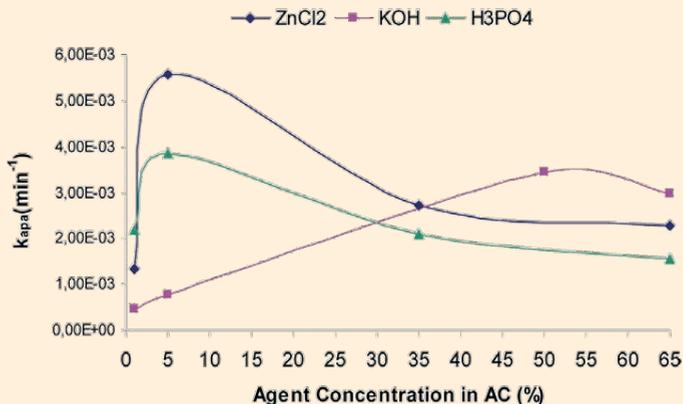
<sup>a</sup> Estimada desde:  $C_0 = 0.78 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ . <sup>b</sup> Sinergia o inhibición:  $I_F = [k_{app}(\text{TiO}_2\text{-AC})/k_{app}(\text{TiO}_2)]$ .

mer orden (tabla 2) y los valores de las áreas superficiales ( $S_{\text{BET}}$ ) y/o del pH superficial ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) de los AC (tabla 1). Por ejemplo, los sistemas mixtos que más adsorben 4CP en la oscuridad no son aquellos que muestran la mejor fotoeficiencia representada por el factor  $I_{\text{F}}$  de la tabla 2. En otras palabras, aunque a mayores  $S_{\text{BET}}$  de los AC se obtienen mayores adsorciones de 4CP, éste no es el único parámetro que mejora la fotoactividad del semiconductor. En la tabla 2, se puede observar que para el caso de  $\text{TiO}_2\text{-AC}_{\text{ZnCl}_2}$  y  $\text{TiO}_2\text{-AC}_{\text{H}_3\text{PO}_4}$ , estos sistemas adsorben la mayor cantidad de 4CP cuando los AC se prepararon con 35% de  $\text{ZnCl}_2$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , respectivamente. Sin embargo, también en la tabla 2 se puede apreciar que los sistemas más fotoactivos se obtuvieron cuando los AC se prepararon con concentraciones de sólo 5% de los agentes químicos.

Lo anterior se debe a que estos AC muestran valores de  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  menos ácidos que los preparados con altas concentraciones de los agentes químicos de impregnación. Contrario a lo esperado (Matos *et al.*, 1999, 2001), el presente estudio muestra que ciertos AC ácidos sí presentan un efecto benéfico en la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$ , aun cuando su  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  sea menor que el del  $\text{TiO}_2$  (tabla 1). Es de resaltar que si el pH del medio de reacción es inferior a dicho pH esto traería como consecuencia la protonación masiva de los grupos hidroxílicos presentes en la superficie de la Titania, inhibiendo su fotoactividad (Ollis y Al-Ekabi, 1993). En resumen, dado que los AC son fotoinactivos podemos inferir que existe un efecto cooperativo entre ambos sólidos, es decir, un efecto de sinergia, representado por los valores de  $R > 1$  de la tabla 2. Por el contrario, valores  $R < 1$  indican que la interacción entre AC y el  $\text{TiO}_2$  inhibe la fotoactividad de este último. La figura 4 muestra que algunos AC aumentan la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$  ( $k_{\text{app}} > 2,39 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ ), en particular, aquellos AC cuyos valores de  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  son ligera o moderadamente ácidos (tabla 1).

Esto concuerda con previos estudios (Ou *et al.*, 2005; Araña *et al.*, 2003b) en donde la adición de pequeñas concentraciones de ácidos orgánicos como el ascórbico o el acético a suspensiones de  $\text{TiO}_2$ , inducen modificaciones superficiales importantes en el fotocatalizador. Dichos estudios muestran que los ácidos carboxílicos al disociarse en fase acuosa se pueden coordinar al centro metálico  $\text{Ti}^{+4}$  del  $\text{TiO}_2$ , inhibiendo la recombinación del par ( $e^{\cdot}, h^{\cdot}$ ) fotogenerado durante la excitación del semiconductor. Este hecho permite la creación de una mayor concentración de radicales hidroxilos ( $\cdot\text{OH}$ ) y supe-

**FIGURA 4.** Constantes aparentes de velocidad en función de la concentración de  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , KOH.



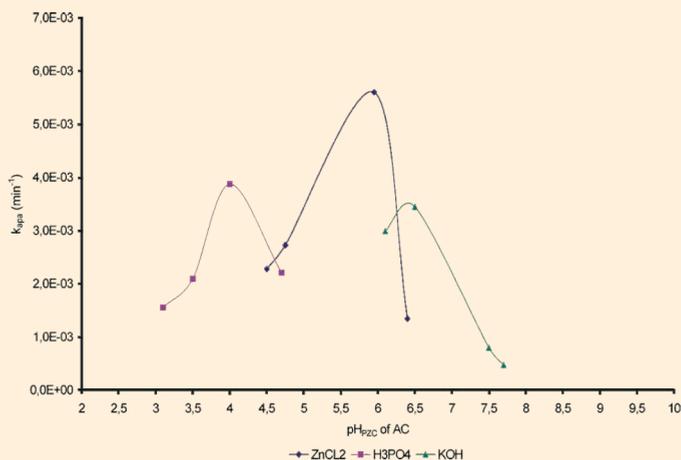
roxos ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) y, en consecuencia, un aumento en la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$  en reacciones de fotomineralización de moléculas tóxicas de naturaleza orgánica, particularmente aromáticas como el 4CP. En trabajos previos (Zuloaga *et al.*, 2004), hemos demostrado que los carbones activados preparados por impregnación con ácidos Lewis y/o Brønsted conducen a la formación de grupos funcionales oxigenados del tipo ácido carboxílicos sobre la superficie del AC. Por lo tanto, podríamos pensar que si la concentración superficial de estos grupos es lo suficientemente baja, estaríamos entonces en presencia de un efecto similar. Es decir, en el caso del sistema mixto  $\text{TiO}_2$  con AC ligeramente ácidos, la sinergia observada entre ambos sólidos se puede atribuir a la presencia de pequeñas concentraciones de grupos funcionales oxigenados de naturaleza ácida sobre la superficie del AC, en particular ácidos carboxílicos los cuales inducen modificaciones superficiales en el  $\text{TiO}_2$  a través de la superficie de intercambio que ambos sólidos comparten. En la figura 5, se observa cómo el  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC afecta la fotoactividad del  $\text{TiO}_2$ .

De este modo, parece razonable pensar que el  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC tiene una fuerte influencia sobre la capacidad y selectividad de la adsorción del 4CP. Esta sugerencia fue confirmada por el hecho de que durante la fotodegradación catalítica del 4CP se detectaron diferentes distribuciones de productos intermedarios (Cordero *et al.*, 2007b) de acuerdo con el tipo de AC empleado, indicando que existen diferentes sitios superficiales en el fotocatalizador gobernados en mayor proporción por el  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC. Estos diferentes sitios superficiales influyen no sólo los mecanismos de adsorción del 4CP sino también su fotodegradación como hemos mostrado en previos trabajos (Matos *et al.*, 2001; Cordero *et al.*, 2007b).

### Agregación superficial del $\text{TiO}_2$

La figura 6 muestra una imagen SEM del  $\text{TiO}_2$  comercial (P25 Degussa) empleada en este estudio, en la que se se puede ver claramente que el  $\text{TiO}_2$  está compuesto por nanoagregados de partículas de forma esférica cuya unidad básica de agregado se encuentra entre 30 y 50 nm.

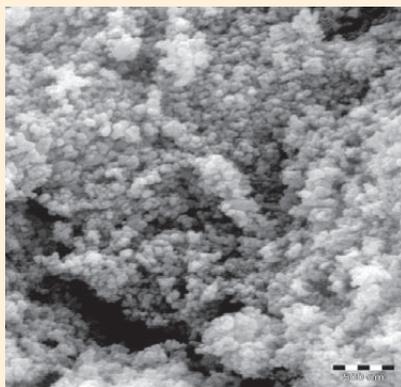
**FIGURA 5.** Tendencias de las constantes aparentes de velocidad como función del  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC.



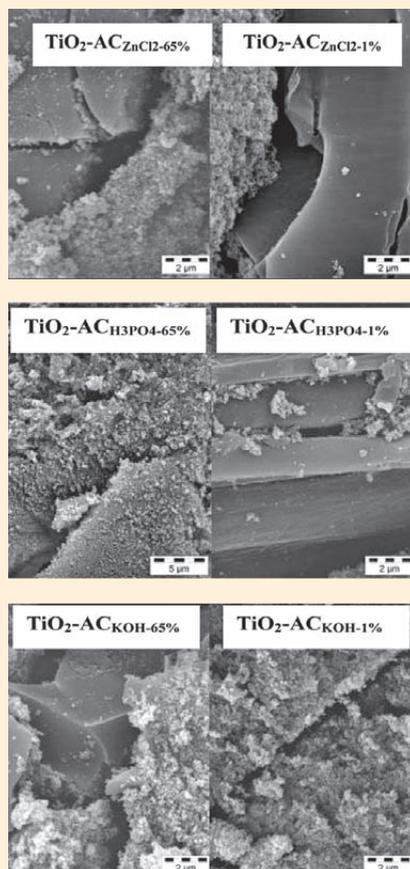
En la figura 7, se muestra una composición de imágenes SEM que nos permiten verificar la influencia del AC sobre la morfología del  $\text{TiO}_2$ . Al comparar las imágenes de la figura 7 con la microscopía de la figura 6, podemos sugerir que a mayor concentración de agente químico se produce un mayor grado de agregación de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  sobre la superficie del AC. Esto es, cuanto menor es el  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC empleado, se promueve una agregación masiva de las nanopartículas del semiconductor. Lo anterior es debido a la presencia de grupos oxigenados del tipo ácido carboxílicos sobre la superficie del carbón activado que discutimos anteriormente.

Como el tamaño promedio de partícula de  $\text{TiO}_2$  empleada en este estudio es del orden de 30nm (Matos *et al.*, 1998) y la escala del estudio SEM es del orden micrométrico, esto indica claramente que durante el proceso de mezcla de ambos sólidos, se indujo la agregación en unos cientos de nanómetros de partículas de  $\text{TiO}_2$ . Igualmente, en la figura 7 se puede ver que con el empleo de los AC menos ácidos las partículas de  $\text{TiO}_2$  muestran un mayor grado de dispersión sobre la superficie de los carbones activados que la desarrollada por los carbones activados con naturaleza más ácida. El aumento o descenso en la fotoactividad (tabla 2) del  $\text{TiO}_2$  es una función dominada principalmente por el  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  del AC. En otras palabras, los AC más ácidos promueven una mayor agregación de partículas del fotocatalizador disminuyendo así la interfase de contacto entre ambos sólidos, lo cual afecta en primer lugar la difusión del contaminante desde el AC hacia las partículas de  $\text{TiO}_2$ . En resumen, cuanto mayor es la agregación de dichas partículas sobre la superficie del AC menor cantidad de ellas podrán ser fotoactivadas y, en consecuencia, se produce un descenso en la fotoactividad. Por tanto, podemos sugerir que existe cierta

**FIGURA 6.** Imagen SEM del  $\text{TiO}_2$  P25 de Degussa.



**FIGURA 7.** Imágenes SEM de algunos de los sistemas  $\text{TiO}_2$ -AC del presente estudio.



transferencia de densidad electrónica (Cordero *et al.*, 2007b) desde AC ligeramente ácidos hacia el TiO<sub>2</sub> lo cual favorece la fotoactividad de este último.

## CONCLUSIONES

El empleo de AC puede inducir tanto efectos benéficos como perjudiciales sobre la fotoactividad del TiO<sub>2</sub> en la degradación fotocatalítica del 4CP. Se estimó un efecto de sinergia entre ambos sólidos igual a 2.3, 1.6 y 1.4 sobre TiO<sub>2</sub>-AC<sub>ZnCl2-5%</sub>, TiO<sub>2</sub>-AC<sub>H3PO4-5%</sub> y TiO<sub>2</sub>-AC<sub>KOH-50%</sub>, respectivamente. El control de las condiciones de síntesis de AC permite mejorar la fotoactividad del TiO<sub>2</sub> lo que sugiere que este sistema tiene gran potencial para su empleo en tecnología solar ya que permite obtener agua limpia en periodos de tiempo más cortos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Araña, J., J.M. Doña-Rodríguez, O. González-Díaz, J.A. Herrera-Melian, C. Fernández Rodríguez, J. Pérez-Peña. (2003b). *Appl. Catal. A: General.*, 299, 274.
- \_\_\_\_\_, J.M. Rodríguez, E. Tello-Rondón, C. Garriga i Cabo, O. González-Díaz, J.A. Herrera-Melian, J. Pérez-Peña, G. Colon, J.A. Navio. (2003a). *Appl. Catal. B: Environ.*, 44, 153.
- Biniak, S., A. Swiatkowski, M. Pakula (2001.) en L.R. Radovic (ed.), *Chemistry and Physics of Carbon*, 27, Marcel Dekker, Inc. NY, 131.
- Blake, M. (2001). NREL/TP-510-31319. *Nat. Renew. Energy Lab.* Golden, Co.
- Cordero, T., C. Duchamp, J.-M. Chovelon, C. Ferronato, J. Matos. (2007b). *J. Photochem. Photobiol. A*, 191, 122.
- \_\_\_\_\_, J.-M. Chovelon, C. Duchamp, C. Ferronato, J. Matos. (2007a). *Appl. Catal. B: Environ.*, 73, 227.
- Cordero, T.C., C. Nahas, L. Rojas, J. Matos (2004). *Actas XIX SICAT*, 2007.
- Fox, M.A., y M. T. Dulay. (1993). *Chem. Review*, 341.
- Hermann, J.-M. (1999). *Catal. Today*, 53, 115.
- \_\_\_\_\_, J. Didier, P. Pichat. (1984). *Chem. Phys. Lett.* 108, 618.
- \_\_\_\_\_, J. Matos, J. Disdier, C. Guillard, J. Laine, S. Malato, J. Blanco. (1999). *Catalysis Today*, 54, 255.
- Keshmiri, M., M. Mohseni, T. Troczynski. (2004). *Appl. Catal. B: Environ.*, 53, 209
- Legrini, O., E. Oliveros, A.M. Braun. (1993). *Chem. Review*, 671.
- López-Ramón, M.V., F. Stoeckli, C. Moreno-Castilla, F. Carrasco-Marin. (1999). *Carbon*, 37, 1215.
- Matos, J. M. Labady, A. Albornoz, J. Laine, J.L. Brito. (2005). *J. Molec. Catal. A: Chem.* 228, 189.
- \_\_\_\_\_, M. Labady, A. Albornoz, J. Laine, J.L. Brito, J. Mater. (2004). *Sci.* 39, 3705.
- \_\_\_\_\_, J. Laine, J.-M. Herrmann. (1998). *Appl. Catal. B: Environ.* 18, 281.
- \_\_\_\_\_. (1999). *Carbon*, 37, 1870.
- \_\_\_\_\_, D. Uzcategui, J.L. Brito. (2007). *Appl. Catal., B: Environ.* 70, 461.
- \_\_\_\_\_. (2001). *J. Catal.* 200, 10.
- Ollis, D. F. y H. Al-Ekabi (eds.). (1993). *Photocatalytic purification and treatment of water and air*. Elsevier, Amsterdam, pp. 375-386.

- Ou, Y., J.D. Lin, H.M. Zou, D.W. Liao. (2005). *J. Molec. Catal. A:Chem.*, 241, 59.
- Torimoto, T., Y. Okawa, N. Takeda, H. Yoneyama *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* (1997). 103, 153.
- Takeda, N., T. Torimoto, S. Sampath, S. Kuwabata, H. Yoneyama. (1995). *J. Phys. Chem.* 99, 9986.
- Zuloaga, C., I. Nestares, A. Nebreda, J. Matos. (2004). *Actas XIX SICAT.*, 1999.

## Problemas axiológicos y éticos de la tecnociencia

LEÓN OLIVÉ\*

**RESUMEN.** En el siglo xx surgieron nuevos sistemas de generación de conocimiento y de intervención en la realidad cuyas estructuras de normas y valores son diferentes a las que tienen los sistemas científicos y tecnológicos tradicionales. Por su intenso impacto social, cultural, económico y ambiental, se habla de “la revolución tecnocientífica”. La nanotecnología forma parte de esta revolución. Se examina la estructura axiológica de esos sistemas, así como formas de enfrentar los problemas éticos que plantean.

Palabras clave: tecnociencia, nanotecnología, ética y axiología.

### PRÁCTICAS GENERADORAS DE CONOCIMIENTO: CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS Y TECNOCIENTÍFICAS

Entre las *prácticas* humanas generadoras de conocimiento destacan por excelencia las *científicas*, cuyos resultados son conocimientos que se juzgan en primer lugar en términos de normas y valores epistémicos, pero que también pueden ser evaluados desde otros puntos de vista, por ejemplo, el estético, y muchas veces también de acuerdo con valores éticos.<sup>1</sup> Para considerar como auténtico conocimiento a los resultados de las prácticas científicas no se requiere juzgarlos en función de valores económicos, pero es cierto que los conocimientos adquieren valor económico cuando son incorporados en otras prácticas, como las tecnológicas, para transformar objetos que luego se intercambian y adquieren valor de cambio en un mercado. Al ser usado y al aplicarse en prácticas no científicas, como las tecnológicas, el conocimiento científico puede ser evaluado en términos de valores que no son intrínsecos de las prácticas donde se genera, las científicas.

Las prácticas científicas en sentido estricto nunca han estado orientadas a la producción de resultados con un valor de mercado, y jamás han sometido sus resultados a procesos de compra-venta en mercados de conocimiento. Por el contrario, si de algo se hapreciado y siguepreciándose la ciencia moderna es del carácter público de sus resultados. Así ha sido desde sus inicios, y así sigue siendo. Esto es, los valores que dominan dentro de las prácticas científicas, en el sentido de la ciencia moderna que surgió en los siglos XVI y XVII, a diferencia de las prácticas que aparecieron en el siglo XX, llamadas tecnocientíficas, son sobre todo valores epistémicos, y no incluyen valores económicos.<sup>2</sup>

---

\* Instituto de Investigaciones Filosóficas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

<sup>1</sup> Adelante discutiremos brevemente la tesis de la “neutralidad ética de la ciencia”. Veremos que esta tesis depende de una concepción de la ciencia que puede ser fuertemente criticada.

<sup>2</sup> Explicaremos más adelante la diferencia entre prácticas científicas, tecnológicas y tecnocientíficas.

Una consecuencia de lo anterior, que podemos señalar de paso con respecto a las políticas científicas, es que la promoción del desarrollo de la ciencia, así como la evaluación del desempeño de los científicos y de sus productos, debe hacerse con base en criterios que tomen en cuenta los valores y las normas de los sistemas científicos tal y como han llegado a nuestros días a partir de su surgimiento, y como particularmente han evolucionado en el último siglo. El crecimiento de la ciencia debe promoverse con base en sus propios valores, especialmente los epistémicos, y no debe confundirse con una orientación hacia la mal llamada “ciencia aplicada”. Sin ciencia, a secas, no hay posibilidad de auténtica innovación. Otra cuestión, como veremos adelante, es que desde un punto de vista de políticas de ciencia, tecnología e innovación, sea conveniente impulsar, al mismo tiempo que los sistemas científicos en sentido estricto, los tecnológicos y los tecnocientíficos.

Pero subrayar el papel primordial de los valores epistémicos para evaluar las prácticas científicas y sus resultados, no quiere decir que los científicos, como agentes de los sistemas científicos, cuyo objetivo principal es la producción de conocimiento fiable, no deban rendir otras cuentas que sólo demostrar que generan conocimiento, ni que estén exentos de responsabilidades éticas y sociales. Por el contrario, la producción misma de conocimiento involucra responsabilidades éticas, y en virtud de la incorporación cada vez más intensa del conocimiento científico en los sistemas tecnológicos y tecnocientíficos, por medio de los cuales afectan a la sociedad y al ambiente, los científicos tienen responsabilidades ineludibles ante la sociedad, por ejemplo, dar opiniones bien fundadas sobre las ventajas y los riesgos de la aplicación de ciertos conocimientos, sobre las posibles soluciones de determinados problemas sociales y ambientales (muchas veces generados por las propias aplicaciones científico-tecnológicas), así como dejar claro dónde existen incertidumbres y en qué terrenos se carece aún de conocimientos bien fundados acerca de posibles consecuencias. También, en virtud de que los sistemas científicos son financiados por la sociedad, sea mediante recursos públicos —como lo es en México y en prácticamente toda América Latina— o privados, los científicos deben rendir cuentas del buen uso de esos recursos, y deben estar dispuestos a colaborar, como comunidad, en el desarrollo de los sistemas de innovación que permitan el aprovechamiento social de esos conocimientos. Pero esto no equivale a decir que cada científico, en lo individual, debe hacer él mismo la innovación. Fomentar una vinculación efectiva entre los sistemas científicos, los tecnológicos y los de innovación es responsabilidad de quienes diseñan y aplican políticas de ciencia, tecnología e innovación. Pero, insisto, esto no exige a los científicos de responsabilidades éticas y sociales (cf. Olivé, 2000 y 2007).

*Las prácticas tecnológicas*, a diferencia de las científicas, están orientadas principalmente no hacia la generación de conocimiento, sino a la transformación de objetos, que pueden ser materiales o simbólicos, aunque para ello usan conocimiento ya disponible y muchas veces generan nuevo conocimiento. No necesariamente buscan satisfacer un valor de mercado, como lo ilustran muchos de los desarrollos de software libre en nuestros días, pero es cierto que en las sociedades cuya economía se rige por el mercado, la tendencia dominante es que las prácticas tecnológicas generen productos con un valor de cambio que se realiza en el mercado.

Las prácticas tecnológicas incluyen conocimiento tácito, peculiar de cada una de ellas, pero además incorporan conocimientos que provienen en gran medida de prácticas distintas a ellas. Una de las características de las prácticas tecnológicas es que nece-

sariamente deben utilizar conocimientos científicos (aunque no exclusivamente), los cuales se generan en los sistemas propiamente científicos.<sup>3</sup>

Éste es el panorama tradicional con respecto a la ciencia y la tecnología como las conocemos a partir de la revolución científica del siglo xvii y de la revolución industrial del xviii. Hasta mediados del siglo xx, aproximadamente, la relación entre la ciencia, la tecnología y lo que ahora llamamos sistemas de innovación, se basaba en los elementos que burdamente hemos apuntado. Los sistemas de ciencia generaban conocimiento público, el cual muchas veces se incorporaba a sistemas tecnológicos que generaban artefactos. Por lo general, y cada vez de manera más intensa, el proceso de producción de esos artefactos (entendidos en un sentido amplio, no sólo como objetos materiales) era patentado con el fin de obtener beneficios económicos. Pero en las últimas décadas del siglo xx irrumpieron nuevas prácticas generadoras de conocimiento, que son también transformadoras de la realidad, las cuales producen resultados, materiales y simbólicos, y generan riqueza: las prácticas que muchos autores han llamado *tecnocientíficas* (cf. Echeverría, 2003). Antes de comentar sobre ellas, su estructura axiológica y los problemas éticos que plantean, revisemos brevemente la llamada tesis de la neutralidad ética de la ciencia y de la tecnología.

## LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, ¿SON ÉTICAMENTE NEUTRALES?

Esta tesis sostiene que el conocimiento científico no es bueno ni malo desde un punto de vista ético. El problema en todo caso, según esta tesis, puede surgir con sus aplicaciones. Pero esto ya no es un problema de la ciencia, ni de los científicos, sino de quienes aplican el conocimiento.

Para dirimir la controversia sobre la neutralidad ética de la ciencia es crucial la caracterización que se haga de la propia ciencia. Muchas veces se identifica a la ciencia sólo con el conocimiento científico, y entonces es sencillo concluir que la ciencia —reducida al conocimiento producido por ella— es éticamente neutral. Así, bajo esta perspectiva se omite la referencia a los métodos y los medios utilizados para obtener dicho conocimiento, y se deja de lado la responsabilidad ética de los científicos. Me referiré a dos casos que ilustran una y otra cuestión: el problema de los medios, y el de la responsabilidad de los científicos, *qua* científicos.

El primero es uno de los más citados en la historia de la ciencia donde se violaron las normas éticas más elementales: la investigación sobre la sífilis en Tuskegee, Alabama, donde, durante cuarenta años, entre 1932 y 1972, con el fin de obtener conocimiento científico acerca del desarrollo de la enfermedad en pacientes que no recibían tratamiento alguno, se hizo un seguimiento de alrededor de 400 sujetos, todos ellos negros, sin informarles que estaban enfermos de sífilis, haciéndoles creer que tenían otro padecimiento, sin ofrecerles ningún tratamiento —cuando el de la penicilina se hizo común a partir de 1943—, y evitando que recibieran ayuda por parte de alguna otra institución (véase, por ejemplo, <http://www.cdc.gov/tuskegee/timeline>).

---

<sup>3</sup> Distinguimos entre prácticas técnicas y tecnológicas. Las segundas son aquellas cuyo objetivo central es la transformación de objetos mediante procedimientos que se benefician del conocimiento científico. Las prácticas técnicas, en general, son las que transforman objetos sin hacer uso necesariamente de conocimiento científico. Toda práctica tecnológica es técnica, pero no a la inversa (cf. Quintanilla, 2005).

htm). El experimento sólo se detuvo cuando surgió un escándalo nacional a partir de una filtración de la información a la prensa. A partir de esta espeluznante investigación, hecha en nombre de la ciencia, para obtener conocimiento científico, en los Estados Unidos se redactó el llamado Informe Belmont, donde se establecieron principios éticos para proteger los derechos de las personas que participen en investigaciones de ese estilo (véase, <http://ohsr.od.nih.gov/guidelines/belmont.html>).

Este ejemplo muestra que es indispensable evaluar los medios que se utilizan, aunque el fin que se busque, y el resultado de hecho, sea genuino y puro conocimiento científico.

El segundo tipo de casos que quiero comentar es el de los problemas éticos que surgen de la relación entre los sistemas científico-tecnológicos y su entorno social y ambiental, y tiene que ver con consecuencias riesgosas de su operación. En este tipo de problemática pueden plantearse dilemas a los científicos, y de ahí la necesidad de establecer sistemas normativos que regulen la interacción de los sistemas científicos y técnicos con la sociedad.

Un caso paradigmático de un dilema ético se encuentra en la experiencia del Premio Nobel de Química 1995, Mario Molina, cuando a mediados de la década de 1970 consideró que tenía bases razonables para creer que los clorofluorocarbonos (CFC's) eran los agentes causales del deterioro de la capa de ozono, pero no contaba en ese momento con evidencia que la comunidad científica pudiera considerar contundente.

Molina mismo ha narrado que enfrentó un dilema ético porque, por un lado, la metodología ortodoxa indicaba que el curso de acción correcto era proseguir las investigaciones hasta tener evidencia contundente que confirmara o refutara su hipótesis, y entretanto no parecía correcto alarmar a nadie fuera de la comunidad científica. Pero por otra parte, el daño que se estaba produciendo, de ser correcta la hipótesis y el que todavía vendría si no se tomaban medidas pertinentes en su momento, era tan grave, que parecía éticamente correcto iniciar de inmediato acciones para advertir a los productores de CFC's, así como a la sociedad en general, que presumiblemente el daño era causado por ese compuesto químico producido industrialmente, por lo que era necesario iniciar acciones para disminuir su emisión a la atmósfera, antes de que la situación fuera más grave e incluso irreversible.

Molina y su colega Rowland optaron por el segundo cuerno del dilema, y con el tiempo se logró la evidencia suficiente que les concedió la razón. Sin embargo, si no se hubieran comenzado a tomar medidas antes de tener esa evidencia, es probable que se habría alcanzado un punto de no retorno. Esto significa que Molina, sin llamarle así en su momento, hizo una prudente aplicación de lo que ahora es ampliamente conocido como el *principio de precaución*.

Una formulación de dicho principio es la siguiente:

si existen bases razonables para sospechar que un producto causa daños al ambiente, el no haber alcanzado el grado de certeza exigido para aceptar una hipótesis como correcta, no es una razón suficiente para posponer políticas ambientales o de control de riesgos por parte de la sociedad, si el retraso en tomar medidas pudiera tener como consecuencia la existencia de daños muy serios y probablemente irreversibles.

Conviene subrayar que el dilema que se le planteó a Molina fue en su carácter de científico básico, en relación con un conocimiento científico, y no en relación con una posible intervención tecnológica o tecnocientífica de su parte, aunque el conocimiento que él generó sí se refería a consecuencias de acciones tecnológicas.

De este caso se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. En ciertas circunstancias, saber (tener un determinado conocimiento) implica una responsabilidad moral.
2. Es factible actuar de manera *responsable* en una situación en la que un sistema está produciendo daños, aun cuando no exista evidencia contundente para aceptar una relación causal entre la operación del sistema y los daños en cuestión.
3. Es éticamente correcto aplicar el principio de precaución, a condición de que existan *bases razonables* para creer en la relación causal entre la operación de un sistema y determinado daño.

Los dos casos mencionados bastan para ilustrar la tesis de que la ciencia no es éticamente neutral, ni siquiera la ciencia básica en sentido tradicional.

Dijimos antes que para dirimir la controversia sobre la neutralidad ética de la ciencia es crucial la caracterización que se haga de la propia ciencia. Bajo una concepción que ve a la ciencia y a la tecnología como sistemas de acciones humanas intencionales, desaparece toda duda sobre su neutralidad ética. Veamos cómo se pueden caracterizar desde este punto de vista.

Bajo esta concepción, la ciencia no se entiende únicamente como un conjunto de proposiciones o de teorías, ni la tecnología se entiende sólo como un conjunto de artefactos o de técnicas. La ciencia y la tecnología se entienden como constituidas por *sistemas de acciones intencionales*. Es decir, como sistemas que incluyen a los agentes que deliberadamente buscan ciertos *finés*, en función de determinados *intereses*, para lo cual ponen en juego *creencias, conocimientos, valores y normas*, y realizan acciones que de hecho producen resultados. Los intereses, las intenciones, los fines, los valores y las normas forman parte también de esos sistemas, y sí son susceptibles de una evaluación ética, lo mismo que los resultados que de hecho se producen y los medios utilizados para ello.

<b>Ciencia</b>	<b>y</b>	<b>tecnología</b>
<p>Sistema de acciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humanas (jamás automáticas sociales)</li> <li>- Regladas</li> <li>- Intencionales</li> <li>- Que usualmente transforman entidades (objetos, relaciones)</li> <li>- Con ayuda de instrumentos</li> <li>- Para conseguir CONOCIMIENTOS (objetivo central)</li> <li>- Resultados</li> <li>- Con potenciales aplicaciones</li> <li>- EL CONOCIMIENTO ES VALIOSO POR SÍ MISMO Y TAMBIÉN POR SUS POSIBLES APLICACIONES</li> <li>- Evitando riesgos y consecuencias desfavorables, así como medios reprobables</li> </ul>	<p><b>y</b></p>	<p>Sistemas de acciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Humanidades (automáticas sociales, etc.)</li> <li>- Regladas</li> <li>- Intencionales</li> <li>- Que necesariamente transforman entidades (objetos, relaciones) [OBJETIVO PRINCIPAL]</li> <li>- Con ayuda de instrumentos</li> <li>- Para conseguir (objetivos)</li> <li>- Resultados</li> <li>- Con base científica y aplicación (industrial, económica, social, política, cultural)</li> <li>- Valiosos</li> <li>- Evitando riesgos y consecuencias desfavorables</li> </ul>

Así, los sistemas científicos y los técnicos pueden ser condenables o loables, según los fines que se pretendan lograr mediante su aplicación, los resultados que de hecho produzcan, los medios que utilicen, y el tratamiento que den a las personas como agentes morales. Vistas de esta manera, entonces, la ciencia y la tecnología no son éticamente neutrales (cf. Olivé, 2000).

## LA REVOLUCIÓN TECNOCIENTÍFICA

Pero planteamos antes que en las últimas décadas del siglo xx irrumpieron nuevas prácticas de generación y aplicación de conocimiento, las *tecnocientíficas*, cuya importancia, en cuanto a los cambios en la formas de generar y usar el conocimiento, y con respecto a sus impactos sociales y ambientales, son tan intensos, que constituyen una auténtica revolución: la revolución tecnocientífica, de la cual la nanotecnología forma parte.

En efecto, como lo han sugerido ya muchos autores, lo novedoso en la segunda mitad del siglo xx fue el surgimiento de prácticas generadoras y transformadoras de conocimiento y de la realidad que no existían antes (Echeverría, 2003). En ellas se genera conocimiento, se transforma y, ahí mismo, en su seno, ese conocimiento se incorpora a otros productos, materiales o simbólicos, que tienen valor añadido por el hecho mismo de incorporar ese conocimiento. Dicho valor normalmente se debe a que los resultados de esas prácticas son útiles para mantener el poder económico, ideológico o militar (por ejemplo, técnicas de propaganda o de control de los medios de comunicación), o bien los resultados de esas prácticas tienen un valor que se realizará en el mercado.

El conocimiento y la técnica, en tanto que permiten transformar la realidad natural y social, han sido aprovechados por muchos grupos humanos para satisfacer sus necesidades, y también han sido puestos al servicio de quienes han detestado el poder político, económico y militar desde los principios de la humanidad. Eso no es ninguna novedad. Pero lo inédito es que las prácticas tecnocientíficas tienen una estructura distinta a las prácticas científicas y tecnológicas tradicionales, y varían también en su estructura axiológica, por lo que requieren de criterios de evaluación distintos a los usados para evaluar prácticas científicas y tecnológicas tradicionales. Esto tiene efectos importantes en las políticas de ciencia, tecnología e innovación.

Suele mencionarse al proyecto Manhattan (la construcción de la bomba atómica) como uno de los primeros grandes proyectos tecnocientíficos del siglo xx. Otros ejemplos paradigmáticos de tecnociencia hoy en día los encontramos en la investigación espacial, en la nuclear, en las redes satelitales y telemáticas, en la informática en general, en la biotecnología, en la genómica, en la proteómica, y ahora está moviéndose hacia el centro de gravedad la nanotecnología y los sistemas derivados de la convergencia bio-nano-cogno, que se refiere a la convergencia de las biotecnologías, con las nanociencias y las nanotecnologías, así como con las ciencias cognitivas y sus aplicaciones.

Los sistemas tecnocientíficos están conformados por grupos de científicos, de tecnólogos, de administradores y gestores, de empresarios e inversionistas y muchas veces de militares. Por esto, uno de los objetivos posibles que una red de nanociencia y nanotecnología podría plantearse en un país como México es la constitución de determinados sistemas tecnocientíficos, sistemas nanotecnocientíficos. Lo importante a discutir sería su estructura, quiénes participarían (individuos, instituciones, empre-

sas, agencias locales, estatales y federales), cuáles serían sus fines, qué medios se utilizarían y, además de evaluar todo esto, habría que estar vigilantes de los riesgos que generan y de sus resultados de hecho, por razones que se explican adelante.

## CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA AXIOLÓGICA DE LAS PRÁCTICAS EPISTÉMICAS

Los sistemas científicos y tecnológicos tradicionales conviven ahora con los sistemas tecnocientíficos, los cuales reciben actualmente la mayor parte del financiamiento dedicado a ciencia y tecnología y son los que tienen mayores efectos sociales y ambientales.

Esto ha trastocado los sistemas de valores en la producción y circulación del conocimiento. Así, han aparecido prácticas epistémicas en cuya estructura axiológica se encuentran valores económicos como la ganancia financiera, o valores militares y políticos como la ventaja para vencer y dominar a otros, junto con valores que ahora son considerados positivos por algunos —si redundan en un beneficio económico— y que afectan directamente el dominio epistémico, tales como la apropiación privada del conocimiento y, por tanto, el secreto y a veces hasta el plagio. Valores todos incompatibles y de hecho inconcebibles para la ciencia que el mundo occidental conoció como la preponderante entre los siglos XVII y mediados del XX, cuya normatividad fue muy bien capturada en el “*CUDEO*” mertoniano: comunismo, universalismo, desinterés y escepticismo organizado (Merton, 1942).<sup>4</sup>

Javier Echeverría, en el libro antes mencionado (2003), ha propuesto que en las prácticas tecnocientíficas suelen estar involucrados doce tipos de valores (aunque no toda práctica tecnocientífica satisface necesariamente los doce), a los cuales nosotros agregamos uno más, los valores éticos, haciendo una distinción entre moral y ética.

### Valores que suelen estar presentes y requerirse para evaluar sistemas tecnocientíficos

- Básicos
- Epistémicos
- Técnicos
- Económicos
- Militares
- Jurídicos
- Políticos
- Sociales
- Ecológicos
- Estéticos
- Religiosos
- Morales
- Éticos

---

<sup>4</sup> El *universalismo* debe entenderse como opuesto al personalismo. Las verdades científicas deben someterse a criterios impersonales, coherentes con los conocimientos previamente establecidos. El *comunismo* significa propiedad común de los bienes, en este caso del conocimiento científico. Los hallazgos de la ciencia son producto de la colaboración social que deben ser atribuidos y ser propiedad de la comunidad. El *escepticismo organizado* se refiere a la suspensión temporal del juicio y al escrutinio no comprometido de las creencias sobre criterios empíricos y lógicos. El *desinterés* es un elemento institucional básico, que no debe confundirse con motivos personales de los científicos. Entre las motivaciones se encuentran la pasión por el conocimiento, la curiosidad ociosa, las preocupaciones altruistas por el bien de la humanidad, pero el desinterés no debe entenderse como una motivación, sino como una característica de la institución de la ciencia, que tiene su origen en los imperativos epistemológicos y metodológicos de la producción y validación del conocimiento científico.

Por moral entenderemos la moral positiva, es decir, el conjunto de normas y valores morales de hecho aceptados por una comunidad para regular las relaciones entre sus miembros. Por ética entenderemos el conjunto mínimo de valores y de normas racionalmente aceptados por comunidades con diferentes morales positivas, que les permiten una convivencia armoniosa y pacífica, y que incluso puede ser cooperativa. El respeto a la diferencia, así como la tolerancia horizontal, por ejemplo, son valores éticos fundamentales. Desde esta perspectiva, la ética tiene por tarea proponer valores y normas para la convivencia entre grupos con morales diferentes.

Esta tabla no debe entenderse como una “jerarquía de valores”. No es que haya unos más importantes que otros en términos generales o absolutos. La tabla describe los subsistemas de valores que suelen estar presentes en los sistemas tecnocientíficos y que son necesarios para evaluarlos. Una cuestión importante al analizar y evaluar un sistema tecnocientífico particular es identificar los valores incluidos en él, y determinar si algunos están subordinados a otros. Por ejemplo, en muchos sistemas tecnocientíficos actuales, los valores epistémicos y técnicos están subordinados a valores económicos como la ganancia. O, en el ejemplo del Proyecto Manhattan, claramente los valores dominantes eran los militares. Es decir, en estos casos, se satisfacen valores epistémicos y técnicos, pues de otro modo no se lograría el fin principal; sin embargo, en esos sistemas lo más importante es que se realicen los valores económicos o militares, y los epistémicos y técnicos se deben lograr, al menos hasta cierto punto, para que se satisfagan aquéllos. Pero puede ocurrir también que ciertos valores no estén incluidos en un sistema tecnocientífico determinado, por ejemplo, ecológicos, pero que sean necesarios para evaluarlo, digamos porque su operación tiene consecuencias negativas en el ambiente.

## PROBLEMAS ÉTICOS DE LA TECNOCENCIA

El anterior es el contexto dentro del cual conviene plantear las preguntas acerca de los problemas éticos de la tecnociencia. En lo que sigue nos concentraremos en dos cuestiones: 1) cuál es una forma éticamente correcta de enfrentar los riesgos que generan los sistemas tecnocientíficos, por ejemplo, posibles daños a la salud, a la sociedad y al ambiente y, 2) cuáles son las responsabilidades de los científicos y tecnólogos que participan en esos sistemas y qué responsabilidades tienen las instituciones y las empresas.

Para analizar este tipo de problemas conviene subrayar que los agentes intencionales que forman parte de los sistemas tecnocientíficos tienen la capacidad de construir representaciones de la realidad sobre la cual desean intervenir. También tienen la capacidad de abstraer de la realidad ciertos aspectos que les *interesan*, y de construir *modelos y teorías* para explicarse esos aspectos de la realidad y para poder intervenir sobre ellos, para modificarlos o para manipularlos en función de ciertos *intereses*. Los seres humanos también asignan *valores* a estados de cosas en el mundo. Por ejemplo, pueden considerarlos como deseables o indeseables. La evaluación de un objeto, de una situación o de las consecuencias de un proceso, necesariamente se hace desde un cierto punto de vista, en función de valores, de normas y de intereses específicos.

Pero los diferentes grupos humanos, por lo general, actúan conforme a distintos valores y normas, por lo que es frecuente que se realicen juicios encontrados. Por ejemplo, los materiales de construcción que se obtienen mediante la explotación de un bosque, digamos la madera, pueden ser valiosos para un grupo humano. Si además

un grupo, una empresa, digamos, obtiene beneficios económicos de la explotación del bosque, también la juzgará valiosa. Pero si la explotación se realiza de forma irracional, de manera que se produce la deforestación de un valle, el proceso de tala puede ser juzgado indeseable por otros grupos. La sustitución de determinados cultivos con tecnologías tradicionales por otros con semillas modificadas genéticamente puede ser valiosa para ciertos sectores sociales, por ejemplo, por razones económicas, pero indeseable para otros grupos, digamos porque afecte de manera negativa e irreversible la riqueza de la biodiversidad o porque se trastornen prácticas culturales de alguna comunidad humana.

La confrontación de intereses y valores suele ser mucho más aguda en relación con la operación de los sistemas tecnocientíficos y en la evaluación de sus consecuencias. Un problema ético fundamental que se plantea en relación con la tecnociencia es el de si es posible lograr normas de convivencia armoniosa y de resolución pacífica de conflictos, dado que tales sistemas afectan a muy diversos grupos con intereses y valores diferentes. Veamos esto con respecto a los problemas de percepción y gestión del riesgo.

## TECNOCIENCIA Y RIESGO

Una de las características de los sistemas tecnocientíficos es que en virtud de su propia naturaleza producen en su entorno —social y ambiental— efectos a corto, mediano y largo plazo, muchos de los cuales son significativos para los seres humanos, y son imposibles de predecir en el momento de la puesta en funcionamiento del sistema (por ejemplo, la liberación al ambiente de un organismo genéticamente modificado, o la posibilidad de que nanoestructuras utilizadas para fines medicinales se alojen en determinados tejidos y afecten el funcionamiento de los órganos correspondientes). Esto significa que los sistemas tecnocientíficos generan situaciones de riesgo, de incertidumbre y muchas veces de ignorancia.

Una situación de riesgo es aquella en la que se pone en juego algo valioso para los seres humanos a partir de ciertas consecuencias posibles de la acción o de la operación de un cierto sistema, y pueden determinarse las probabilidades de que ocurra cada uno de los resultados. Una situación de riesgo es además de incertidumbre, si no hay manera de asignar las probabilidades con que pueden ocurrir sucesos que, sin embargo, se sabe que son posibles. Una situación es de ignorancia, si ni siquiera se conocen los sucesos posibles que pueden ocurrir como consecuencia de la aplicación de un sistema tecnocientífico.

El riesgo además tiene estas tres características:

- 1) Un riesgo surge en situaciones de elección, a partir de decisiones humanas de actuar, producir y utilizar algo, o de omitir acciones y dejar que pase algo.
- 2) Si se trata de daños que son el resultado de decisiones humanas, o por lo menos cuya ocurrencia ha sido posible en virtud de decisiones humanas, el riesgo lleva a la imputabilidad de alguna responsabilidad.
- 3) El riesgo involucra problemas de *justicia social*, pues en las sociedades contemporáneas los conflictos sociales sobre riesgos involucran problemas respecto a la compensación por los daños y sobre el reparto de bienes (cf. López Cerezo y Luján, 2000).

La identificación, estimación, valoración, aceptabilidad y gestión del riesgo, necesariamente dependen de valores. Aunque no todos los valores involucrados son de tipo ético (Echeverría, 2002), existe un problema ético en las formas de enfrentar los problemas del riesgo que generan los sistemas tecnocientíficos, pues la información y el conocimiento pertinentes para la identificación, estimación y gestión del riesgo siempre dependen de un contexto, de la posición de quienes evalúan, de sus fines, intereses y valores. Por consiguiente, sus posiciones pueden ser muy diversas. El problema ético fundamental es cómo acordar cursos de acción sobre un conjunto de normas y valores aceptados por todos en común, aunque sus intereses sean distintos; es decir, normas y valores éticos para resolver problemas del manejo del riesgo.

La situación se complica más aún, pues es inherente a la naturaleza de los sistemas técnicos y su relación con el entorno, así como al conocimiento humano, que las consecuencias de sus aplicaciones no puedan delimitarse de una manera única, que sería la única correcta. La razón es que en el mundo en el que vivimos no existe —ni puede existir— unanimidad acerca de los valores, ni tampoco se comparte una misma visión sobre lo que es importante y lo que se debe hacer. Esto hace que en situaciones de riesgo las consecuencias serán juzgadas como favorables o desfavorables en función de los distintos sistemas de intereses y de valores. Las actuales controversias científicas y sociales sobre transgénicos claramente ilustran esto.

En materia de nano y nanobiotecnología existe un alto nivel de incertidumbre y de ignorancia generada de manera estructural por los sistemas que surgen y surgirán al insertarse los productos nano en la sociedad y en el ambiente. Por esto, deben preverse mecanismos sociales de evaluación y gestión del riesgo sobre cada sistema específico (evaluación caso por caso). Pero ante la diversidad de intereses y valores que necesariamente se enfrentarán, surge la necesidad de las normas éticas con base en las cuales deberían dirimirse las diferencias y llegar a acuerdos para gestionar los riesgos y, en su caso, tomar decisiones y realizar acciones que eviten o mitiguen daños.

En cuestiones de riesgo la situación también se complica porque las percepciones del riesgo están íntimamente ligadas a la forma como los seres humanos, desde diferentes posiciones, comprenden los posibles fenómenos que constituyen peligros o amenazas, y lo mismo ocurre con la evaluación de los daños, cuando llegan a suceder. De aquí se desprende que no hay una única comprensión correcta del riesgo, como tampoco hay una única y correcta manera de estimar el riesgo.

Por lo anterior, cuando se trata de evaluar los riesgos sociales y ambientales de la aplicación de sistemas tecnocientíficos, lo éticamente correcto es que participen representantes de diferentes grupos humanos con puntos de vista distintos y que pueden hacer diferentes aportaciones al problema. Por eso deben participar científicos naturales, científicos sociales, tecnólogos, humanistas, trabajadores de la comunicación, empresarios, políticos y los ciudadanos y todas las personas cuyas vidas pueden ser afectadas. Esto no significa desconocer que diferentes sectores de la sociedad, y diferentes miembros dentro de esos distintos sectores, los especialistas en diversas disciplinas, por ejemplo, tienen un acceso diferenciado a la información pertinente, al saber especializado, y a ciertos recursos necesarios para conocer y evaluar las consecuencias de un sistema tecnocientífico. Pero sí quiere decir que cuando se trata de evaluar resultados y decidir acciones en torno a esos sistemas que afectan a la sociedad o al ambiente, la visión y las conclusiones de cada sector serán necesari-

riamente incompletas, y ninguno tiene un privilegio que justifique su participación a costa de excluir otros sectores que pueden aportar puntos de vista valiosos y pertinentes.

La identificación, evaluación y propuestas de gestión del riesgo depende de esos sistemas de valores, y puesto que no existe ningún sistema privilegiado por encima de los demás, entonces no hay una única manera correcta de identificar los riesgos, ni una única estimación acertada, ni una única valoración que sea la única justa. Por lo tanto, tampoco es posible una única visión sobre la gestión del riesgo que sea la única correcta y éticamente aceptable. En cuestión de identificación y evaluación de riesgos puede haber diferentes puntos de vista tan legítimos unos como otros. No se trata de una visión relativista que sostenga que cualquier punto de vista es tan bueno como cualquier otro. Se trata más bien de una concepción pluralista que sostiene que no existe un único punto de vista que sea el único correcto, y que por tanto, lo correcto desde un punto de vista ético es prever mecanismos de vigilancia y de toma de decisiones donde haya genuina representación de los diferentes puntos de vista involucrados.

La pluralidad exige que para encontrar una solución justa, la toma de decisiones resulte de un amplio proceso dialógico, donde se intercambie información, se propongan y se rebatan con razones los métodos a seguir y, finalmente, se ventilen abiertamente los intereses, fines y valores de todos los involucrados y afectados por los riesgos en cuestión y por las formas propuestas para evaluarlos y gestionarlos, para intentar atenuarlos o para compensar los daños, buscando alcanzar acuerdos aceptables para las diversas partes. Es decir, se requiere un conjunto de normas éticamente justificables, que animen y regulen la participación pública en el proceso de la identificación, la evaluación y la gestión del riesgo generado por los sistemas tecnocientíficos.

De lo anterior, podemos concluir que el principal desafío en materia de nanobioseguridad consiste en diseñar los mecanismos que aseguren la participación de expertos, de agentes económicos, de los diferentes sectores sociales y de ciudadanos afectados, en las discusiones y toma de decisiones. Así, la importancia de la nano-bioética consiste en gran medida en fortalecer las actitudes éticas y los mecanismos para dirimir conflictos con base en un conjunto mínimo de normas éticas de convivencia que sean resultado de acuerdos entre los grupos interesados.

Sin embargo, la construcción y operación efectiva de tales mecanismos sociales para la vigilancia del riesgo de la operación de sistemas nanotecnocientíficos, que permitan en su caso tomar decisiones éticamente correctas, es un problema social y sobre todo político, pues debe desprenderse de la toma de decisiones políticas en materia de seguridad, específicamente en este caso de nanobioseguridad.

El caso de Mario Molina que comentamos antes ofrece pistas para pensar en tales sistemas sociales de vigilancia de riesgos, pues implica formas de monitoreo sobre posibles efectos, al menos una vez que se reconoce que tales posibilidades existen, pero también estar pendientes del surgimiento de sucesos no previstos al diseñar y al iniciar la aplicación de un sistema tecnocientífico, así como su articulación con mecanismos sociales y políticos de toma de decisiones para actuar frente a los riesgos en caso de que se materialicen.

## CONCLUSIÓN: DEBERES DE LOS CIENTÍFICOS, LOS TECNÓLOGOS, LOS TECNOCIENTÍFICOS, DE LAS INSTITUCIONES, LAS EMPRESAS Y DE LOS CIUDADANOS

De lo propuesto hasta aquí se pueden concluir algunos deberes para los científicos, tecnólogos y tecnocientíficos, para las instituciones de investigación y de educación superior, para las empresas y organizaciones involucradas en los sistemas tecnocientíficos, así como para los ciudadanos.

Los científicos deben ser conscientes de las responsabilidades que adquieren en función de los temas que eligen para investigar, de las posibles consecuencias de su trabajo, y de los medios que escogen para obtener sus fines. En particular, deben estar conscientes de que su carácter de expertos los coloca en situaciones de responsabilidad, pues sobre determinados problemas en gran medida la sociedad depende de sus opiniones autorizadas.

Los tecnólogos y tecnocientíficos deben ser conscientes de la necesidad de evaluar los sistemas que diseñan y aplican, no sólo en términos de factibilidad, eficacia, eficiencia y fiabilidad, sino hasta donde sea posible en términos de las consecuencias en los sistemas naturales y sociales que serán impactados.

Como nunca se podrán conocer todas las consecuencias, los científicos y tecnólogos deben ser transparentes ante el público acerca de qué saben y qué no saben con respecto a sus posibles consecuencias. Pero, además, los científicos, tecnólogos y tecnocientíficos deben tener conciencia de la necesidad de evaluar los fines que se proponen alcanzar con un sistema tecnocientífico particular, y deben estar en condiciones de sostener racionalmente por qué es correcto obtener esos fines, así como por qué es válido usar los medios que utilizan.

Científicos, tecnólogos y tecnocientíficos deben tener claro que los fines que se persiguen suelen estar ligados a estilos de vida específicos y pueden modificar muchas formas de vida socialmente significativas. Por eso, también los científicos, los tecnólogos y los tecnocientíficos deberían estar en condiciones de explicar por qué es lícito desear los estilos de vida que van asociados con los fines que se proponen y con los resultados de las aplicaciones de sus logros.

Pero éstas son discusiones humanísticas y para enfrentarlas adecuadamente se requiere hacerlas conjuntamente mediante equipos interdisciplinarios con representantes de las ciencias naturales, las tecnologías, las humanidades y las ciencias sociales.

De aquí se desprende una obligación para las instituciones educativas encargadas de la formación de científicos, tecnólogos y tecnocientíficos: es necesario reforzar una formación que promueva la participación conjunta en equipos que aborden, por ejemplo, los problemas éticos que plantea el diseño y la operación de sistemas tecnocientíficos específicos.

Los ciudadanos en general también tienen responsabilidades en la evaluación de los sistemas tecnológicos, en su aceptación y propagación, especialmente por el tipo de consecuencias sociales y ambientales. Por eso tienen el deber de informarse adecuadamente sobre la naturaleza de tales sistemas, acerca de qué se sabe y qué no con respecto a las consecuencias de medidas tecnocientíficas, y participar en las controversias que permiten establecer acuerdos entre diferentes grupos de interés para tomar decisiones que afectan a grupos o a sociedades enteras.

Las instituciones encargadas de la investigación y educación científico-tecnológica, así como las empresas que desarrollan y aplican los sistemas tecnocientíficos, tienen el deber de difundir una imagen accesible y fidedigna de la ciencia, de la tecnología y de la tecnociencia, así como de resultados específicos que se esperan de sistemas tecnocientíficos particulares, de los riesgos previstos, de lo que hasta el momento se sabe de manera confiable con respecto a los posibles impactos, y de las formas en que pueden vigilarse.

Los humanistas y científicos sociales también deben nutrirse de esta información, para ser capaces de participar en los grupos inter y transdisciplinarios que, en general, ofrezcan reflexiones sobre la importancia y el valor humanístico, social y cultural de la ciencia, de la tecnología y de la tecnociencia, de sus ventajas y de sus riesgos, así como evaluaciones específicas de sistemas tecnocientíficos particulares.

La manera ética y políticamente más aceptable de enfrentar los desafíos en materia de nano-bioseguridad es establecer los mecanismos que aseguren la amplia participación de expertos de todas las disciplinas científicas (incluyendo las sociales), tecnológicas y humanísticas, de los diferentes sectores sociales interesados y de ciudadanos afectados, en las discusiones y toma de decisiones sobre la amplia variedad de problemas que habrán de suscitarse en el futuro y que nadie tiene la posibilidad de prever hoy.

## BIBLIOGRAFÍA

- Echeverría, Javier. (2002). *Ciencia y valores*, Barcelona: Destino.
- \_\_\_\_\_. (2003). *La revolución tecnocientífica*, Madrid: FCE.
- López Cerezo, José A. y José Luis Luján. (2000). *Ciencia y política del riesgo*, Madrid: Alianza Editorial.
- Merton, Robert K. (1942). "The normative structure of science" (publicado originalmente como "Science and technology in a democratic order"). *The Sociology of Science*, Chicago: Chicago University Press, 1973: 267-278.
- Olivé, León. (2000). *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y la tecnología*, México: Paidós.
- \_\_\_\_\_. (2007). *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología*, México: FCE.
- Quintanilla, Miguel Ángel. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, México: FCE.

# Nanotecnología; un nuevo futuro para los investigadores y una mina de oro para inversionistas y empresarios mexicanos

MILTON JORGE\*

*Los imposibles de hoy serán posibles mañana.*  
Konstantin Tsiolokovsky (1857-1937), científico espacial ruso.

**RESUMEN.** Este artículo explica la situación, retos y oportunidades que la nanotecnología ofrece a los empresarios en diferentes industrias productivas. Empezaremos analizando la situación de la nanotecnología en el mundo y su estatus comercial en México. El artículo continúa señalando un grupo de factores que influyen en las decisiones de inversión en nanotecnología. Finalmente, se comenta un modelo-solución, cuya dinámica posibilita la competitividad de los productos en el mercado, a través de asociaciones y convenios con nano científicos y grupos satélite de soporte profesional multidisciplinario, enfocados a asegurar temas de dominio de patentes, contratos de licenciamiento y retornos de inversión.

## DEFINICIÓN Y MISIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

John C. Miller, vicepresidente de Arrowhead Research y coautor del libro *The handbook of nanotechnology* (Miller *et al.*, 2004), define nanotecnología como la manipulación de la materia a nivel atómico, molecular o macromolecular, a escala de 1–100 nanómetros. En su libro, concluye que la nanotecnología está generando conocimiento fundamental de los fenómenos de la materia y permitiendo crear nuevos materiales para desarrollar estructuras, dispositivos y sistemas con propiedades y funciones nunca antes imaginadas. Por ejemplo, óxidos metálicos a nivel nanoescala, los cuales permiten mejorar los poderes catalíticos de convertidores ambientales, recubrimientos con nanopartículas auto repelentes para autolimpieza de superficies diversas o cerámicas mejoradas para resistir condiciones térmicas y mecánicas extremas.

---

\* Milton Jorge, fundador de la firma del mismo nombre, es economista y posee una maestría en mercadotecnia así como varios diplomados en planeación estratégica y estrategia de mercado. Ha trabajado en la industria de la salud por más de siete años, generando experiencia en la identificación, diseño e implementación de programas de educación estratégica para diferentes instituciones de referencia públicas y privadas en México. Asimismo, ha desarrollado y ejecutado exitosamente planes de negocio para la adquisición, distribución y comercialización de biotecnología diagnóstica in-vitro / in-vivo de compañías internacionales como Siemens, Beckman Coulter, J&J, Applied Biosystems, Grifols, entre otras. Con una extensa red de contactos internacionales y nacionales, ha integrado equipos de trabajo para el diseño de nuevos productos y servicios para la industria de la salud en México.

## LA NANOTECNOLOGÍA YA ESTÁ EN MUCHAS INDUSTRIAS Y CREANDO VENTAJA COMPETITIVA PARA LAS EMPRESAS

Sin duda, la manipulación y reorganización de la materia a precisión atómica abre un número inimaginable de soluciones para los retos más importantes que enfrentan nuestras sociedades. Por ejemplo, en el sector energético, agrícola y medio ambiente, países como China, Rusia, Alemania o Estados Unidos están investigando y desarrollando nanocatalizadores para la generación de hidrógeno, los cuales permiten mejorar la producción, conversión y almacenamiento de energía, así como nanomagnetos para remover contaminantes de la tierra. En la industria de la construcción, se está invirtiendo tiempo en investigación para aumentar las propiedades funcionales de los materiales a través de nanoestructuras moleculares para robustecer materiales como el asfalto y el concreto, entre otros. Por otro lado, el cuidado del medio ambiente también se verá favorecido por la nanotecnología. Por ejemplo, Israel está invirtiendo millones de dólares en investigación para el desarrollo de nanomembranas purificadoras, que permitan en un futuro la remediación y tratamiento del agua de una manera más eficiente y económica. Finalmente, nanosensores y nanocápsulas liberadoras de drogas terapéuticas están siendo diseñadas para incrementar la precisión diagnóstica y tratamiento clínico de pacientes con cáncer o enfermedades inmunológicas adquiridas. En general, éstas y otras investigaciones nanotecnológicas, aunque ya presentan grandes avances en sus fases de investigación y desarrollo, existen todavía áreas de investigación que requerirán tiempo e inversión para migrarlos a la fase de comercialización. Esto representa una gran oportunidad para el inversionista mexicano, pues la inexistencia de condiciones para la comercialización de la nanotecnología en México precisa definir las condiciones comerciales, alianzas estratégicas y canales de distribución de las nuevas soluciones tecnológicas que impactarán de manera importante las esferas políticas y económicas de nuestro orden social.

## LA PENETRACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL MERCADO

Aunque pareciera que la penetración de nanotecnología es mínima, compañías importantes de productos de uso diario como Adidas, Chanel y BMW están actualmente innovando a través de nanotecnología. De acuerdo con PEN -the *Project on Emerging Nanotechnologies*,<sup>1</sup> existen hasta la fecha 807 nanoproductos a nivel mundial, los cuales son producidos por 464 compañías localizadas en 21 países diferentes. Estos productos van desde baterías, purificadores de aire, cámaras fotográficas, computadoras, televisiones, hasta cremas cosméticas y productos antibacteriales para mascotas. Uno de los productos interesantes y novedosos, es la pintura antigrafiti desarrollada por el Dr. Víctor Castaño Meneses, director del Centro de Física y Tecnología Avanzada de la UNAM. Esta nanoaplicación ha sido patentada para su comercialización por la compañía de pinturas mexicana COMEX, permitiendo seguir ofreciendo soluciones que superan las expectativas de sus clientes y posibilidades de la competencia.

---

<sup>1</sup> [www.nanotechproject.org/](http://www.nanotechproject.org/).

De acuerdo con PEN, la cantidad de nanoproductos ha crecido en un 279% en los últimos dos años, incrementando el portafolio de nanoproductos de 212 a 813. Por otro lado, Lux Research proyecta que para el 2015, el 15% de los productos manufacturados en el mundo incorporarán avances a nivel nanoescala, lo que representará ventas de por unos 3 mil millones de dólares. Ambos análisis sugieren a la nanotecnología como herramienta tecnológica atractiva, permitiendo a las compañías mejorar y asegurar competitividad en el mercado a través de estrategias de innovación y diferenciación de sus productos.

## LA NANOTECNOLOGÍA SE VERÁ BENEFICIADA POR LAS ACCIONES DEL GOBIERNO AL 2030

En el 2007, el gobierno federal organizó un ejercicio de reflexión y prospectiva llamado Visión México 2030. En él se llevaron a cabo 14 análisis temáticos, abordando, entre otros temas, el desarrollo en ciencia y tecnología (cyt). En particular, el análisis sobre cyt concluyó en la definición de una serie de acciones de corto y mediano plazo. De ellas, resaltan cinco acciones estructurales:

- Primero, mejorar la relación del gasto de inversión en cyt con respecto al PIB.
- Segundo, incrementar el empleo a través de la cyt, así como el valor neto de las exportaciones.
- Tercero, incrementar el número y uso de patentes, así como el número de publicaciones científicas a nivel internacional.
- Cuarto, procurar la generación de una reforma educativa para incrementar el número de investigadores y,
- Quinto, asegurar reglas e incentivos que vinculen la ciencia con el empresariado mexicano.

Estas acciones representarán grandes oportunidades para la nanotecnología y el empresariado mexicano ya que, aunque la posición de México a nivel mundial es aceptable, existen grandes áreas de oportunidad alrededor de la comercialización de nanoproductos. De acuerdo con el Dr. Gian Carlo Delgado Ramos (2008), investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, México ocupa la posición 70 en cuanto a publicaciones entre los primeros 100 centros de investigación de nanotecnología del mundo.

Esta posición es resultado de varios esfuerzos. Por ejemplo, la calidad en la investigación y aportaciones a la ciencia representan variables de crédito a las instituciones de investigación. Un ejemplo de calidad y productividad es representado por el Dr. Mauricio Terrones, investigador del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), quien en un estudio publicado en el 2008 por *Physical Status Solodi B*, ha sido considerado dentro de los 10 científicos más productivos y con más publicaciones científicas enfocados a la investigación de nanotubos en el mundo (Werner y Andreas, 2008).

## MÉXICO INVIERTE EN NANOTECNOLOGÍA Y SE POSICIONA COMO HERRAMIENTA PARA INNOVAR

Otro factor importante es el presupuesto asignado a nanotecnología, el cual, de acuerdo con el reporte de nanotecnología de la Secretaría de Economía, en el periodo 1998-2004 se invirtió un total aproximado de 14.4 millones de dólares, el cual se distribuyó entre 152 proyectos de investigación administrados por 58 institutos. El 53% del presupuesto se asignó a investigación de nanomateriales, 14% a química, 14% a electrónica, 12% a física y 7 % a otros (Werner y Andreas, 2008). Por otro lado, en el 2008, México reportó 449 investigadores, 157 laboratorios, 17 plantas piloto y 340 líneas de investigación (SE-CIMAV, 2008).

Asimismo, el reporte logra sintetizar los resultados de la encuesta sectorial realizada a 94 empresas con potencial nanotecnológico, siendo el 64% grande empresa, el 20% mediana, 12% pequeña y 4 % microempresa. Por ejemplo, el 59% de estas empresas no conoce el tema o tiene un conocimiento incipiente acerca de la nanotecnología. Además, señala que, en general, las empresas no tienen acceso a laboratorios y plantas piloto equipadas para realizar proyectos de investigación en nanotecnología. Del mismo modo, el reporte identifica oportunidades comerciales alrededor de nano aplicaciones capaces de incrementar el poder antibactericida, cubriente, catalizador y de resistencia de productos en sectores como el de la salud, anticorrosivos, purificadores ambientales y productos expuestos al medio ambiente.

También identifica la creciente tendencia a requerir nanopartículas inorgánicas, desarrollo de nanotubos y metales para nanobiotecnología, diseño de software para simulación y diseño de nanomateriales, y consultoría de procesos y nanoproducción.

Finalmente, la encuesta permite dimensionar el posicionamiento y percepción de la nanotecnología como una oportunidad para diferenciar productos en el mercado, ya que sólo el 16% de los encuestados reportaron que la nueva nanosolución sería utilizada para nuevos productos, mientras que el 84% restante utilizaría la nueva técnica para mejorar los productos actuales.

## LAS OPORTUNIDADES Y ACCIONES PARA INVERTIR EXITOSAMENTE EN NANOTECNOLOGÍA

En entrevistas con varios funcionarios, científicos y empresarios de México, se identificaron 9 hechos que afectan la comercialización de nano productos en nuestro país.<sup>2</sup>

- Los esquemas de financiamiento público para proyectos de investigación y desarrollo científicos se perciben complejos, burocráticos y politizados.
- La inversión privada se considera altamente condicionada y requiere de tiempo, habilidad estratégica y recursos económicos para lograr el financiamiento deseado.
- El desarrollo científico está monopolizado y altamente condicionado por el gobierno, ya que la mayoría de los centros de investigación son propiedad del Es-

---

<sup>2</sup> Entrevistas personales realizadas por Milton Jorge International, noviembre 2008 - mayo 2009.

tado y carecen de modelos de incubación que incentiven la colaboración con la industria privada.

- La ley del trabajo limita considerablemente la asociación comercial entre científicos y empresariado mexicano, limitando la difusión, promoción e inversión privada en proyectos científicos.
- La falta de una iniciativa nacional sobre nanotecnología limita la alineación entre la comunidad científica, política y empresarial en México.
- Aunque ya son varios los grupos de nano tecnólogos, la red de nano laboratorios sigue fragmentada.
- La alta desarticulación de las instituciones de ciencia con el empresariado mexicano se refleja en el número de productos o soluciones con muy baja viabilidad comercial. En muchos de los casos, no hay una estructura de investigación de mercado que soporte los esfuerzos de científicos e investigadores en la definición estratégica de precios, licenciamientos, canales de distribución, alianzas estratégicas, compensaciones y retornos de inversión.
- Finalmente, el desconocimiento de los inversionistas acerca del impacto de la nanotecnología en el mercado es enorme. Existe una nebulosa visión mexicana empresarial sobre el impacto de la nanotecnología en sus industrias y la oportunidad de negocio asociada.

## **PARA NUEVOS PROBLEMAS, NUEVAS SOLUCIONES, HERRAMIENTAS Y MODELOS DE COLABORACIÓN**

En general, los nueve factores arriba señalados son altamente dependientes de variables económicas, políticas, organizacionales y de la educación.<sup>3</sup> La identificación de soluciones a estos problemas ya ha sido expuesta por la Secretaría de Economía, la cual recomienda 12 soluciones estructurales para mejorar el desarrollo de la nanotecnología en México:

- 1) Definición de un programa o iniciativa nacional de nanotecnología.
- 2) Incrementar la colaboración entre los diferentes grupos de investigación.
- 3) Incrementar el presupuesto asignado a la investigación nanocientífica.
- 4) Implementación de un modelo de transferencia de conocimiento a la sociedad.
- 5) Incrementar el interés de la sociedad por la ciencia.
- 6) Disminuir la dependencia de tecnología extranjera.
- 7) Incrementar el poder de inversión de la MYPIMES para nuevas tecnologías.
- 8) Incrementar la cultura empresarial sobre inversiones de riesgo.
- 9) Incrementar la confianza empresarial hacia desarrollos mexicanos.
- 10) Incrementar la adquisición de equipo científico de vanguardia y de plantas piloto.

---

<sup>3</sup> Por ejemplo, las estructuras limitadas de las cámaras de comercio pueden llegar a desacelerar proyectos de gran potencial económico. Otras variables se refieren al bajo conocimiento del empresario para comercializar nuevas tecnologías; la lentitud de los programas en las universidades incapaces de incorporar nuevas materias que reflejen las oportunidades del mercado; factores culturales como la alta aversión al riesgo en la cultura empresarial mexicana y bajos incentivos al riesgo por experimentar. Todos éstos son factores que limitan la comercialización de nuevas tecnologías en nuestro país.

- 11) Incrementar el conocimiento de los programas y apoyos gubernamentales orientados a la investigación y el desarrollo.
- 12) Eliminación de tramitología y burocracia pesada.

Aunque las oportunidades están identificadas, es indispensable que se trabajen a través de la colaboración y cooperación de grupos multidisciplinarios, logrando, entre otros retos la alineación con organizaciones gubernamentales como la Secretaría de Economía, que por el momento presenta una peligrosa desarticulación con la nanotecnología mexicana.

Por ejemplo, Milton Jorge International, firma de consultoría enfocada a la aceleración de la adopción de soluciones nanomoleculares, propone la interrelación interdisciplinaria de tres grupos de profesionales con habilidades diferentes pero complementarias.

Un primer grupo multidisciplinario compuesto por científicos, tales como biomédicos, ingenieros, biólogos, químicos y físicos, enfocados a la investigación, desarrollo y nanoproductión. El segundo grupo multidisciplinario enfocado a la comercialización y mercadeo capaz de asegurar estrategias de mercado ganadoras, gestión de fondeo público y privado, así como representación legal que aseguren la propiedad intelectual y licenciamiento para los intereses de los inversionistas, investigadores y desarrolladores de negocio. Finalmente, el tercer grupo multidisciplinario debe incorporar legisladores, filósofos, economistas, sociólogos y ambientalistas, cuya colaboración asegure la legalidad, ética y beneficio social de los nuevos nanoproductos a comercializar.

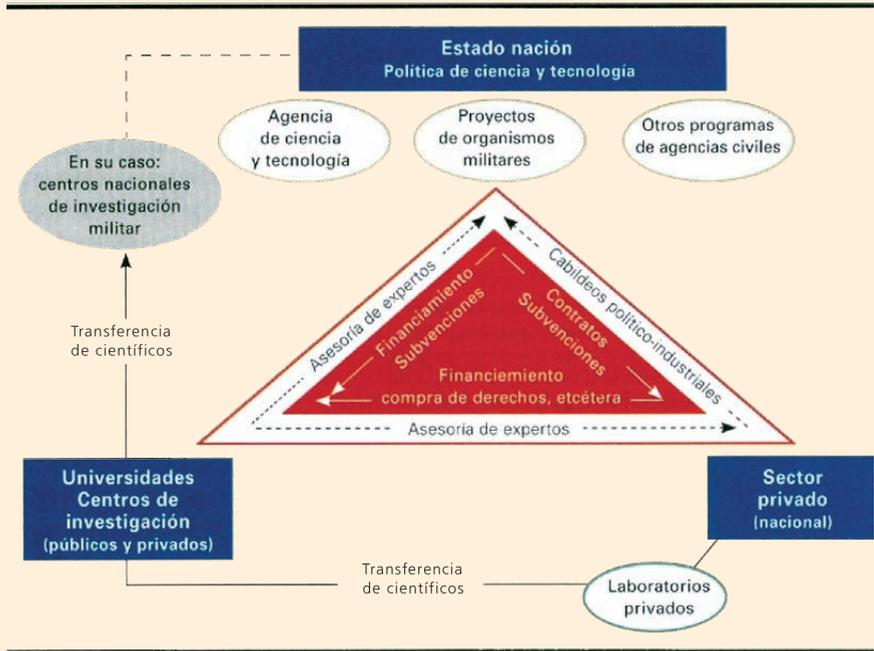
## **LA COOPERACIÓN E INTEGRACIÓN DE EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS ALREDEDOR DE LA NANOTECNOLOGÍA ES INDISPENSABLE**

Peter Senge, director del Centro de Aprendizaje del MIT, menciona en su libro *The necessary revolution* (Senge et al., 2008), la importancia de la colaboración como un elemento indispensable para superar los retos futuros de nuestras comunidades. Similar, pero desde otra perspectiva, Ken Wilber (2000), neofilósofo integralista, sugiere la integración entre múltiples sistemas sociales y económicos incorporando nuevas visiones de nuestra relación con el universo. El mismo Dalai Lama (2005) sugiere, desde una plataforma filosófica diferente, un nuevo modelo de negocio cuya base sea la cooperación y no la competencia. Estas tres posturas convergen en la cooperación integral como un modelo de negocio capaz de resolver los grandes problemas económicos y sociales de nuestra sociedad actual.

Al igual que Senge, Wilber y el Dalai Lama proponen que la nanotecnología requiere de un esquema organizacional de cooperación multidisciplinaria, el modelo de vinculación de “red industrial” diseñado por Delgado Ramos (2007), enfatiza en la cooperación inter/multidisciplinaria a través de la *macro interrelación* entre universidades (públicas y privadas) con el gobierno y el sector privado. El modelo subraya la transferencia de conocimiento a las entidades gubernamentales e instituciones privadas, asistido por un grupo de asesores expertos en materias como financiamiento, licenciamiento y cabildeo político e industrial.

Un ejemplo de la aplicación de este modelo de vinculación es el laboratorio de nanosalud (Nanohealth) localizado en Wales, Reino Unido. Este centro de investigación

PRINCIPALES VÍNCULOS DE LA RED INDUSTRIAL



Fuente: Delgado Ramos, Gian Carlo (2007).

y nanomedicina aplicada, proveerá a la región y al resto del país con la infraestructura adecuada para facilitar el nivel de inversión privada para desarrollar nuevas tecnologías en el área de nanomedicina. El total de la inversión y fondeo fue de 21.6 millones de euros; 10 millones por el ministerio de economía de Wales, 7.6 de la universidad de Swansea y 2.5 millones por parte de la industria privada. El centro estará asistiendo aproximadamente a 400 compañías, de las cuales más de 300 son consideradas pequeñas y medianas empresas. Leuen Wyn Jones, primer ministro de Wales, justifica la inversión pues se espera que cree más de 450 empleos en los próximos 5 años y ayude a las compañías británicas a ser más competitivas, productivas y eficientes a través del surgimiento de nuevos productos y procesos<sup>4</sup>.

En el mismo segmento pero en México, el Dr. Nikola Batina, director del Laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Iztapalapa, está trabajando junto con su equipo, en cuatro proyectos de nanomedicina de gran impacto social. Estas líneas de investigación están orientadas a mejorar el diagnóstico y tratamiento del cáncer de mama y cervicouterino, así como arteriosclerosis y cálculo renal.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> [www.medicalnewstoday.com/articles/139042.php](http://www.medicalnewstoday.com/articles/139042.php).

<sup>5</sup> [www.nikolabatina.com](http://www.nikolabatina.com).

## CONCLUSIONES

La nanotecnología está generando conocimiento de los fenómenos de la materia, permitiendo crear nuevos materiales para desarrollar estructuras, dispositivos y sistemas con propiedades y funciones nunca antes imaginadas. Los países desarrollados están utilizando, invirtiendo, investigando y desarrollando las nanotecnologías con el fin de solucionar algunos de los problemas más importantes de sus sociedades.<sup>6</sup>

Por otro lado, la nanotecnología está siendo percibida como la herramienta tecnológica que permitirá mejorar y asegurar competitividad a través de innovación en productos. Sin embargo, existen retos importantes alrededor de la propiedad intelectual, patentes y comercialización de los nanoproductos en México.

Asimismo, el empresario requiere entender el mercado potencial de la nanotecnología, así como su dinámica y condiciones alrededor de su comercialización. Es primordial empapar a los empresarios mexicanos y por tanto a científicos, tecnólogos e ingenieros, alrededor de temas regulatorios y registros, de política fiscal, de valor y viabilidad de mercado, de licenciamientos y demás regulaciones, financiamiento, alianzas estratégicas y estrategias de comercialización. Adicionalmente, es imperativo construir redes de profesionales que aseguren la propiedad intelectual y derechos de comercialización de nanoproductos, así como investigadores que ayuden a dimensionar el impacto que puede tener el uso de esta tecnología en nuestra sociedad.

Una solución es la cooperación e integración de equipos multi/interdisciplinarios enfocados a asegurar la visión de científicos e inversión de los empresarios en proyectos de innovación competitiva basados en nanotecnología. Lograr la articulación de la nanociencia y nanotecnología con la industria mexicana representará en los próximos años la plataforma necesaria para la diferenciación y competitividad de los productos mexicanos en el mercado global del siglo XXI.

## ACERCA DE MILTON JORGE INTERNATIONAL<sup>7</sup>

Milton Jorge International es una firma-boutique de consultoría en inteligencia y estrategia de mercado, enfocada en acelerar la adopción de soluciones nanomoleculares para la industria de la salud, energía y agro en México y América Latina. Ayudamos a la industria de la salud, energía y alimentos, en su proceso de integración con fabricantes, distribuidores, inversionistas y organizaciones públicas y privadas en la identificación de proyectos nanotecnológicos de alto impacto socioeconómico, así como en el diseño de estrategias que permitan la adopción e implementación de soluciones nanomoleculares de manera rentable y socialmente responsable.

Actualmente, Milton Jorge International colabora con IVAM (Alemania) y el Institute of Nanotechnology (Reino Unido), ambas organizaciones internacionales de educación, entrenamiento y estrategia de mercados, enfocadas a acelerar la adopción de soluciones micro y nanotecnológicas en las diferentes industrias productivas a nivel mundial.

---

<sup>6</sup> Se puede mencionar el caso de nanocatalizadores para la generación de hidrógeno, nanomagnetos para remover contaminantes de la tierra, nanomembranas para purificación y desalinización del agua, nanosensores para diagnóstico de enfermedades, nanocápsulas liberadoras de drogas terapéuticas y nanoestructuras moleculares para robustecer asfalto y concreto, entre otros ejemplos.

<sup>7</sup> Para mayor información: [mj@miltonjorge.com](mailto:mj@miltonjorge.com).  
[www.miltonjorge.com](http://www.miltonjorge.com).

## BIBLIOGRAFÍA

- Dalai Lama. (2005). *The universe in a single atom: The convergence of science and spirituality*. Broadway Books, EUA.
- Delgado, Ramos Gian Carlo. (2007). "El paradigma económico de la nanotecnología", *Comercio Exterior*, vol. 57, núm. 7. México, julio.
- \_\_\_\_\_. (2008). *Guerra por lo Invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CEIICH-UNAM, México.
- SE-CIMAV. (2008). *Diagnóstico y prospectiva de La nanotecnología en México*, Secretaría de Economía, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (Cimav), México, febrero.
- Senge, Peter *et al.* (2008). *The necessary revolution: How individuals and organizations are working together to create a sustainable world*. Random House. EUA,
- Werner, Marx, y Barth Andreas. (2008). "Carbon nanotubes – A scientometric study". *JournalPhysical Status Solodi B*; 8 de septiembre *phys.stat.sol.* (b) 245, núm. 10(2008): 2349.
- Wilber, Ken. (2000). *A brief history of everything*. Shambala. Boston, EUA.

## ¿Hacia una nanotecnología dislocada del conocimiento de lo social? Retos de la interdisciplina en nanociencia

JOSÉ A. AMOZURRUTIA\*

### INTRODUCCIÓN

En el título de mi trabajo<sup>1</sup> incluyo explícitamente el término *nanotecnología dislocada* porque veo en ella un desarrollo restringido que tiene todas las trazas para seguir distanciada de las necesidades de un México real, situación que hago extensiva a las necesidades de un mundo real. No veo en ella un desarrollo científico equilibrado y verdaderamente multidimensional con el cual se acople de forma integral a un desarrollo de conocimiento y su puesta en práctica en problemas esenciales. Si bien ciencia y tecnología hoy se confunden y se reconfiguran como tecnociencia y en el mejor de los casos, dentro de una posible *ciencia posnormal*,<sup>2</sup> considero que es la actividad interdisciplinaria el sentido que debe *reformatear* el desarrollo de la nanociencia y sólo entonces hacer posible el desarrollo de una nanotecnología más integrada a los problemas de nuestra civilización actual.

Desde la mirada de las ciencias sociales, que hoy asumo como sociólogo de ingenierías y epistemologías, destaco explícitamente la relevancia que deben tener los hallazgos y la reflexión en las ciencias sociales sobre el desarrollo de nuestra civilización. Afirmo que la ciencia —idealmente impulsada por el desarrollo del conocimiento de los fenómenos físicos, naturales y sociales—, hoy en día, está sesgada a la mirada de códigos de fragua conductualmente tecnológica —y que la tecnología entendida como la aplicación de conocimientos científicos en la solución de problemas reales—, en lugar de aplicar y dar sentido civilizatorio a los hallazgos de la ciencia básica, aminora e ignora en sus modelos la importancia de los componentes social y axiológico<sup>3</sup> de los problemas del mundo que vivimos y es impulsada por el afán de descubrir primero, patentar y controlar. El defasamiento entre la economía y las finanzas a que hemos llegado hoy en día, el que priva de manera sutil entre lo que se

---

\* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CIIICH), de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>1</sup> Derivado de la ponencia presentada en el Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología, mesa 11: Enseñando nanociencia y nanotecnología.

<sup>2</sup> Se trata de una perspectiva en donde el punto de partida es la impredecibilidad y la incertidumbre de los fenómenos y comportamientos. Una ciencia que exige la importancia de una pluralidad de perspectivas legítimas y asume las contradicciones de nuestro tiempo. Una ciencia que contribuye a la articulación de un sistema tecnológico con raíces renovadas con especial atención en la calidad de la información y en la ética implicada, asumidas ambas como tipos de incertidumbre (Funtowiks y Ravetz, 1993).

<sup>3</sup> Uso este término para enmarcar la perspectiva general para el análisis de las valoraciones, que va de la organización de los códigos de valor generados en las tradiciones y costumbres en una comunidad específica y comprendidos como una moral, hasta el análisis de las valoraciones entre morales de una sociedad bajo una dimensión ética, pasando por el análisis de códigos de valoración específicos en las deontologías disciplinares.

comunica y lo que realmente sucede y el que potencialmente se avecina con los hallazgos tecnológicos de lo nano y lo que realmente sucede y se requiere en los problemas sociales, nos muestra claramente dicho sesgo y fragua.

## UNA FALLA FUNDAMENTAL PERMANENTE

Parto de que el desarrollo científico requiere de mayor atención en la forma de una actividad cabalmente interdisciplinaria y desde luego de la existencia de niveles de especialización disciplinaria que resuelva problemas específicos en el ámbito de la ciencia básica y consecuentemente de su aplicación tecnológica. Pero dicho desarrollo no debe ignorar la atención sobre el carácter multidimensional que deben reconocer ingenieros y funcionarios de políticas sociales y científicas respecto a los problemas prácticos por resolver. De ahí la necesidad de encontrar respuestas a problemas específicos derivados de la ciencia básica que tomen en cuenta un espectro de solución más amplio y consciente de los desplazamientos que implica su solución y de los ámbitos que incluye y excluye selectivamente. Pero la multidimensionalidad se resuelve necesariamente con la actividad interdisciplinaria.

Desde el surgimiento de las máquinas industriales en la segunda mitad del siglo XVIII, hasta la construcción de la gran mayoría de los artefactos de la ciencia contemporánea, estoy de acuerdo con Enrique Leff en que hay una *falla fundamental*, que permea nuestro desarrollo civilizatorio. Dicha falla deriva de una racionalidad errónea —como falta de conectividad entre el hacer y conocer— en el desarrollo científico y tecnológico, que ha generado una degradación ambiental, riesgos ecológicos y un avance progresivo de pobreza, y que tiene como contrapunto “significante” —diría Leff— a la sustentabilidad (Leff, 2002: 11). Señalo, además, que un componente central en dicha falla, el motor epistémico que impulsa los desarrollos científicos, está asociado con una concepción de ciencia muy atada a las leyes de lo físico y natural de nuestros problemas, y muy poco ligada al ámbito de los significados y sentidos de las axiologías sociales y culturales íntimamente acoplados a ellas y también muy nuestros. Análogicamente, diría que ello contribuye a la construcción de una “nanoburbuja” que tiende a desvincular el conocer/hacer —de realidades biosociales— a un conocer/hacer —de realidades biofísicas—, ignorando las realidades biosocioculturales.

## CIEGA INCONMENSURABILIDAD ENTRE LAS DOS CULTURAS

A lo largo de mi desarrollo académico y profesional, constato de manera casi permanente que el problema de *las dos culturas*<sup>4</sup> sigue imposibilitando una relación dialógica entre profesionistas e imponiendo soluciones falsamente coherentes y consistentes. El desarrollo científico sigue jaloneado por una perspectiva fuertemente positivista, al estar fraguado dentro de un marco de valores restringido a estrictas condiciones de frontera que validan esencialmente evidencias materiales, y que desconocen significados y sentidos —como otras fuentes de materia/energía, propios de sistemas

<sup>4</sup> El término de ‘las dos culturas’ fue acuñado por C.P Snow en 1959 para describir la polarización y la falta de comunicación entre las comunidades de practicantes en las ciencias y las humanidades. “La frase muy criticada, trasciende como una clasificación de sentido común, explícitamente en los debates epistemológicos acerca de la creación de un conocimiento fidedigno, e implícitamente en las consecuencias prácticas de separar la ciencia de otras actividades intelectuales” (Lee, 1998).

abiertos— igualmente significativos. Al mismo tiempo, el desarrollo científico generalmente se encandila por estar ciegamente sujeto a un tiempo, cronológico (Delgado Ramos, 2008: 29-31) y a un valor ficticio monetario, regido por una plusvalía también dislocada. Se trata de un desarrollo aferrado a cronogramas de eficiencia y productividad que reiteran intereses generalmente concéntricos en torno a una región privilegiada de la sociedad. Ello impide, consecuentemente, un desarrollo tecnológico equilibrado y nos conduce hacia una sociedad cada vez más polarizada y menos coherente respecto a los criterios de desarrollo civilizatorio que hemos creado.<sup>5</sup>

Considero que hoy en día es esencial encontrar mejores maneras de lograr nuevas formas y *metodologías de vinculación* en la actividad interdisciplinaria —actividad incluso muy pobre en nuestra universidad, porque no se trata de sumar esfuerzos para enfrentar proyectos asociados a varias disciplinas, sino de conjugar conocimientos para construir nuevas alternativas frente a lo complejo—, y entonces aproximarnos a soluciones menos sesgadas y más equilibradas. No se trata de multiplicar 3x4 para dar 12 metros lineales y permanecer en la misma dimensión, sino para generar un arreglo de doce espacios en dos dimensiones, como matriz de nuevos escenarios de solución. Es importante redefinir el concepto de equilibrio físico-social para formular modelos menos desbalanceados respecto a la mirada de las ciencias duras y más cercanos a los ángulos de observación de las ciencias suaves. No se trata de encontrar el óptimo de una función objetivo, sino el encuentro de la zona de Pareto con óptimos posibles como escenario de solución a una función multiobjetivo (Amozurrutia, 2008b).

Es por ello que deseo reflexionar sobre la importancia que tiene el concepto de *ciencia como real actividad interdisciplinaria*, una ciencia que desde su concepción y a lo largo de su desarrollo vaya incidiendo, transformando y acoplándose a una concepción tecnológica que necesariamente desemboque en una axiología con códigos de valores menos polarizados. Códigos que permitirían un menor desmembramiento entre lo que se piensa y lo que se hace, entre el deseo individual y el compartido, entre la necesidad ciega personal de un grupo privilegiado y la necesidad vital de convivencia consensada, derivando en formas de sociabilidad con nuevas formas de democracia, mejores criterios de equilibrio social forjados desde las propias comunidades, implicando una revaloración del respeto y la comprensión de los otros en un mundo esencialmente pluricultural. Una ciencia que tome en cuenta criterios de la ciencia posnormal y esté asociada necesariamente a la construcción<sup>6</sup> de *sistemas de lo complejo* como una mejor aproximación al desarrollo de una nanotecnología-ciencia.

<sup>5</sup> Énfasis también, como necesidad contrapuntística, la falta de rigor metodológico, formalización y distanciamiento que una gran comunidad de estudiosos de las ciencias sociales adolecen, y que de manera semejante a los feudos disciplinarios en las ciencias físicas y naturales, el esquema se repite en los dominios del significado y sentido. El esfuerzo que es necesario hacer dentro de las ciencias sociales respecto a su acercamiento a las disciplinas mal llamadas duras y a los lenguajes comunes propuestos (Amozurrutia, 2008a) como la epistemología, las matemáticas y el pensamiento sistémico es semejante al esfuerzo que va de las ciencias a las humanidades. Pero ello no nos impide reflexionar sobre la relevancia que tiene este acercamiento en el desarrollo de la nanotecnología y del compromiso, al menos, en el ámbito de la investigación, respecto al desarrollo que está teniendo el conocimiento y aplicación de lo nano.

<sup>6</sup> Se trata de una construcción que avanza siempre mediante el juego dialéctico entre un hacer y un conocer implícito en la acción, y conlleva una valoración permanente. Cada acción conlleva necesariamente una valoración que al ser ignorada genera vacíos que más adelante emergen como burbujas que sostienen falsas construcciones. Dicho hacer-conocer implica un aprendizaje permanente que abrevia de consensos crecientes propios de una perspectiva constructivista no radical y que se asume como aproximación a mayores grados de certeza sobre sus objetos de estudio.

Desde luego que es muy importante insistir en el estudio cada vez más profundo y necesario de toda disciplina y en los procesos de diferenciación disciplinar que aún resta por hacer en ellas, pero también es imposible seguir propiciando la solución de problemas desde el nivel de análisis de una disciplina privilegiada. Es necesario dejar de tomar decisiones solamente en función de una economía de mercado, o desde las finanzas corporativas, o desde una política de guerra o desde el derecho de los privilegiados. Perspectivas macrodisciplinares que escogen y priorizan selectivamente desde su ángulo de observación, una axiología restringida y parcial para el devenir de la tecnociencia.

El reto es grande, porque es necesario estrechar vínculos y establecer nuevas relaciones entre las disciplinas y, consecuentemente, entre profesionistas, investigadores y responsables de políticas sociales, científicas y culturales. Es necesario reconocer entre ellas elementos y relaciones isomórficas y patrones comunes que permitan formular objetos de estudio y estrategias de solución más coherentes y consistentes. En este acoplamiento, las distinciones disciplinarias se complementan y se transforman dentro de una dialéctica que resuelve por integraciones y genera nuevas diferenciaciones, tejiendo puentes conceptuales con mayor transmisividad y mesurabilidad entre dominios aparentemente distantes.

Deseo reflexionar sobre la importancia que tiene el concepto de interdisciplina en el desarrollo de la ciencia y de la tecnología y, por tanto, en el de nanotecnociencia. Para ello revisaré brevemente la relación entre interdisciplina, sistema complejo y nanociencia interdisciplinaria.

## APROXIMACIÓN A LO COMPLEJO Y A LA ACTIVIDAD INTERDISCIPLINARIA

La interdisciplina debe ser pensada como un *proceso* que enfrenta *lo complejo como sistema*. Lo complejo como adjetivo que implica fuertes interdefiniciones y heterogeneidades entre las relaciones y relaciones de relaciones derivadas de acciones que operan como subtotalidades y totalidades. Pero también hoy en día y desde otra perspectiva que enriquece la perspectiva de lo complejo, incluyo la concepción de los *sistemas adaptativos*, como sistemas abiertos que emulan comportamientos inteligentes multiplicando las posibilidades de selección en la toma de decisiones. Organizaciones que se alejan de la perspectiva de los sistemas de control y enjaulamiento de lo físico y lo social y se orientan en la búsqueda de sistemas abiertos con mayores grados de autorganización, especialmente en su evolución morfogénica.

Pero no habrá que pensar a la complejidad como sustantivo, como una propiedad que corporiza a los fenómenos en objetos y modifica su comprensión dinámica, sino como un *adjetivo* que señala una cualidad que se aparta de lo lineal y complicado para aproximarse a una mejor evaluación de la riqueza e interacciones posibles del problema en estudio, hacia una conjugación de informaciones-comunicaciones-conocimientos. Lo complejo es un término que define un observador atento al carácter multidimensional y al fuerte nivel de interacción en los problemas en que vive, y en el caso que hoy nos incumbe, a la mirada atenta sobre las no-linealidades a las emergencias derivadas de nuevas relaciones y a comportamientos extraños en el ámbito de lo nano.

Hoy en día, esta cualidad de *lo complejo* es cada vez más evidente en la mirada atenta de todo investigador de lo social, de lo físico y lo natural, al reconocer como

distinción característica las fuertes interdefiniciones en el comportamiento de las “estructuras/procesos” implicados en los problemas y en las heterogeneidades presentes en las naturalezas de sus objetos de estudio. Lo complejo también se caracteriza por enfrentar las inconmensurabilidades derivadas de la vinculación de escalas de tiempo y espacio en las relaciones entre los componentes de un sistema, y por comprender el surgimiento de *relaciones de las relaciones* —o relaciones de orden superior—, en el desarrollo de los procesos y reestructuración de los sistemas.

## CIBERCULTUR@ COMO UNA FORMA DE ACTIVIDAD INTERDISCIPLINARIA

La actividad interdisciplinaria se construye con la disposición de colaboración y transformación de un equipo multidisciplinario de profesionistas especializados en varias disciplinas. El trabajo en equipo maximiza sus interacciones bajo el desarrollo de una *cultura de comunicación* que parte de coordinar acciones de escucha atenta hacia la comprensión del problema cuestionado bajo diferentes preguntas formuladas desde cada disciplina y desde una base epistemológica, bajo la escucha atenta de diferentes niveles de observación y análisis que propicien el desarrollo de una inteligencia colectiva.

Esta actividad interdisciplinaria a su vez no puede estar desligada del desarrollo de una *cultura de información* que construya y comparta conceptos y significados semejantes de distinción, selección, ordenamiento, jerarquía, estructuración y organización en memorias temporales y fijas, dentro de sistemas de información que establezcan un sentido acorde con la conjugación de naturalezas físicas, sociales y culturales.

Desde nuestra perspectiva (González, Amozurrutia y Maass, 2007) —y aquí deseo hacer explícita mi colaboración dentro del programa de Epistemología de la Ciencia y Cibercultur@ en el CEIICH de la UNAM, que es compartida con Jorge A. González y Margarita Maass— el desarrollo de una cultura de comunicación e información necesariamente debe estar asociada con el desarrollo de una *cultura de conocimiento*. Desde las primeras aproximaciones al concepto y desarrollo de ciencia y de la práctica interdisciplinaria, la cultura de conocimiento debe estar asociada al estudio básico de *cuatro áreas de conocimiento* que estrecharán el diálogo interdisciplinario: el estudio de una epistemología constructivista, de un pensamiento sistémico y del conocimiento básico de las matemáticas y del lenguaje (Amozurrutia, 2008a).

De esta manera, el desarrollo de la nanociencia lo concebimos dentro de una actividad interdisciplinaria comprendida en el marco de una cibercultur@: conjunción de información/comunicación/conocimiento, y desarrollada dentro de un proceso dialéctico derivado de preguntas y respuestas en torno a la multidimensionalidad de los problemas que pretende resolver, proceso enriquecido por nuevas diferenciaciones e integraciones.

## HACIA UNA SÍNTESIS DE PERSPECTIVAS DISCIPLINARIAS

Estoy convencido de que el desarrollo de la ciencia y de la cultura no puede seguir anclado solamente en empirismos o en racionalismos desvinculados y apartados entre sí, en distinciones de *ismos* abanderados por las ciencias duras y las suaves. El desa-

rollo científico debe abolir la distinción duro-suave y sí, delimitar permanentemente un nivel de observación que integre formas heterogéneas en nuevos *espacios de fase* cada vez mejor circunscritos. El reto consiste en enfrentar la gama de durezas y sutilezas mediante perspectivas ancladas en un constructivismo que no cese de tejer dialécticamente material empírico con procesos de asimilación, abstracción y generalización, siempre vinculados con su historia o genética —de acuerdo con Rolando García<sup>7</sup> (2006: 33ss y 87ss).

La construcción conjunta de objetos de estudio, de marcos epistémicos y metodologías —en equipos de trabajo multidisciplinarios— son elementos esenciales de una actividad interdisciplinaria, son el punto de partida para la solución de problemas prácticos de hoy en día. Dichas actividades deben estar coordinadas desde una perspectiva que conjugue objetivos y procedimientos a partir de estrategias heurísticas para irse aproximando a la definición de métodos, técnicas y protocolos, y con ello conducir al equipo de investigación hacia una mejor “comprensión/explicación” de lo complejo de los problemas actuales, de los desarrollos interdependientes entre lo nano y lo mega, y con altos grados de imprevisibilidad social si se destapan apresuradamente. Problemas de naturaleza heterogénea derivados de la interacción entre los niveles atómicos, biológicos, fisiológicos, psicológicos, socioculturales, y siempre atentos a evitar incertidumbres sutilmente concertadas en el ámbito del mundo de lo invisible —física y socialmente—, propiciando lo que Gian Carlo Delgado Ramos ha denominado “la guerra por lo invisible”.

El eje de la axiología para el desarrollo de una cultura de información, de comunicación y de conocimiento es aún más central si pensamos en los retos e implicaciones que tiene el desarrollo de una ciencia que opera por debajo de los 100 nanómetros. Una ciencia que todavía está buscando la definición de estándares, la caracterización de las propiedades de los nanomateriales, los conceptos de articulación entre los niveles nano, micro y meso, pero, sobre todo, que desconoce las implicaciones bio-físico-sociales en el funcionamiento de nanopartículas en nuestro organismo y en el equilibrio en los ecosistemas naturales y simbólicos. Imaginemos el dislocamiento posible derivado de una falta de comunicación entre los estándares para cuantificar riesgos y establecer normatividades consensadas, una falta de información común para hacer posible trabajos conjuntos ante un problema común, una falta de conocimiento para saber si los productos generados aumentan sensiblemente la mutación y la expresión de genes que propician nuevas generaciones de enfermedades cancerígenas.

Es imperativo hoy en día que el desarrollo de la nanociencia se oriente al desarrollo de un conocimiento orientado a la búsqueda de nuevas realidades fisicoquímicas, bioquímicas y socioculturales que resuelvan problemas comunes y vitales para la sociedad en su conjunto. Es imperativo que la nanotecnología se oriente a la solución de problemas inmanentes y vitales para el desarrollo ecológico, salud, alimentación y el desarrollo social en primera instancia, y para la satisfacción de deseos y necesidades menos apremiantes en segunda instancia. Ambas actividades deben ser conducidas bajo la perspectiva de una interdisciplina que conjugue nuevas dimensionalidades: informaciones/comunicaciones/conocimientos, bajo una concepción científica mul-

<sup>7</sup> Autor del que también incluyo en la concepción interdisciplinaria, *Epistemología constructivista*, la que considero como una fundamentación actualizada del pensamiento piagetiano (García, 2000).

tidisciplinaria. La integración tecnológica en general debe desarrollar aplicaciones basadas en desarrollos sustentables —entendidos como sistemas adaptativos con grados de autorganización creciente y acoplados en formas de equilibrio menos sesgadas—, y dicho una vez más, que no comprometan a generaciones futuras.

No sobra insistir que la actividad interdisciplinaria debe incluir la presencia de puntos de vista de las diferentes esferas sociales, orientando ciencia y tecnología hacia nuevas formas de equilibrio social. Para ello es necesario propiciar y establecer un diálogo basado en una nueva cultura de comunicación/información/conocimiento, entre actores de las comunidades de las ciencias físicas, naturales, sociales y humanidades, así como del sector gubernamental, empresarial “y” de la comunidad civil. Es relevante, además, incluir a una sexta comunidad que opere como “facilitadora” del proceso del diálogo social, una comunidad de especialistas independientes Inter, multi y transdisciplinarios en aspectos legales, éticos, sociales y ambientales como las comunidades ALESA (Aspectos Legales, Éticos, Sociales y Ambientales) de la nanotecnología (Delgado Ramos, 2007: 395).

De manera paralela, es necesario transformar las estructuras/procesos de enseñanza en las universidades y escuelas, incluyendo actividades interdisciplinarias que partan de las cuatro áreas de conocimiento referidas, fundamentales para toda disciplina. Se trata de la necesidad de una re-estructuración profunda de las academias y de los programas de estudio.

Los retos de la interdisciplina en la nanociencia deben incluir una mirada constructivista, que por su naturaleza es valorativa y está asentada en un hacer íntimamente ligado a un conocer y un conocer necesariamente ligado a un hacer, que no sesgue valoraciones netamente asociadas a una evolución del más fuerte, sino del más adaptado, acoplado y armónico, no hacia un equilibrio óptimo que disloque otros sistemas, sino hacia múltiples formas de equilibrio acopladas, hacia el desarrollo de una conjugación de una cultura de comunicación/información/conocimiento transversal a todas las disciplinas para resolver nuevas cualidades derivadas de lo complejo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amozurrutia, José A. (2008a). *Genetic epistemology, mathematics and systemic thinking: As essential disciplines for social research interdisciplinarity*. Trabajo presentado en la 8th International Conference of Sociocybernetics. México, DF.
- \_\_\_\_\_. (2008b). *Reflexividad sistémica ante los retos de la sustentabilidad*. Trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre Tópicos Selectos en Ingeniería de Sistemas Complejos aplicados a la Producción Animal Sustentable. Morelia, México.
- Delgado Ramos, G. C. (2008). *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. México: CEIICH-UNAM.
- Funtowics, S.O. y Ravetz J.R. (1993). *La ciencia posnormal*. Buenos Aires: Icaria, Antrazyt.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. España: Gedisa.
- \_\_\_\_\_. (2006). *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.
- González, Amozurrutia y Maass. (2007). *Cibercultur@ e iniciación en la investigación*. México: CNCA, CEIICH, IMC.

Leff, E. (2002). *Saber ambiental*. México: Siglo XXI Editores.

Lee, R. (1998). *Estudio de la complejidad y las ciencias humanas: presiones, iniciativas y consecuencias del predominio de las dos culturas*. México. Publicado en la colección de divulgación del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, CEIICH de la UNAM.

## Crisis económica, conocimiento y políticas para el desarrollo de la nanotecnología

ANDRÉS PEDREÑO MUÑOZ\*

### INTRODUCCIÓN

Durante décadas el Silicon Valley nos anticipaba avances tecnológicos relevantes de gran impacto en las economías de todo el mundo y muy especialmente en Estados Unidos. Los avances ligados a los circuitos integrados, los ordenadores personales, el software e Internet han protagonizado unos impactos muy relevantes en aquellas economías que han sabido posicionarse estratégicamente en estos sectores.

Los expertos predecían que el Silicon Valley ya anticipaba a principios del año 2000 el papel de la nanotecnología como nueva ola tecnológica<sup>1</sup> con un impacto potencial muy relevante en todas las economías del mundo.<sup>2</sup> Charles Vest, ex presidente del MIT, sostenía que los avances en la nanotecnología conducirían a una segunda revolución industrial.<sup>3</sup>

Quizás no es descabellado pensar que los avances de la nanotecnología están supe-  
ditados al propio progreso de la sociedad del conocimiento y a las políticas que los diferentes gobiernos aplican en función de un conjunto de prioridades determinadas por fuerzas políticas y sociales de los propios países.

Por ejemplo, en los Estados Unidos, los periodos presidenciales de Clinton y Bush ofrecen un balance muy diferente respecto al tema que aquí nos preocupa. Durante la administración Clinton, la economía y sociedad del conocimiento tuvo un protagonismo innegable. Los economistas hablaban de “nueva economía”, desarrollo de la sociedad de la información, auge de las nuevas tecnologías, Internet, liderazgo tecnológico, etc. Sus resultados fueron espectaculares.<sup>4</sup> Crecimiento ininterrumpido del PIB (casi nueve años) con tasas superiores al 7% en términos interanuales, una tasa de de-

---

\* Instituto de Economía Internacional, Universidad de Valencia, España.

<sup>1</sup> Si se desea, con un enfoque más ortodoxo, recurriremos lógicamente a Nikolai Kondratieff cuyas aportaciones sobre estos temas en 1926 todavía permitían una visión en el largo plazo de las “ondas tecnológicas”. Una contrastación entre las aportaciones de Kondratieff y la dinámica desarrollada por el Silicon Valley en las últimas décadas pone de relieve la aceleración de los cambios en materia de desarrollo tecnológico e introducción de innovaciones. En todo caso, para los que asuman las teorías de Kondratieff, la nanotecnología sería la sexta onda tecnológica, algo que se señala desde algunos informes sobre la nanotecnología elaborados en la Comisión Europea.

<sup>2</sup> En una primera fase se anticipaba una confluencia positiva de la infotecnología, la biotecnología y la nanotecnología.

<sup>3</sup> Algunos expertos en estas cuestiones señalan que siguiendo la tendencia de los dos últimos siglos en los que se han producido cuatro sucesivas revoluciones industriales, éstas maduran y se suceden cada cincuenta o sesenta años. Internet y la World Wide Web estarían actuando como catalizador de un salto importante en los avances y el progreso del conocimiento, auténtico acicate de la convergencia de progresos relevantes en nanotecnología, biotecnología, inteligencia artificial, etc. Dicho de otra forma, desde el punto de vista científico y económico se podrían dar unas condiciones objetivas para materializar los “inputs” necesarios.

<sup>4</sup> Algunos economistas llegaron a sostener que se habían superado los ciclos y las contracciones de las economías tras un periodo tan extenso de crecimiento económico sostenido.

empleo del 4% (la más baja desde 1970), sin aflorar tensiones inflacionistas, saneamiento de las finanzas públicas, cotizaciones bursátiles con espectaculares ascensos sostenidos durante una década, fortaleza del dólar, por mencionar algunos. Además, este crecimiento económico se trasladó al resto del mundo a través del considerable déficit comercial estadounidense.

Esta prosperidad y hegemonía mundial de los Estados Unidos se escenificaba a través de un incremento considerable de la inversión, absorbiendo recursos del resto del mundo. Un modelo en el que la economía norteamericana “se especializaba en rentabilizar más eficazmente el ahorro de los demás: esto mismo se prolongó durante la era Bush, pero en estos últimos años las prioridades han sido sustancialmente diferentes.

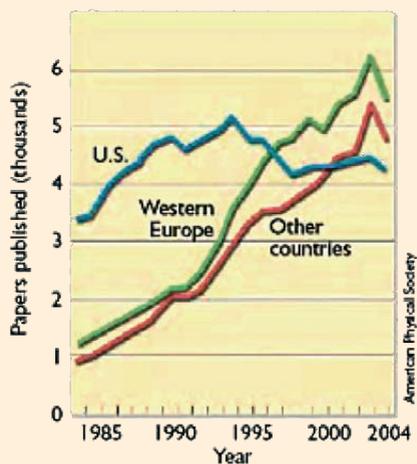
Si atendemos a los movimientos netos de capitales durante 2007, observamos cómo Estados Unidos sigue absorbiendo casi la mitad de los recursos de ahorro mundiales (49,2%), junto a otros países como España (9,8%) y Reino Unido (8,0%). Estados Unidos destinaba ingentes recursos a una economía de guerra.<sup>5</sup> Estos recursos han financiado en gran medida una burbuja inmobiliaria sin precedentes que ha sido capaz de generar una hecatombe financiera poniendo en crisis entidades bancarias de todo el mundo.

Estamos hablando pues de dos modelos muy diferentes de gestión en las dos últimas décadas. En la primera, se impulsó fuertemente las nuevas tecnologías y la sociedad de la información, una verdadera antesala de la sociedad del conocimiento. En la segunda, los recursos de países ahorradores como China (21,3% de la tasa de ahorro mundial), Alemania (14,4%), Japón (12,1 %), Arabia Saudita (5,5%), Rusia (4,4%), entre otros, han contribuido a expandir una economía de corte tradicional y especulativo (burbuja inmobiliaria, industria del automóvil, altas tasas de consumo de petróleo y otras materias primas, etc), donde la economía del conocimiento ha vivido de las rentas derivadas de las olas tecnológicas precedentes (Internet, etc.).

En su conjunto pues, los sistemas económicos en los últimos años han tenido otras prioridades a la hora de canalizar el ahorro mundial hacia sectores productivos bastante ajenos al conocimiento y la innovación. La crisis financiera e inmobiliaria actual es una consecuencia de ello.

El gráfico de la derecha de la *American Physical Society* da una muestra del estancamiento y recesión en la producción de artículos publicados en Estados Unidos ya en el primer periodo Bush.

No obstante, la nanotecnología no ha dejado de constituir un sector estratégico para ambas administraciones (Clinton y Bush).



<sup>5</sup> Según J. Stiglitz el costo financiero de la guerra de Iraq y Afganistán ha supuesto hasta finales de 2007 casi diez veces el costo de la primera guerra del Golfo, casi un tercio más que el costo de la guerra de Vietnam, y dos veces el de la primera guerra mundial.

A las primeras y entusiastas iniciativas de Clinton,<sup>6</sup> respondió Bush con la *21st Century Nanotechnology Research and Development Act*.<sup>7</sup> Los fondos federales destinados a las agencias incluidas en la *National Nanotechnology Initiative* se han incrementado desde 46.4 millones de dólares en 2001 hasta los 1,500 millones de dólares que se contemplan en el presupuesto estadounidense del año 2009. Se estima que la inversión privada en nanotecnología en los Estados Unidos es de una cuantía similar a la representada por los fondos públicos. Pero ¿es condición necesaria y suficiente una cuantiosa inversión en nanotecnología?

Obviamente, el destino de los fondos públicos es importante. No es lo mismo invertir en nanociencia, nanomedicina o nanoelectrónica que en nanotecnología militar. El gráfico de más abajo<sup>8</sup> muestra la evolución del gasto militar en nanotecnología durante la “era Bush”, dándose la circunstancia de que en los últimos años la financiación real aprobada por el Congreso (línea roja) ha superado a la financiación solicitada por el propio Departamento de Defensa de los Estados Unidos (línea azul).

La investigación en la industria militar en los Estados Unidos ha sido el germen de numerosos avances tecnológicos de nuestro tiempo cuyos beneficios se han trasladado a las industrias y a la sociedad civil en general. La investigación militar, al menos en aquellas vertientes más públicas, se concentra en tres áreas. La primera, propiamente militar, destinada a facilitar nuevos medios que permitan avances revolucionarios en los sistemas de combate. Una segunda línea, destinada a desarrollar estrategias sólidas para la síntesis, caracterización, y el montaje de las nanoestructuras individuales. Y, por último, explorar aplicaciones de nanoestructuras revolucionarias para catálisis, sensores, termoelectricidad, termoiónica, y fotovoltaica.<sup>9</sup> Se conoce poco acerca de los resultados de estas investigaciones.



<sup>6</sup> Claramente establecidas en el discurso del presidente Clinton en el California Institute of Technology, el 21 de enero de 2000.

<sup>7</sup> [http://firwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=108\\_cong\\_public\\_laws&docid=f:publ153.108](http://firwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/getdoc.cgi?dbname=108_cong_public_laws&docid=f:publ153.108)

<sup>8</sup> Fuente de datos: Departamento de Defensa *Nanotechnology Research and Development Programs*. En: <http://www.nano.gov/html/res/pdf/DefenseNano2007.pdf>.

<sup>9</sup> Un mayor detalle puede verse en el artículo de Gian Carlo Delgado Ramos “Economía política de la nanotecnología”, *Revista Mundo Nano*, vol. 1, núm. 1, noviembre de 2008, en <http://www.mundonano.unam.mx>.

Aun considerando que algunos de los mencionados resultados tengan aplicaciones en el sector privado es evidente que en esta última década la nanotecnología —sin privarla de una cuantía de gasto público importante— no ha estado orientada estratégicamente hacia las demandas o aplicaciones más ligadas a la industria o a la sociedad civil (nanomedicina, nanobiotecnología, nanoelectrónica, nuevos materiales, energías renovables, etc.). Más bien a la inversa, desde muchas universidades se han impulsado proyectos que tenían por objetivo aplicaciones relacionadas con la seguridad o la defensa.<sup>10</sup>

A esto hay que sumarle una buena dosis de *nanobuzz* (ruido especulativo en torno a las potencialidades derivadas de un boom económico de la nanotecnología).<sup>11</sup> Éste ha sido precisamente el costo que han debido pagar un elevado número de empresas creadas —principalmente en los Estados Unidos— a principios de los años 2000, las cuales se orientaron hacia proyectos científicos más que al desarrollo de productos concretos, captando inversores de fondos de capital de riesgo, ávidos de entrar tempranamente en la llamada a ser la nueva ola tecnológica. El resultado de algunos de estos proyectos no ha sido positivo, y han debido malvender activos o reducir su valor drásticamente, o incluso recurrir al cierre y abandono de algunos programas anunciados a bombo y platillo.

El desarrollo de la nanotecnología en el ámbito de la economía necesita de unas condiciones específicas que en los últimos años se han debilitado y de cuya carencia da buena cuenta la crisis del actual modelo productivo a nivel internacional. Esas carencias están relacionadas con la insuficiencia de las apuestas a favor del conocimiento, en general, a favor de una economía de corte financiero-inmobiliario especulativo

## EL DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA

Cabría preguntarse si podemos seguir sosteniendo que los avances en nanociencia y nanotecnología son los suficientemente sólidos como para fundamentar un despegue en términos de crecimiento económico lo suficientemente relevante para los próximos años.

En principio parecería que hay dos vías muy desiguales en lo que a relevancia de potenciales impactos económicos se refiere. La primera es una vía lenta pero cada vez con mayores aplicaciones prácticas derivadas de avances puntuales, la observación y mejor comprensión del mundo nano y sus potencialidades. En este ámbito hay que situar las nanopartículas o nanomateriales, nanocompuestos, los nanotubos, nanocristales, nanofibras, o aplicaciones derivadas. Sus aplicaciones comprenden una amplia gama de sectores y productos: prendas de vestir, textiles, artículos y materiales de deporte, cosméticos, lavadoras, pinturas, envases para alimentos, etcétera.

La segunda vía vendría determinada por avances espectaculares en el estudio, la comprensión de los fenómenos y dominio de las leyes que rigen en el mundo nano.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Es el caso por ejemplo de iniciativas tales como el *Institute for Soldier Nanotechnologies*, impulsado por el MIT. <http://web.mit.edu/isn/>.

<sup>11</sup> Mucho ruido especulativo en torno a las potencialidades derivadas de un boom económico de la nanotecnología.

<sup>12</sup> Es el objetivo de la nanociencia, cuyo dominio y comprensión de estas leyes difieren significativamente de las convencionales de nuestro mundo. Avances en la comprensión de estos fenómenos y en la manipulación

Se trata de una nanotecnología avanzada. Al respecto, en los últimos años se han difundido multitud de noticias procedentes de los laboratorios de universidades y de empresas que hacen presuoner avances importantes aunque todavía fragmentados y con una capacidad operativa limitada a la hora de operar con eficiencia en el ámbito de la nanoescala y reconstruir un rompecabezas complejo. El hecho de que una buena parte de estas investigaciones tengan lugar en el ámbito militar y/o empresarial hace todavía más difícil una aproximación certera a las posibilidades de impulsar la ingeniería molecular en todas las vertientes que se han venido señalando en la literatura (nanosistemas, ensamblaje, mecanosíntesis, fabricación molecular, entre otras). La construcción de nuevos materiales con propiedades revolucionarias en todas las esferas (materias primas construcción, industria, agricultura, seguridad) o las fábricas diminutas que ya fueron señaladas por el Premio Nobel, Richard Feynman.<sup>13</sup> Algunos discípulos de E. Drexler insisten en que el momento de esta nanotecnología avanzada estará más cerca de lo que parece.<sup>14</sup>

A medio camino, hay campos interesantes derivados de confluencias y diversas aplicaciones en la bionanotecnología, computación cuántica, electrónica molecular, células artificiales, pilas de combustible, incluso los propios nanotubos, y otros muchos resultados de la actividad investigadora.<sup>15</sup> Aquí, los sectores implicados poseen mucho más calado: productos químicos y materiales avanzados, construcción, energía, agua, medio ambiente, electrónica, tecnologías de la información y telecomunicaciones, medicina y farmacología, seguridad, industria de defensa y aeroespacial, medio ambiente, sector del automóvil y transporte, agricultura y alimentación. Esto es, no habría que

---

de las escalas atómica y molecular permitirían avances relevantes en las nanotecnología, esto es, el diseño, caracterización producción y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de la actividad a escala nanométrica.

<sup>13</sup> En su ya clásico *There's plenty of room at the botton* (1959). Véase en <http://tinyurl.com/o675>.

<sup>14</sup> En una reciente conferencia en España de Mike Treder, director del "Centro para la Nanotecnología Responsable" en los Estados Unidos, hizo alusión a varios temas relacionados de interés en el progreso de la nanotecnología avanzada. Tras señalar que los esfuerzos de la National Nanotechnology Initiative en descartar la viabilidad de la fabricación molecular apuntada por E. Drexler estuvieron ligados al riesgo de cortar la financiación del Congreso de los Estados Unidos (derivada del miedo político a los peligros anunciados por algunos expertos en torno al control e impacto de la nanotecnología), señaló un amplio muestrario de avances en esta materia. Empezando por el estudio publicado del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos, en donde se revisan las bases teóricas de la fabricación molecular y la financiación para la la investigación experimental. DARPA (la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada de Defensa en los Estados Unidos) solicitaba en 2007 propuestas para desarrollar nanofabricación. A partir de ahí, el año 2008 también ha dado muestras de algunos progresos en esta dirección. J. Gorman (Instituto Nacional de Normas y Tecnología) anunció que su grupo de investigación habría construido un prototipo para un "nano-ensamblador". En el Reino Unido, Philip Moriarty (Nottingham University) recibió tres millones de dólares para estos cometidos. La empresa Zyvex en Estados Unidos recibió también en 2008 una subvención de 10 millones de dólares procedentes de DARPA y el estado de Texas para este mismo fin (véase Treder, A., 2008). "Un alcance amplio y profundo: la abundancia negativa de la nanotecnología", en Varios autores, *La globalización en el siglo XXI: retos y dilemas*. Federación de Cajas de Ahorros Vasco Navarras. Bilbao.

<sup>15</sup> Por ejemplo, en 2008, un joven investigador, Javier García, con 20 patentes en este ámbito y Medalla de Europa como mejor químico europeo menor de 35 años, fue también elegido por *Technology Review* (MIT) como uno de los más influyentes científicos jóvenes de todo el mundo. Sus aportaciones en carbón nanoestructurado y su aplicación en superconductores o en catalizadores nanoestructurados para la producción de gasolina son ejemplo de nuevas aplicaciones industriales relevantes aplicables en la industria.

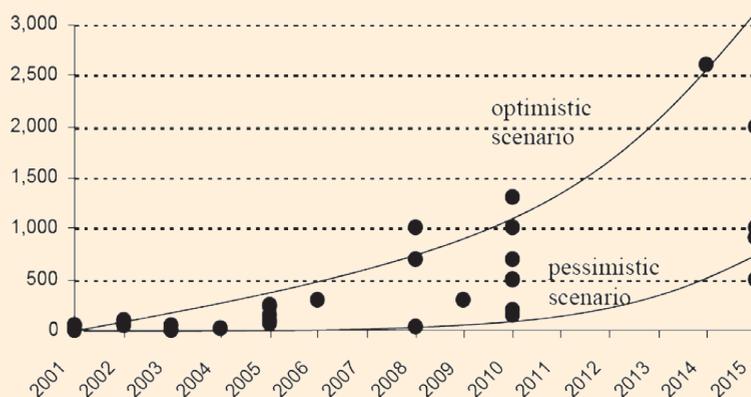
llegar a la nanotecnología avanzada, para progresar de forma relevante en un elevado número de aplicaciones con efectos importantes en la economía<sup>16</sup>.

Una de las limitaciones al crecimiento más rápido de la nanotecnología es su condición de frontera entre la realidad científica y visiones ambiciosas, entre primeros logros y expectativas prometedoras, entre mejoras progresivas e innovaciones impactantes. Estamos en una transición que es tanto más difícil por el hecho de que muchos de los avances actuales se mueven en una confluencia interdisciplinaria (la física, química, bioquímica, ingenierías, computación, medicina, biología, entre otras).

Hacer prospectiva en estos ámbitos de la nanociencia y la nanotecnología es un tema muy complejo.<sup>17</sup> Desde principios de esta década se han llevado a cabo bastantes predicciones para los próximos quince años. La más conocida fue publicada por la National Science Foundation (NSF) en 2001 y estimaba para 2015 el mercado mundial de productos de nanotecnología en un billón de dólares. Algunas predicciones más recientes pronosticaban ya que se alcanzarían los 2.9 billones de dólares en 2014.

La Comisión Europea se hizo eco en uno de sus informes<sup>18</sup> de algunas de estas estimaciones. En función de las más recientes estimaciones, habría un “escenario optimista”<sup>19</sup> caracterizado por el despegue del futuro mercado de productos basados en la nanotecnología, el cual rebasaría en importancia al del mercado de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones y multiplicaría por diez al futuro mercado de la biotecnología.

Sin embargo, los limitados resultados logrados hasta la fecha y la importancia del tema exigirían de políticas activas y de una cierta diligencia oficial de los gobiernos de



Fuente: Dra. Angela Hullmann, European Commission.

<sup>16</sup> En español hay algunas fuentes que recogen puntualmente noticias con los avances de la nanotecnología que están ligados a potenciales aplicaciones. véase en: <http://www.euroresidentes.com/Blogs/nanotecnologia/avances.htm> y también en: <http://www.euroresidentes.com/Blogs/noticias/nanotecnologia.htm>. También puede verse en la Fundación OPTI una relación de las aplicaciones industriales de la nanotecnología en un país como España. véase: <http://www.opti.org/publicaciones/pdf/resumen10.pdf>.

<sup>17</sup> Las predicciones de escenarios pesimistas y optimistas de los últimos cinco años coinciden en señalar que a principios de los años 2010 se produciría un sustancial incremento del mercado para los productos ligados a la nanotecnología.

<sup>18</sup> En <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/>.

<sup>19</sup> Predicciones del Mitsubishi Institute o Lux Research.

los diferentes países para hacer posible su desarrollo, asimilación, explotación de sus potencialidades y minimizar riesgos.

Ésta parece ser la dirección en la que apunta la nueva administración Obama a través del incremento de fondos federales para la inversión en I + D, en particular en el sector de la energía. Los gobiernos de la Unión Europea (Programas Marco), China,<sup>20</sup> Japón y otros países también han aumentado sus inversiones en I + D en nanotecnología.

La Comisión Europea llegó a declarar en su *Nanosciences and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009* (COM(2005)243)<sup>21</sup> su objetivo inequívoco de proporcionar unas condiciones favorables para la innovación industrial a través del desarrollo de la investigación y la tecnología en torno a la nanotecnología, para que se traduzcan en la generación de productos y procesos asequibles y seguros (para la salud).

Sin embargo, tanto en los Estados Unidos, como en Europa y la mayor parte de los países, el desarrollo actual de la nanotecnología ha tenido impactos muy limitados cuyas causas conviene analizar.

## LAS LIMITACIONES ECONÓMICAS DEL DESARROLLO NANOTECNOLÓGICO ACTUAL

Muchas de las características de los productos desarrollados en el actual estadio de la nanotecnología (por ejemplo, el caso de las nanopartículas aplicadas a sectores muy diversos como textiles, envases, pinturas, cosméticos, por mencionar algunos) tienen un impacto económico muy limitado. En realidad sólo contribuyen a agregar un cierto valor añadido a productos ya existentes.

Aunque ciertamente pueden introducir innovaciones interesantes y contribuir a singularizar estos productos, el hecho de que no se creen nuevos productos diferentes o nuevos mercados reduce el impacto económico de la nanotecnología. Así pues, a la hora de sacarle partido a la nanotecnología, hay ciertas limitaciones. Un producto o proceso se verá favorecido por una innovación potencial derivada de la nanotecnología en función de una serie de variables que impone el mercado (competitividad del precio, entidad de las mejoras introducidas, compatibilidad con los procesos y tecnologías industriales existentes, por mencionar algunas.)

No obstante, las innovaciones nanotecnológicas podrían tener un impacto mayor si las propias industrias acometieran el desarrollo de productos en función de las necesidades de las propias industrias, empresas y mercados, y se tradujeran de esta forma en innovaciones relevantes. Por ejemplo, no es lo mismo investigar genéricamente sobre nanotubos que enfocar su aplicación para propiciar un salto importante en la industria de los neumáticos.<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> Una mención especial merece el caso de China. Por ejemplo, el número de trabajos de investigación publicados por científicos chinos en revistas internacionales en el 2006 estuvo bastante a la par del de sus colegas de EUA o Japón, cuando diez años antes apenas representaban una séptima parte. Y el número de patentes se incrementó de menos de 1,000 en el 2001 a más de 4,600 en marzo del 2005.

<sup>21</sup> COM(2005): "The economic development of nanotechnology - An indicators based analysis". En: [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle\\_hullmann\\_nov2006.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf).

<sup>22</sup> El ejemplo me lo sugiere una presentación de *Científica*. A lo largo de los dos últimos siglos sólo algunas innovaciones han tenido la suficiente relevancia como para revolucionar la industria de los neumáticos desde la invención de la rueda allá por el 3,500 a.C. en Mesopotamia. Se recuerda la goma vulcanizada de Goodyear (1844), los neumáticos con cámara de aire de Dunlop (1887), los neumáticos reforzados (1904), el neumático radial de Michelin (1946) y... ¿el neumático con nanotubos incorporados?

Hay que sacar conclusiones claras sobre el limitado impacto que han tenido hasta el momento las grandes inversiones en I+D en nanotecnología en países como Estados Unidos. Aparte de la ponderación militar del gasto en el periodo Bush, los programas de inversiones en nanotecnología no se traducirán en industrias y empresas rentables si la mayoría de los fondos van mayoritariamente a satisfacer demandas con una fuerte orientación académica o si están destinados a objetivos a muy largo plazo.

Al respecto, las aplicaciones de la nanotecnología que observamos actualmente en los mercados son la punta del iceberg. Hay que reorientar las investigaciones y favorecer aplicaciones potenciales que sean productivas para industrias focalizadas en productos y sus necesidades de innovación, todo esto sin perjuicio de las apuestas en nanociencia e investigación básica en general. De alguna forma ha fallado la cadena de valor y su proyección en términos de ventajas competitivas para las empresas y para las economías en general.

En definitiva, será difícil, para los próximos años, que se cumplan las optimistas proyecciones sobre el potencial de crecimiento económico de productos que utilizan algún tipo de nanotecnologías si no cambian las pautas seguidas en las políticas de asignación de recursos y estímulos a la nanotecnología en general. Habrá que mejorar el enfoque y amplitud de miras en nuestras políticas si deseamos que la nanotecnología se convierta en un motor importante de crecimiento para nuestras economías, base de una nueva ola tecnológica y, por tanto, de innovaciones de productos y procesos con suficiente entidad para encarar una crisis de modelo de desarrollo como la actual.

## LA CRISIS, EL CONOCIMIENTO Y LA NANOTECNOLOGÍA: POLÍTICAS ACTIVAS A FAVOR DEL DESARROLLO PROGRESIVO DE LA NANOTECNOLOGÍA

Una gran parte de los economistas estarían de acuerdo en que la recesión económica actual pone de relieve la importancia de construir una nueva economía con capacidad renovada para la innovación. Para superar la crisis actual, es necesario fomentar y mantener métodos de fabricación avanzados y puestos de trabajo intensivos en conocimientos. La sociedad del conocimiento, la economía del conocimiento deben desempeñar un papel fundamental en los nuevos modelos postcrisis.

La nanotecnología parece poseer todos los atributos para servir a esa nueva economía de la innovación y del conocimiento. Si partiéramos de la hipótesis de que todavía existe un largo recorrido hacia la nanotecnología avanzada,<sup>23</sup> tendríamos que fomentar una política nanotecnológica en nuestros respectivos países que afrontara todas las vertientes de interés derivadas para su desarrollo. Empezando quizás por algo básico: fomentar el desarrollo de *una cultura científica, empresarial y, en gene-*

<sup>23</sup> Ésta es la hipótesis que se asume en el presente trabajo. Incluso en el caso de que la fabricación molecular fuera posible a corto plazo estaríamos ante una gran solución de muchos de los problemas que afectan a la economía, especialmente el mayor: la limitación de recursos escasos (el supuesto básico más importante) pero también estaríamos ante un grave problema. Efectivamente, el derivado de la adaptación a unos cambios económicos de tal magnitud que quizás no estemos suficientemente preparados (crisis de la mayor parte de los sectores tradicionales, alteración muy veloz de los hábitos de vida de la población, y unos riesgos muy relevantes del mal uso de la nanotecnología), esto sin contar otras implicaciones de tipo político o militar.

ral, social en torno a la nanotecnología. Se diría que “hay mucho espacio que llenar en nuestros países de cara a los potenciales avances y retos de futuro de la nanotecnología”.

Cabe aventurar al menos actuaciones en las siguientes direcciones:

- Una mayor *coordinación y fomento de redes institucionales entre las organizaciones implicadas o afectadas por el desarrollo nanotecnológico*. La propia National Nanotechnology Initiative (NNI), creada en 2001 en los Estados Unidos, puede ser un modelo para identificar “actores relevantes” y fomentar la coordinación e implicación de los protagonistas. No obstante, la constitución de este tipo de órganos debe ir más allá del intento de coordinar un reparto de fondos públicos o incluso de la actividad de los diferentes centros de investigación. En un sentido más amplio y ambicioso, deberíamos propiciar para cada país una estrategia competitiva en el desarrollo de la nanotecnología y en la productividad de los fondos aplicados.
- Una política regional capaz de desarrollar *clusters o centros de nanotecnología aplicada en torno a las actividades predominantes en el territorio* y las aplicaciones de la nanotecnología relacionadas. Quizás las políticas muy activas de algunos estados en los Estados Unidos nos pueden dar pistas sobre la relevancia de tales apuestas, aunque el hecho diferencial en países menos avanzados y con menos fondos sería enfocar hacia campos de especialización en la nanotecnología relacionados con el tejido productivo predominante.
- Lo anterior está muy relacionado con los *incentivos a la inversión privada en nanotecnología*. Sin inversión privada no tendremos efectos relevantes relacionados con el desarrollo de productos e innovaciones para hacer rentable el cuantioso gasto público en nanociencia y nanotecnología básica. En los últimos años, aproximadamente el 50% de la inversión privada la absorbe Estados Unidos. La otra mitad restante se reparte entre un reducido número de países: Japón, Alemania, Corea, Reino Unido, países nórdicos, Francia, Holanda Francia, Suiza, Canadá e Italia. En el resto del mundo incluida España (octava potencia económica del mundo) e Iberoamérica las cantidades son escasamente significativas.
- Confluencia de *programas mixtos de inversión pública y privada*. Europa, por ejemplo, juega con una fuerte desventaja en términos de fondos de capital riesgo o *angels* respecto a los Estados Unidos. Como he dicho anteriormente, se debe crear una cultura empresarial en torno a la nanotecnología y sus posibilidades. La mayor parte de las empresas europeas y de otros muchos países son ajenas a las posibilidades de la nanotecnología aplicada a su actividad, producto o sector.
- Un sistema educativo *competitivo y capaz de asignar correctamente los recursos* en función de las prioridades sociales más relevantes. La necesidad de atraer y formar recursos humanos en ciencia y tecnología se ve acentuada en el escenario del desarrollo nanotecnológico de los próximos años. En los Estados Unidos y otros países se han iniciado programas didácticos relacionados con el conocimiento básico de la nanociencia destinados a despertar el interés y fomentar el desarrollo de nuevas vocaciones en el ámbito de la educación primaria y secundaria. Estas políticas, junto con iniciativas para la atracción de talentos, pueden

fundamentar una masa crítica de capital humano especializado en un sector llamado a ser estratégico en las próximas décadas.

- Una estrategia activa a la hora de desarrollar sinergias concretas entre el sector privado y público más allá de la financiación. Un ejemplo podría ser el impulso de parques científicos y tecnológicos en el entorno de aquellas universidades con una masa crítica de investigadores relevantes y de empresas relacionadas con algunas aplicaciones potenciales. En este entorno, convendría clarificar objetivos de empleo en sector nanotecnológico, patentes, acceso a infraestructuras y equipamientos especializados de investigación, incentivos para la comercialización, incentivos para la creación de fondos de capital de riesgo privados, etcétera.
- Fomentar una *información veraz y rigurosa sobre las ventajas y riesgos de la nanotecnología*, una cultura social correcta que promueva una educación y toma de conciencia para escenarios venideros en los que las contribuciones de la nanotecnología sean más relevantes.<sup>24</sup>
- *Construir una regulación eficiente*. Algunas investigaciones sugieren importantes efectos en la salud, medio ambiente, seguridad, etc. La regulación debe adecuarse eficientemente para hacer posible su desarrollo minimizando riesgos importantes.

Hay una diferencia muy importante entre la nanotecnología, por una parte, y la sociedad de la información, Internet y los avances modernos en las telecomunicaciones, por otra. En estos últimos, la iniciativa privada ha sido motor del desarrollo, y la desregulación ha propiciado un marco idóneo para su expansión y rápido crecimiento en todo el mundo. La nanotecnología requerirá de un sistema eficaz de interacción pública y privada antes incluso del advenimiento de la nanotecnología avanzada. Los riesgos y beneficios deben ser bien administrados. Por tanto, sería importante promover acuerdos y políticas entre países y favorecer un marco de estrecha colaboración internacional en el que los Estados, aparte de fomentar estrategias nacionales, tuvieran en cuenta en todo caso que la nanotecnología puede ser uno de los estadios más ambicioso a los que podría llegar la sociedad del conocimiento, algo que obligaría a una fuerte revisión de los fundamentos de nuestros propios sistemas económicos. Y sería lógico plantearse ¿por qué no hacerlo desde ahora y progresivamente?

<sup>24</sup> Un interesante punto de vista es recogido en el artículo de Sytrand R. y Nydal R. (2008). "Nanoética buena – nanotecnología buena", *Revista Mundo Nano*, vol. 1, núm. 1, noviembre de 2008 | www.mundonano.unam.mx.

## Aplicaciones de las nanotecnologías en los estudios sobre el agua: un tema de interés estratégico para Iberoamérica y España

PEDRO A. SERENA\*

En los países más desarrollados el acceso al agua es tan común, y por lo general a un coste tan relativamente bajo, que sus habitantes no se plantean la importancia que tiene este líquido elemento en todo nuestro desarrollo. De la misma forma, no se es consciente del papel clave que el agua ha tenido y tiene para el desarrollo de la vida en la Tierra. Con este argumento seguramente sobran los demás para saber que nos encontramos frente a un tema de capital importancia.

Como no podía ser de otra forma, el desarrollo de la humanidad ha estado ligado a la capacidad de ingeniar y utilizar tecnologías vinculadas al agua: tecnologías de extracción, acumulación, distribución, eliminación y depuración de aguas residuales, sistemas optimizados de riego, sistemas de transporte fluviales y marítimos, contención de aguas, desalación de agua marina, obtención de alimentos mediante piscicultura, obtención de energía eléctrica en saltos hidráulicos, etc.<sup>1</sup> A lo largo de la historia, el desarrollo de las civilizaciones ha caminado de forma paralela a una creciente demanda de recursos hídricos. Sin embargo, la utilización de éstos ha terminado concentrándose en una pequeña parte de la humanidad (UNDP, 2006). Otro claro ejemplo de reparto desigual de los resultados del progreso humano. En un extremo, países como Estados Unidos y Australia tienen un consumo promedio, respectivamente, de 575 y 500 litros diarios por habitante, cantidad que en los países europeos se reduce a 200-350 litros por habitante y día. En el entorno iberoamericano, podemos mencionar que el consumo de agua en México se encuentra en los 365 litros diarios por habitante, y en España es de unos 320 litros por habitante y día. Ambos países se encuentran en la franja del consumo alto de agua. Por el contrario hay un gran número de regiones en las que el consumo está por debajo de unas pocas decenas de litros por día, incluso por debajo de los límites que aseguran la supervivencia.

Es obvio constatar que el consumo de agua en un país va ligado al factor combinado de la industrialización del mismo y de su ubicación en zonas climáticas secas que requieren grandes cantidades para usos agrícolas y ganaderos. Únicamente mil millones de personas tienen un acceso fiable al agua potable, precisamente aquellas que viven en países desarrollados. Otros cuatro mil millones de habitantes tienen problemas cotidianos para acceder a este recurso, y unos mil millones viven en condiciones de claro “déficit hídrico”. Como consecuencia de esta dificultad para conseguir agua

---

\* Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científica, c/ Sor Juana Inés de la Cruz, 3, 28049-Cantoblanco, Madrid, e-mail: pedro.serena@icmm.csic.es.

<sup>1</sup> La relación entre el desarrollo de la humanidad y las tecnologías del agua queda reflejada en la serie de artículos aparecidos durante 2006 y 2007 en la revista *Tecnología del Agua* (editada por la empresa Reed Bussiness Information) dentro de la sección “Agua y Culturas” (<http://www.rbi.es/nuevo/index.html>).

potable, cinco millones de personas enferman gravemente cada año, llegando a fallecer dos millones de niños por esta causa (UNDP, 2006). En cuanto al acceso al agua, los países iberoamericanos no tienen problemas excesivos, pues Haití es el único país que garantiza el acceso potencial (agua sin tratar) al líquido elemento a menos del 70% de su población. Sin embargo, la situación empeora si nos referimos al agua tratada o potabilizada, pues países como Venezuela, Guadalupe, Perú, El Salvador, Bolivia, y Haití no garantizan el 70% de cobertura (UNDP, 2006).

Aunque el consumo de agua está ligado claramente al grado de desarrollo industrial de un país no podemos olvidar que el continuo aumento de la población del planeta obliga al crecimiento global de la producción agrícola y ganadera, ejerciéndose así una gran presión sobre los recursos hídricos. Se estima, por ejemplo, que la cantidad de agua necesaria para producir 1 kg de cereales es de 1,500 litros de agua, y que 1 kg de carne de vacuno representa un gasto de 15,000 litros de agua (Hoekstra y Hung, 2002). Este tipo de estimaciones realizadas para diferentes tipos de alimentos o de productos procesados ha permitido establecer los conceptos de “agua virtual” y de “huella hídrica”, definiendo mapas de flujo de agua virtual entre los países (Hoekstra y Hung, 2002; Chapagain *et al.*, 2005).

En paralelo al consumo básico de agua, el mantenimiento o aumento de unas cotas de bienestar en los países desarrollados se traduce en un aumento imparable del consumo de agua. Decir, como ejemplo, que en el mundo se consumen 148,000 millones de litros de agua envasada al año. Otro ejemplo bastante llamativo de la relación entre “progreso” y consumo hídrico lo podemos encontrar en un país como España, que cuenta con cerca de 600,000 piscinas.<sup>2</sup> Si tenemos en cuenta este número, su capacidad media, y la necesidad de renovar cada día un 5% del volumen almacenado, encontramos que cada día se necesitan casi seis mil millones de litros diarios únicamente para renovar el agua de las piscinas españolas. Si tenemos en cuenta que, según datos del Foro Mundial del Agua,<sup>3</sup> un ser humano necesita para sobrevivir alrededor de 50 litros al día, el agua consumida en España para el mantenimiento de las piscinas podría servir para garantizar al acceso a agua tratada de 120 millones de personas cada día. Este dato se puede comparar con los más de mil millones de personas en todo el mundo que no tienen acceso a esta cantidad mínima de agua apta para el consumo. Como consuelo, podemos mencionar que la mayor parte de las piscinas españolas únicamente están en funcionamiento en los meses de verano.

Esta creciente demanda ha conducido a una explotación abusiva de manantiales, aguas de superficie y aguas subterráneas. Las primeras consecuencias de estas actuaciones son de índole ecológica, pues determinan cambios irreversibles de los ecosistemas, o deterioros en los acuíferos, como la contaminación de éstos por nitratos y fosfatos, o por arsénico. Sin embargo, no hay que olvidar las consecuencias socio-políticas, ya que la presión por los escasos recursos hídricos genera tensiones entre países (o entre regiones dentro de un país). Estas tensiones se vislumbran como posible origen de enfrentamientos armados a corto y medio plazo (Watkins y Berntell, 2006; Schwartz y Singh, 1999). Las Naciones Unidas se han marcado una serie de retos dentro del Proyecto Milenio (Millenium Project, 2005a, 2005b y 2005c) y entre ellos destaca el objetivo de lograr que el 25% de la población mundial tenga un acce-

<sup>2</sup> <http://revista.consumer.es/web/es/20030601/actualidad/informe1/>.

<sup>3</sup> Consejo Mundial del Agua: <http://www.worldwatercouncil.org/>.

so razonable al agua apta para el consumo. Esta iniciativa contribuirá al alivio temporal de parte de los focos de tensión internacional, retrasando el estallido de conflictos mientras se establecen soluciones de carácter más definitivo.

En este contexto turbulento, a lo largo de la última década han aparecido una serie de informes (IPCC, 2007; Al Gore, 2007) que confirman la existencia de un rápido —en términos geológicos— e inevitable cambio climático, alertando sobre sus consecuencias: el deshielo de los polos (representando una gran pérdida de agua dulce), el avance acelerado de los desiertos, las pérdidas de selvas y humedales, la desecación de lagos en zonas templadas, modificaciones en el régimen de lluvias, entre otros. Es decir, a la situación de escasez actual de recursos, que se deben compartir entre una población mundial que crece de manera imparable, debemos añadir un nuevo ingrediente perturbador: el cambio climático. Los países iberoamericanos están grandemente afectados por las consecuencias del cambio climático, al encontrarse ubicados en zonas secas o selváticas, que pueden sufrir más rápidamente la expansión de los desiertos o el deterioro de las masas forestales, junto con la intensificación de fenómenos como “El Niño” o el número de huracanes en las regiones caribeñas.

Ante este panorama tan preocupante, tan sólo queda replantear de forma global el modelo de desarrollo en el que hemos asentado nuestro progreso desde la llegada de la revolución industrial y dejar paso a nuevos esquemas como el planteado por desarrollo sostenible (WCED, 1987), el cual plantea actuaciones en muchos frentes (energía, vivienda, transporte, etc). Uno de los aspectos fundamentales del modelo del desarrollo sostenible es la necesidad de alcanzar una mejor, más racional y más eficiente utilización de los recursos hídricos.

Esta nueva forma de plantear el diseño de nuestro desarrollo debe involucrar todas las perspectivas: la mejora y optimización de infraestructuras, la educación de la ciudadanía, la cooperación internacional, la valoración de la generación/pérdida de agua en términos de impacto medioambiental, por mencionar algunos. Además, y de forma obligada, se deben incentivar las actividades de investigación y desarrollo sobre el agua (desalación, descontaminación, depuración, detección y medición de contaminantes, eficiencia de su transporte y gestión, etc.), actividades que deben abordarse desde una perspectiva multidisciplinar, pues este tipo de enfoques es el que puede producir avances más rupturistas.

España, Perú, Bolivia, Chile y México son unos de los principales actores sobre este escenario de la escasez de recursos, dada su ubicación geográfica en las fronteras de la imparable desertización, y dada la enorme necesidad de recursos hídricos que se requieren para asegurar el progreso de estos países (en el esquema actual de desarrollo insostenible). En España, como se indicó, el consumo de agua por persona es de unos 320 litros/día lo que nos sitúa entre los diez países de mayor consumo. Un 80% de este consumo se dedica a regadío, un 14% al abastecimiento de núcleos urbanos y un 6% a usos industriales.<sup>4</sup> La combinación de estos niveles de consumo y nuestro modesto régimen de lluvias nos convierten en el cuarto país del mundo en número de grandes presas (unas 1,200). También, como ya se ha mencionado anteriormente, países como México no van a la zaga en cuanto a consumo de agua, y en el Distrito Federal se llegan a consumir del orden de 400 litros por habitante y día.

---

<sup>4</sup> Información sobre la situación del agua en España se encuentra en la página web <http://www.miliarium.com/Monografias/>, que incluye informes sobre el Plan Hidrológico Nacional y el Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua).

En el caso de España, el consumo de agua es elevado, tal y como corresponde a un país desarrollado con una poderosa agricultura, favorecida por un clima benigno, pero que, en muchos casos, sigue usando sistemas ineficientes de riego. Este esquema se puede aplicar a otros países como México, y en menor medida a Chile o Perú. La sobreexplotación de los acuíferos y malas prácticas agrarias han hecho que muchos de estos acuíferos se contaminen por nitratos y fosfatos. En España, muy recientemente, se han dado casos de contaminación por arsénico de varios acuíferos, afectando a decenas de miles de personas (como la contaminación del acuífero de Los Arenales en Castilla-León (García-Sánchez *et al.*, 2005; Martín-Gil *et al.*, 2002)). Esta misma forma de contaminación se está dando de forma masiva en Bangla Desh, pero la situación en Chile, Argentina o México no se puede catalogar de optimista (Smith *et al.*, 2000). Por citar un ejemplo, más de dos millones de habitantes de los estados mexicanos de Chihuahua, Coahuila, Durango, Hidalgo, Nuevo León y Puebla, se encuentran expuestos a beber agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud.<sup>5</sup>

Además de la presión agrícola, países como España y México reciben decenas de millones de turistas (UNTWO, 2008) deseosos de poder disfrutar de alimentos sanos, agua para el aseo, piscinas, etc. Más aún, la necesidad de aumentar la “calidad” de la oferta turística hace necesaria la promoción de nuevos elementos de atracción, como ocurre con los parques acuáticos o los campos de golf. En relación con esta práctica deportiva, España cuenta en la actualidad con casi 350 campos de golf, visitados por más de medio millón de turistas extranjeros. Paradójicamente, el 35% de estos campos están ubicados en las comunidades autónomas de Andalucía y Murcia, regiones con más de la mitad de su territorio bajo la amenaza de desertización.<sup>6</sup> Éste es otro ejemplo real de las situaciones a las que lleva un progreso económico carente de todo criterio de sostenibilidad.

Esta forma de plantear el crecimiento económico, la alarma por el cambio climático, la mayor información a la que los ciudadanos pueden acceder, entre otros, han favorecido la creciente preocupación social por los temas relacionados con el agua. Como ejemplo de este debate social podemos citar parte de los hechos ocurridos en España en esta última década: las movilizaciones a favor y en contra de los transvases desde la cuenca del río Tajo a la del Segura, la encrespada discusión política sobre las paralizadas obras del transvase del Ebro contempladas en el Plan Hidrológico Nacional,<sup>7</sup> la incorporación en los nuevos Estatutos de Autonomía de las Competencias sobre la Gestión de las Aguas de Ríos, o el debate sobre la construcción de una veintena de plantas desaladoras dentro del Programa AGUA lanzado por el Ministerio de Medioambiente<sup>8</sup>. Seguramente se pueden encontrar analogías con toda esta problemática en otros países como México, Chile, Bolivia o Perú. No cabe duda de que la gestión del agua es un problema estratégico para estos países y que el agua, como ele-

<sup>5</sup> Noticia aparecida en *La Jornada*, México DF, 23 de junio de 2006, haciéndose eco de la celebración en México del Congreso Internacional As 2006 (Arsénico Natural en Aguas Subterráneas de América Latina).

<sup>6</sup> Informe del Programa de Acción Nacional contra la Desertificación, del Ministerio de Medio Ambiente de España. Informe accesible en <http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/>.

<sup>7</sup> La información sobre el Programa AGUA del Ministerio de Medio Ambiente se encuentra en <http://www.mma.es/secciones/agua/entrada.htm>.

<sup>8</sup> *Ibid.* Información sobre la situación del agua en España se encuentra en la página web <http://www.miliarium.com/Monografias/>, que incluye informes sobre el Plan Hidrológico Nacional y el Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua).

mento estratégico, debería ser una de las prioridades de las actividades de I+D de estos países.

La nanotecnología es un área multidisciplinar que amalgama conocimientos científico-técnicos provenientes de diversas áreas y, por lo tanto, posee áreas de aplicación muy extensas. Así, es lógico pensar en la existencia de puntos de encuentro entre la nanotecnología y el estudio del agua, tal y como ponen de manifiesto diferentes informes norteamericanos<sup>9</sup> y europeos (Saxl, 2005). Por lo general, en estos informes el tema del agua no tiene la misma importancia en comparación con otros temas de mayor peso para los sectores industriales de los países más desarrollados (electrónica, informática, telecomunicaciones, automoción, aeronáutica, biomedicina, defensa, etc.). Dichos informes incluyen, de forma vaga, algunas líneas de investigación relacionadas con las tecnologías del agua: diseño y fabricación de nanosensores, técnicas analíticas para medir la calidad del agua; técnicas de filtración y purificación basadas en la nanotecnología usando sistemas de membranas fabricadas con materiales multifuncionales, desarrollo de productos textiles hidrófobos que no se ensucien fácilmente, producción de vegetales de bajo consumo de agua, etc. Si nos fijamos en lo ocurrido en España, la Acción Estratégica de Nanociencias y nanotecnologías del anterior Plan Nacional de I+D+i 2004-2007<sup>10</sup> no incluye líneas donde se produzca de forma clara el encuentro entre la nanotecnología y los diversos aspectos relacionados con el agua. Sin embargo, esta situación se ha corregido de forma parcial en el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011,<sup>11</sup> que incluye una Acción Estratégica de Nanotecnología con una línea de actuación en temas medioambientales (que puede incluir parte de la temática “agua”).

Esta situación de débil interacción entre los temas agua y nanotecnología se ha ido corrigiendo en los últimos años como se demuestra con diferentes evidencias. Por un lado, se han celebrado conferencias internacionales en las que la conjunción de ambos temas ha sido la protagonista.<sup>12</sup> Por otro, han aparecido varios informes internacionales en los que se demuestra el amplio abanico de aplicaciones de la nanotecnología en el ámbito del agua (Meridian Institute, 2005, 2006a, 2006b; Salamanca-Buentello, 2005). Además, se puede constatar que las actuaciones en este ámbito tienen como potenciales beneficiarios a los miles de millones de habitantes que viven en países pobres o en vías de desarrollo, por lo que la nanotecnología es una herramienta clave, según las Naciones Unidas, para alcanzar algunos de los objetivos del Proyecto Milenio (Millenium Project, 2005a, 2005b, 2005c).

Siguiendo los informes de la Fundación Meridian (Meridian Institute, 2005, 2006a, 2006b) las aplicaciones de la nanotecnología en el ámbito de los estudios sobre el agua se pueden clasificar de acuerdo con estas temáticas:

- Membranas para nanofiltración (Ng y Ong, 2006). Desarrollo de nanomateriales (basados en nanotubos de carbono (Srivastava *et al.*, 2004), sistemas porosos

<sup>9</sup> “The National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan” (2004); véase The National Nanotechnology Initiative; Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry, Supplement to President’s FY 2007 Budget” (2006). Estos documentos se pueden encontrar en <http://www.nano.gov>.

<sup>10</sup> [http://www.mec.es/ciencia/plan\\_idi/](http://www.mec.es/ciencia/plan_idi/).

<sup>11</sup> [http://www.plannacionalidi.es/plan-idi-public/documentos/plan\\_nacional\\_08-11.pdf](http://www.plannacionalidi.es/plan-idi-public/documentos/plan_nacional_08-11.pdf).

<sup>12</sup> Nanowater Conference 2004, <http://www.cientifica.eu/>. Commercialising Nanotechnology in Water 2006. Melbourne, Australia. International Workshop on Nanotechnology, Water & Development, 10-12 de octubre de 2006, Chennai, India. 3rd Annual Greener Nanoscience Conference 2008 (Corvallis, Oregon, EUA).

de alumina, por mencionar algunos) para construir estructuras con dimensiones, densidades y formas controladas, capaces de filtrar selectivamente virus, bacterias, etcétera.

- Filtros basados en nanopolímeros, arcillas de atapulgita y zeolitas. Estos elementos naturales ya han sido usados como filtros desde hace tiempo pero la nanotecnología permite modificar algunas de sus propiedades (como el tamaño de poro o la inclusión de nanopartículas bactericidas) para hacerlos más eficientes (Prashant y Pradeep, 2005).
- Mejora de técnicas de desalación (ósmosis inversa) mediante nanotecnología. El proceso de osmosis inversa (Wilf *et al.*, 2007), usado en las plantas desaladoras convencionales, puede mejorar su eficiencia mediante la adecuada combinación de nanomembranas y sistemas de nanofiltrado.
- Nanopartículas (Tiwari *et al.*, 2008). Las nanopartículas de dióxido de titanio, de hierro, plata, zinc, etc., se pueden usar como catalizadores para degradar contaminantes orgánicos y eliminar sales y metales pesados de los líquidos en los que están disueltos. En el caso de las nanopartículas magnéticas, es posible recubrirlas con diferentes componentes con afinidad selectiva por ciertas sustancias contaminantes. Mediante la aplicación de campos magnéticos es posible también la eliminación de las sustancias que se adsorban sobre la nanopartícula magnética.
- Nanosensores para la detección de contaminantes. La combinación de técnicas de nanomicrofabricación (propias de la microelectrónica) y métodos propios de la química y la biotecnología permiten construir distintos tipos de sensores que pueden tener su aplicación en la detección de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua.

En la tabla 1 se ilustra la actividad en el campo de la nanotecnología y el agua con ejemplos concretos de investigaciones en marcha o productos ya desarrollados.

Sin embargo, no sólo las nanotecnologías del agua se relacionan con los apartados anteriormente expuestos (que son muy cercanos al tema de la detección y tratamiento de la contaminación del agua). La nanotecnología da mucho más juego. También se puede abordar el tema del agua desde una perspectiva nanotecnológica diseñando nuevos nanomateriales o nanodispositivos para fabricar sensores de diverso tipo<sup>13</sup> (Cuartero Zueco *et al.*, s/f), realizando estudios sobre el comportamiento de nanofluidos (Carrasco *et al.*, 2009; Karl Johnson *et al.*, 2006), aproximarse al estudio de las propiedades del agua mediante microscopios de sonda local (Gil *et al.*, 2000), sintetizando nanocompuestos que permitan aumentar la solubilidad de compuestos orgánicos en agua,<sup>14</sup> estudiando sistemas superabsorbentes de agua u otros líquidos (Zhang *et al.*, 2007), obteniendo nuevos polímeros basados en moléculas como las ciclodextrinas capaces de efectuar tareas de descontaminación,<sup>15</sup> efectuando simulaciones

<sup>13</sup> Ver los desarrollos hechos por la empresa española SENSIA (<http://www.sensia.es/>). En la actualidad SENSIA forma parte del Grupo GENETRIX (<http://www.genetrix.es/>).

<sup>14</sup> Neowater™ (<http://www.docoop.com/>).

<sup>15</sup> Proyecto "Nanoencapsulación de Derivados del Dibenzofurano mediante Polímeros Hidrosolubles de Ciclodextrina. Aplicación a su Extracción y Preconcentración", dirigido por Gloria Tardajos Rodríguez y financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia.

**TABLA 1\***

Institución / Organismo / Empresa	País	Descripción de la tecnología	Página web
<b>Tecnologías de nanofiltración por membranas</b>			
Renseelaer Polytechnic Institute	EUA	Filtros basados en nanotubos de carbono para eliminar del agua contaminantes de tamaño micro y nanométrico.	<a href="http://www.rpi.edu/">http://www.rpi.edu/</a>
Seldon Laboratorios (Vermont)	EUA	Filtros basados en nanotubos de carbono para eliminar del agua contaminantes de tamaño micro y nanométrico. (Nanomesh ©).	<a href="http://www.seldontechnologies.com/">http://www.seldontechnologies.com/</a>
Banaras Hindu University	India	Filtros basados en nanotubos de carbono para eliminar del agua contaminantes de tamaño micro y nanométrico.	<a href="http://www.bhu.ac.in/">http://www.bhu.ac.in/</a>
Argonide	EUA	Desarrolla filtros basados en nanofibras de alumina depositados sobre un sustrato de fibra de vidrio (Nanoceram©).	<a href="http://www.argonide.com/">http://www.argonide.com/</a>
Solmetex	EUA	Desarrolla y fabrica membranas basadas en resinas capaces de capturar metales pesados y complejos metálicos (arsénicos, mercurio, cadmio, cianida, etc.).	<a href="http://www.solmetex.com/">http://www.solmetex.com/</a>
Filmtec Corporation	EUA	Tecnologías de filtración mediante nanomembranas.	<a href="http://www.dow.com/liquidseps/index.htm">http://www.dow.com/liquidseps/index.htm</a>
KX Industries	EUA	Tecnologías de filtración mediante nanomembranas fabricadas de polímeros, resinas, celulosa, cerámica, etc.	<a href="http://www.kxindustries.com/corporate/corp_home.asp">http://www.kxindustries.com/corporate/corp_home.asp</a>
North West Univerity, Potcherstroom	Rep. de Sudáfrica	Tecnologías de filtración mediante nanomembranas.	<a href="http://www.puk.ac.za/fakulteite/natuur/scb/index_e.html">http://www.puk.ac.za/fakulteite/natuur/scb/index_e.html</a>
University of Stellenbosch, Institute of Polymer Science	Rep. de Sudáfrica	Tecnologías de filtración mediante nanomembranas.	<a href="http://academic.sun.ac.za/polymer/">http://academic.sun.ac.za/polymer/</a>
FluXXion	Holanda	Nanomembranas para filtración en procesos industriales.	<a href="http://www.fluxion.com/">http://www.fluxion.com/</a>
Berghof	Alemania	Nanomembranas para filtración en procesos industriales.	<a href="http://www.berghof-gruppe.de/ZUNDEL_HOLDING.html">http://www.berghof-gruppe.de/ZUNDEL_HOLDING.html</a>
Saehan	Corea del Sur	Nanomembranas para filtración en procesos industriales.	<a href="http://www.saehan.com/">http://www.saehan.com/</a>
<b>Zeolitas, arcillas de atapulgita, y polímeros nanoporosos</b>			
Los Alamos National Laboratory	EUA	Desarrolla nuevos tipos de materiales poliméricos nanoporosos capaces de reducir la concentración de contaminantes orgánicos comunes del agua a niveles de una parte por billón.	<a href="http://www.lanl.gov/">http://www.lanl.gov/</a>
MetaMateria Partners	EUA	Desarrolla cerámicas nanoporosas para ser usadas en tecnologías de filtración.	<a href="http://www.metamateria.com/">http://www.metamateria.com/</a>

<b>Institución / Organismo / Empresa</b>	<b>País</b>	<b>Descripción de la tecnología</b>	<b>Página web</b>
Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)	EUA	Desarrolla cerámicas nanoporosas sobre las que se depositan monocapas de diversas moléculas para eliminar contaminantes de forma selectiva.	<a href="http://www.pnl.gov/">http://www.pnl.gov/</a>
Nanovation AG	Alemania	Desarrolla cerámicas nanoporosas para ser usadas en tecnologías de filtración (Nanopore ©).	<a href="http://www.itn-nanovation.com/main.asp?page=home">http://www.itn-nanovation.com/main.asp?page=home</a>
<b>Tecnologías de desalación mejoradas con nanotecnologías</b>			
The Stephen and Nancy Grand Water Research Institute	Israel	Ósmosis inversa con presión aplicada en el agua salina forzándola a atravesar una membrana nanoporosa.	<a href="http://gwri.technion.ac.il/">http://gwri.technion.ac.il/</a>
Long Beach Water Department	EUA	Estudios del coste energético de la desalación del agua usando procesos de nanofiltración en dos etapas.	<a href="http://www.waterindustry.org/New%20Projects/desal-20.htm">http://www.waterindustry.org/New%20Projects/desal-20.htm</a>
<b>Uso de nanopartículas para degradación catalítica de aguas contaminadas</b>			
Inframat Corporation	EUA	Desarrollo de materiales compuestos de estructuras nanofibras que capturan arsénico del agua mediante la combinación de nanofibras de óxido de manganeso (proceso de oxidación) con hidróxido férrico nanogranular (proceso de adsorción).	<a href="http://www.inframat.com/">http://www.inframat.com/</a>
Environmental Care	Hong Kong (RPC)	Desarrolla tecnologías de oxidación nanofotocatalítica para la eliminación de bacterias y contaminantes del agua.	<a href="http://www.environmentalcare.com.hk/">http://www.environmentalcare.com.hk/</a>
University of Illinois, University of Pittsburg, Yeshiv University	EUA	Estudios del uso de nanocatalizadores para reducir contaminación debida a contaminantes tipo nitratos.	<a href="http://www.illinois.edu/">http://www.illinois.edu/</a> <a href="http://www.pitt.edu/">http://www.pitt.edu/</a> <a href="http://www.yu.edu/">http://www.yu.edu/</a>
Rice University	EUA	Estudio del uso de nanocatalizadores para eliminación de tricloroetileno de las aguas subterráneas.	<a href="http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc_id=5099">http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc_id=5099</a>
Oklahoma State University	EUA	Estudio del uso de nanopartículas de óxido de zinc para eliminar arsénico de las aguas subterráneas.	<a href="http://osu.okstate.edu/">http://osu.okstate.edu/</a>
<b>Nanopartículas magnéticas para depuración y tratamiento de aguas</b>			
Rice University	EUA	Desarrollo de nanocristales de magnetita para extracción de arsénico de aguas subterráneas.	<a href="http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc_id=5100">http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc_id=5100</a>
<b>Nanosensores para detección de contaminantes y entes patógenos en agua</b>			
BioFinger	Europa	Desarrollo de herramientas portátiles de detección.	<a href="http://www.biofinger.org/">http://www.biofinger.org/</a>
University of Buffalo	EUA	Desarrollo de equipos de detección de mano capaces de detectar toxinas usadas en guerra biológica.	<a href="http://www.buffalo.edu/">http://www.buffalo.edu/</a>
University of Maryland	EUA	Desarrollo de equipos de detección y filtrado de entes patógenos que producen enfermedades gastrointestinales.	<a href="http://www.umd.edu/">http://www.umd.edu/</a>

\* Esta tabla es una adaptación de las tablas 3-8 que aparecen en Meridian Institute (2006a) y de los contenidos encontrados en Meridian Institute (2005, 2006b) y Salamanca-Buentello *et al.* (2005).

numéricas y estudios teóricos de las propiedades y estructura del agua<sup>16</sup> (Franzese *et al.*, 2003), entre otros. Es decir, el tema del agua se entronca perfectamente con la nanociencia (perspectiva básica) y la nanotecnología (perspectiva aplicada).

En el mundo existen multitud de centros de investigación dedicados a los estudios sobre el agua, pero muy pocos de ellos incluyen el agua entre las líneas prioritarias de investigación. A modo de ejemplo, podemos mencionar que en España existen varios institutos<sup>17</sup> dedicados al estudio del agua desde muy diversas perspectivas (desalación, bio-remediación, filtrado, transporte, gestión de recursos e infraestructuras, etc.), pero en ellos no se detecta actividad visible en el ámbito de las nanotecnologías. De igual manera, para los grupos e institutos de investigación españoles dedicados a nanociencia, el estudio del agua no ha sido nunca una línea prioritaria.

Sin embargo, ha quedado demostrado que la nanotecnología tiene muchos conocimientos y metodologías que ofrecer para el estudio básico y aplicado del agua. Además, el tema del agua preocupa a la ciudadanía de diversos países y en un futuro probablemente condicionará su desarrollo económico.

En el caso español, aunado a este interés político y social, también existe un tejido empresarial considerable relacionado con las tecnologías del agua. Aunque muchas de estas empresas están orientadas a la gestión del agua y a la mera obra civil, hay otras que sí hacen claros esfuerzos en I+D y ocupan posiciones de liderazgo a nivel mundial, sobre todo en el tema de la desalación por osmosis inversa, filtrado, etc.<sup>18</sup> Por ejemplo, la empresa española ACCIONA Agua<sup>19</sup> ha sido seleccionada para llevar a cabo el diseño, ingeniería, construcción y puesta en marcha de una planta de desalación de agua de mar en California, que será la mayor de Estados Unidos y la quinta del mundo. Dicha planta producirá más de 200,000 m<sup>3</sup>/día de agua potable. La misma empresa ha obtenido, en unión con otras compañías, un contrato para construir otra planta desaladora en Australia, con una capacidad de 300,000 m<sup>3</sup>/día. Por lo tanto, la investigación en este tema sí que tiene un gran potencial de aplicación, dando lugar a una rápida transferencia del conocimiento generado.

Parece claro que hay que aprovechar todos los recursos que tengamos a nuestro alcance para resolver los problemas que la gestión y el tratamiento del agua plantean. La nanotecnología tiene algo que decir al respecto. Países como Israel<sup>20</sup> o Australia<sup>21</sup> ya han impulsado la conexión entre “nano” y agua, dado que consideran el tema de los recursos hídricos realmente como prioritario a todos los niveles, incluido el de la I+D. Por lo tanto, siguiendo el ejemplo de estos países es necesario que en algunos de

<sup>16</sup> En este sitio se encuentra amplia información acerca de muchos estudios efectuados sobre la estructura del agua <http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html>.

<sup>17</sup> Instituto del Agua, de la Universidad de Granada (<http://www.ugr.es/~iagua/>). Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente (INUAMA) de la Universidad de Murcia, (<http://www.um.es/inuama/presentacion.php>). Instituto Tecnológico del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia y la Generalitat Valenciana (<http://www.ita.upv.es/>). Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, IUACA (<http://www.ua.es/institutos/iuaca/instituto/index.html>). Instituto Madrileño de Estudios Avanzados IMDEA-Agua de la Comunidad Autónoma de Madrid (<http://www.imdea.org/>).

<sup>18</sup> Asociación Española de Desalación y Reutilización (<http://www.aedyr.com/flash/index.htm>).

<sup>19</sup> Acciona-Agua (<http://www.acciona-agua.es/>).

<sup>20</sup> Para conocer la financiación de Israel a proyectos nanotecnológicos relacionados con el agua, ver la página web [http://www.nanoisrael.org/nanoil\\_research.asp](http://www.nanoisrael.org/nanoil_research.asp).

<sup>21</sup> “Advanced membrane technologies for water treatment research cluster” (Australia) (<http://www.csiro.au/resources/pfuu.html>).

los centros emergentes dedicados a nanotecnología que se crean en España, México, Argentina, entre otros países, se incluyan líneas dedicadas al estudio del agua desde las diversas perspectivas antes mencionadas. Incluso se puede pensar en la posibilidad de crear institutos multidisciplinares de investigación dedicados a nanotecnología y al agua.

En conclusión, este campo parece un lugar de encuentro entre el mundo académico y empresarial. Dado que los países deben focalizar sus esfuerzos en I+D hacia sectores concretos, especializándose para ser competitivos en ciertos nichos de mercado; el sector del agua debe, sin duda alguna, convertirse en un referente de los sistemas nacionales de I+D. El desarrollo de tecnologías relacionadas con el agua no sólo permitirá a los países que las generen resolver problemas de tipo doméstico y asegurar su propio abastecimiento, sino que servirá para controlar un conocimiento que permitirá mejorar las condiciones de vida (con beneficios seguros) de varios miles de millones de sedientos habitantes de este planeta. Esperemos que esta oportunidad no se nos escurra entre los dedos.

## REFERENCIAS

- Al Gore. (2007). *Una verdad incómoda: la crisis planetaria del calentamiento global y como afrontarla*. Gedisa, Barcelona. (2007).
- Asociación Española de Desalación y Reutilización (<http://www.aedyr.com/flash/index.htm>).
- Carrasco, C., M. Douas, R. Miranda, M. Castellanos, P. A. Serena, J. L. Carrascosa, M. G. Mateu, M. I. Marqués y P. J. de Pablo. (2009). "The capillarity of nanometric water menisci confined inside closed-geometry viral cages". *PNAS* 106, 5475.
- Chapagain, A.K., A. Hoekstra, y H.H.G. Savenije, (2005). "Saving water through global trade", *Values of Water Research Report Series*, núm. 17. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. Accesible en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report17.pdf>.
- Cuartero Zueco, J., E. Ruiz-Hitzky, P. Aranda y M. Darder. (s/f). Proyecto "Control inteligente de sensores para regular soluciones nutritivas recirculadas y minimizar los vertidos de agua y nutrientes (IFAPA-2002.000890)", financiado por la Junta de Andalucía.
- Franzese, G., M. I. Marqués, y H. E. Stanley. (2003). "Intramolecular coupling as a mechanism for a liquid-liquid phase transition", *Phys. Rev. E* 67, 011103.
- García-Sánchez, A., A. Moyano y P. Mayorga. (2005). "High arsenic contents in groundwater of central Spain", *Environmental Geology* 47(6) 847.
- Gil, A., J. Colchero, M. Luna, J. Gómez-Herrero y A.M. Baró. (2000). "Adsorption of water on solid surfaces studied by scanning force microscopy". *Langmuir* 16, 5086-5092.
- A. Gil, J. Colchero, J. Gómez-Herrero y A.M. Baró. (2001) "Different stages of water adsorption on Au by dynamic SFM and jumping mode". *Applied Physics A* 72, S137-S140.
- Hoekstra, A.Y. y P.Q. Hung. (2002). *Virtual water trade - A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. (UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. Accesible en <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>.
- IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). "Climate change 2007. Climate changes impact, adaptation and vulnerability." El informe se puede descargar de la dirección <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>.

- Jain, Prashant y T. Pradeep. (2005). "Potential of silver nanoparticle-coated polyurethane foam as an antibacterial water. Filter". *Biotech. and Bioengineering* 90, 59.
- Johnson, J. Karl, John T. Yates Jr. y Oleg Byl. (2006). "Unusual hydrogen bonding in water-filled carbon nanotubes". *Journal of the American Chemical Society: JACS*, 128, 12090.
- Martín-Gil, J., J.M. San-Martín-Toro y J. M. Martín-Villota. (2002). "Problemática planteada por la presencia de niveles elevados de arsénico en el acuífero de los Arenales (sur del Duero)". *Tecnoambiente*, año XII (118).
- Meridian Institute. (2005). "Nanotechnology and the poor: Opportunities and risk". Documento accesible en <http://www.meridian-nano.org/gdnp/paper.php>.
- \_\_\_\_\_. (2006a). "Nanotechnology, water, and development". Documento accesible en <http://www.merid.org/nano/waterpaper/>.
- \_\_\_\_\_. (2006b). "Overview and comparison of conventional and nano-based water treatment technologies". Documento accesible en <http://www.merid.org/nano/water-techpaper/>.
- Millennium Project, Task Force on Science, Technology and Innovation. (2005a). *Investing in development: A practical plan to achieve the millennium development goals*, Earthscan, Londres. El documento es accesible en <http://www.unmillenniumproject.org/>.
- Millennium Project, Task Force on Science, Technology and Innovation. (2005b). *Innovation: applying knowledge in development*, Earthscan, Londres. El documento es accesible en <http://www.unmillenniumproject.org/>.
- Millennium Project, Task Force on Water and Sanitation. (2005c). *Health, dignity, and development: what will it take?*. Earthscan, Londres. El documento es accesible en <http://www.unmillenniumproject.org/>.
- Ng, H.Y. y S.L. Ong. (2006). "Membrane technology for environmental applications—opportunities and challenges", *Water Environ. Res.* 78, 779-80.
- Salamanca-Buentello, F., D.L. Persad, E.B. Court, D.K. Martin, A.S. Daar, and P.A. Singer. (2005). "Nanotechnology and the developing world". *PLoS Medicine* 2, 300-303.
- Saxl, Ottilia. (2005). "Nanotechnology – a key technology for the future of Europe". Este documento es accesible en <http://www.madrimasd.org/cimtan/Seleccion/>.
- Schwartz, D. y A. Singh. (1999). *Environmental conditions, resources, and conflicts: An introductory overview and data collection*. United Nations Environment Programme (UNEP) (ed.). El informe se puede descargar de <http://na.unep.net/publications/Conflicts.pdf>.
- Smith, Allan H., Elena O. Lingas, y Mahfuzar Rahman. (2000). "Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: A public health emergency", *Bull World Health Organ* vol. 78, núm. 9. Ginebra.
- Srivastava, A., O. N. Srivastava, S. Talapatra, R. Vajtai y P. M. Ajayan. (2004). "Carbon nanotube filters". *Nature Mat.* 3, 610-614.
- Tiwari, D.K., J. Behari y Prasenjit Sen. (2008). "Application of Nanoparticles in Waste Water Treatment". *World Applied Sciences Journal* 3, 417.
- UNDP (United Nations Development Programme). (2006). "Human Development Report 2006. Power, poverty and the global water crisis". Palgrave MacMillan, Nueva York. El informe se puede descargar de la dirección <http://hdr.undp.org/hdr2006/>.
- UNTWO. (2008). "UNTWO world tourism barometer". *UNTWO*, vol. 5, núm. 2, junio accesible en <http://www.unwto.org/facts/eng/barometer.htm>

- Watkins, Kevin y Anders Berntell. (2006). "A global problem: How to avoid war over water", *International Herald Tribune*, núm. 23, agosto.
- WCED, United Nations World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford, Oxford University Press. Este documento, (también conocido como "Informe Brundtland") es accesible en <http://ringofpeace.org/environment/brundtland.html>.
- Wilf, M. L. Awerbuch, C. Bartels, M. Mickley, G. Pearce y N. Voutchkov. (2007). *The guidebook to membrane desalination technology: Reverse osmosis, nanofiltration and hybrid systems process, design, applications and economics*. Balaban Pub., Philadelphia.
- Zhang, J. H. Chen y A. Wang, (2007). "Study on superabsorbent composites. xv. Effects of ion-exchanged attapulgite on water absorbency of superabsorbent composites", *Polymer Composites* 28, 208 – 213.

# LIBROS E INFORMES

## NANOTECHNOLOGIES – HEALTH AND SAFETY PRACTICES IN OCCUPATIONAL SETTINGS RELEVANT TO NANOTECHNOLOGIES. TECHNICAL REPORT. ISO/TR 12885. 2008

El informe describe prácticas de salud y de seguridad en ambientes ocupacionales que son relevantes en lo que concierne a las nanotecnologías. Se centra en el ámbito ocupacional de la manufactura y el uso de nanomateriales diseñados. No se ocupa de cuestiones de salud y seguridad o de prácticas relacionadas con nanomateriales resultantes de procesos naturales, procesos de calor y otras operaciones estándar en las que intencionalmente se generan nanomateriales o potenciales exposiciones de consumidores.

Contiene una descripción de los nanomateriales, en particular de aquellos de base carbono, óxidos y metales, de puntos cuánticos, nanomateriales poliméricos y bio-inspirados. Detalla procesos de su producción, incluyendo métodos de deposición por vapor, de autoensamblado coloidal, de electrodeposición, de electro-espín y por desgaste. Examina la caracterización del peligro, las incertezas de los efectos en la salud, la relevancia de la información sobre potenciales efectos en la salud, las consideraciones de procedimientos de seguridad en la manufactura de materiales, entre otros aspectos. Ofrece una indagación sobre el marco científico para el desarrollo de evaluaciones de exposición a nanomateriales, sobre las rutas de exposición, de métodos para caracterizar la exposición a nanopartículas, de la evaluación de exposición por la vía cutánea o de exposiciones internas (en términos de dosis). Finalmente, concluye con una consideración sobre las evaluaciones del riesgo en ambientes o espacios ocupacionales, al tiempo que examina y propone metodologías de control.

El informe de la ISO se basa en información actual acerca de las nanotecnologías, incluidas cuestiones sobre caracterización, efectos en la salud, evaluaciones de exposición y prácticas de control. Ofrece una relación amplia de bibliografía



especializada por temáticas abordadas que se considera de gran utilidad.

La información contenida se estima provechosa, tanto para compañías, como investigadores, trabajadores y otras personas en la prevención de consecuencias adversas a la salud y a la seguridad durante la producción, manipulación, uso y desecho de nanomateriales manufacturados.

§

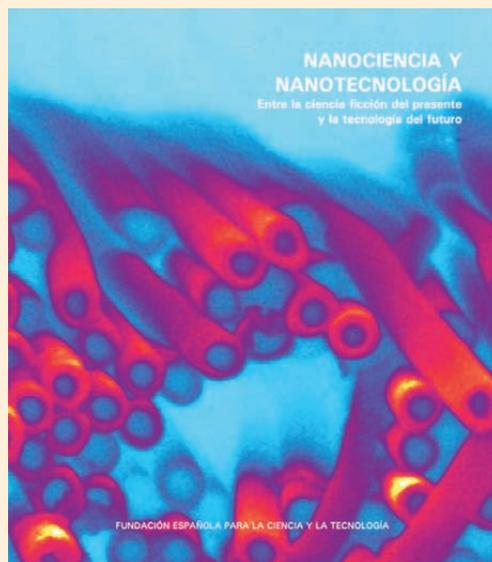
Se puede adquirir en:  
[www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=52093](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=52093).



**NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA.**  
**ENTRE LA CIENCIA FICCIÓN DEL PRESENTE Y LA TECNOLOGÍA DEL FUTURO**  
**FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.**  
**ESPAÑA, 2009**

Es uno de los primeros libros de divulgación científica de la nanociencia y la nanotecnología en español. Editado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, el texto es resultado —señalan sus coordinadores— de la toma de conciencia y responsabilidad de las dificultades que entraña hacer divulgación científica sobre un tema tan complejo e interdisciplinar. Complejo, porque conceptos abstractos como la teoría cuántica son necesarios para conocer las propiedades de los elementos que conforman nuestro entorno, y más aún para entender el comportamiento de la materia en la nanoescala. Interdisciplinar, porque para llegar a comprender, por ejemplo, cómo se incorporará la electrónica molecular en los procesadores o dispositivos biomédicos del futuro, debemos saber qué son las moléculas, qué propiedades tienen, cómo funcionan en un ser vivo, qué tipo de tecnología necesitamos para manipularlas y en qué está basada la electrónica actual. Intentaremos evitar la complejidad, huyendo en lo posible de las fórmulas y las palabras técnicas, y no dando por sabido ningún concepto importante.

El volumen ofrece pues una revisión panorámica del mundo nano, sus características y propiedades; de las nanoherramientas para ver, tocar, mover y escribir a esa escala; de los nuevos materiales de base carbono como los fulleremos y nanotubos de carbono; de la nanoquímica a partir de explicar la posibilidad de construir dispositivos moleculares desde una aproximación *bottom-up*, de la química supramolecular y el di-



seño de moléculas, de la producción de monocapas autoensabladas, etc. También indaga en el cruce de la nano-bio-tecnología; de la potencialidad de la nano-electrónica y el avance de capacidades de nano-simulación; de nanoaplicaciones concretas de nanomateriales; así como de las implicaciones sociales de la nanotecnología.

§

El material se puede descargar en:  
[www.icmab.es/nanoselect/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=40](http://www.icmab.es/nanoselect/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=40).

**HULLMANN, ANGELA**

**EUROPEAN ACTIVITIES IN THE FIELD OF ETHICAL, LEGAL AND SOCIETAL ASPECTS (ELSA) AND GOVERNANCE OF NANOTECHNOLOGY**

**COMISIÓN EUROPEA. 1 DE OCTUBRE DE 2008**

Informe detallado de las actividades en aspectos éticos, sociales y legales (ELSA) de la nanotecnología en Europa.

Según el informe, la Comisión Europea financió un solo proyecto relacionado con la gobernanza de la nanociencia y la nanotecnología por 2.76 millones de euros en el contexto del Quinto Programa Marco (1998-2002): el Pan-European Forum for Nanotechnology o Nanoforum ([www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)). Para el Sexto Programa Marco (2002-2006), la Comisión financió 20 proyectos por un total de 15.8 millones de euros de los cuales 8.8 millones fueron específicamente relevantes para la nanotecnología. Entre tales proyectos se pueden mencionar el NanoTruck ([www.nanotruck.de](http://www.nanotruck.de)); la iniciativa Nanologue ([www.nanologue.net](http://www.nanologue.net)) o NanoForumeULA ([www.nanoformeula.eu](http://www.nanoformeula.eu)); las páginas de internet "Interactive journey into nanocosmos" ([www.nanoreisen.de](http://www.nanoreisen.de)) o "A la découverte du nanomonde" ([www.nanomode.fr](http://www.nanomode.fr)); la publicación del informe "Responsible NanoCode" ([www.responsiblenanocode.org](http://www.responsiblenanocode.org)); el ciclo de conferencias porganizado por VivAgora de 2006 a 2007; etcétera.

§

El informe se puede descargar en:  
[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/elsa\\_governance\\_nano.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/elsa_governance_nano.pdf).

**European activities  
in the field of ethical, legal and social  
aspects (ELSA) and  
governance of nanotechnology**



Author: Dr. Angela Hullmann  
European Commission, DG Research,  
Unit "Nano and Converging Sciences and Technologies"

Version: 1 October 2008

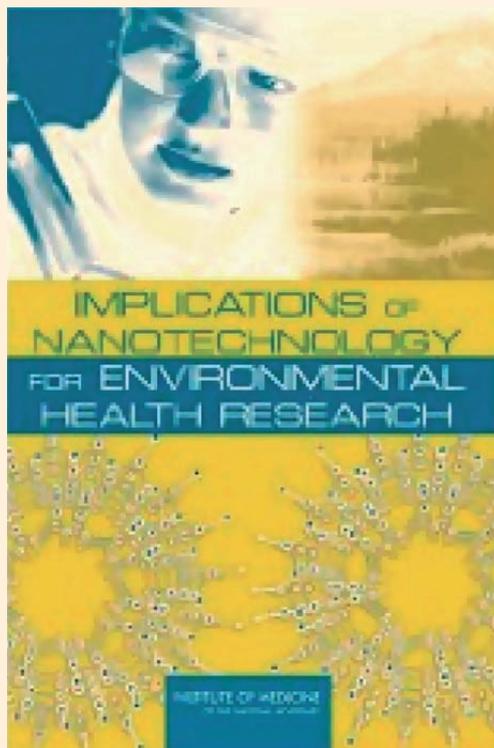
This publication can be downloaded from:  
<http://cordis.europa.eu/nanotechnology>

**GOLDMAN, LYNN Y COUSSENS, CHRISTINE (EDS.)**  
***IMPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY FOR ENVIRONMENTAL HEALTH RESEARCH***  
**THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. EUA, 2005**

Compila las opiniones de la Mesa Redonda en Ciencias de la Salud Ambiental, Investigación y Medicina de la Junta de Política en Ciencias de la Salud del Instituto de Medicina de las Academias Nacionales de Estados Unidos. Aborda, desde una visión interdisciplinaria y multi-actor, tanto el potencial de las aplicaciones nanotecnológicas medioambientales y de la salud, como las preocupaciones presentes sobre sus potenciales implicaciones.

El volumen comprende las siguientes secciones: una introducción acerca de la necesidad de prepararse para el avance de la nanotecnología en términos de cuestiones de la salud, política y temas emergentes; las promesas de la nanotecnología, una indagación sobre los (nano)productos existentes en el área medioambiental, la salud y la medicina; una revisión de la expansión del entendimiento científico sobre las interacciones entre sistemas biológicos a la escala nanométrica, la influencia medioambiental de la toxicología de los nanomateriales, las rutas de administración y sus potenciales efectos, las cuestiones de toxicidad y citotoxicidad de los nanomateriales, así como de las estrategias para el aseguramiento de la salud ocupacional; una reflexión sobre el papel del gobierno desde una perspectiva canadiense y estadounidense; y un pronóstico sobre la importancia del desarrollo de nomenclaturas, análisis riesgo-beneficio y de marcos regulatorios.

Para los editores, es indispensable recordar que el público es una parte importante del proceso de consolidación del avance de la nanotecnología para la salud y el medio ambiente, por lo que precisan la necesidad de asegurar que el co-



nocimiento sobre los riesgos sea desarrollado a un ritmo similar al de la tecnología misma. Y es que —advierten—, al conocer los riesgos y cómo abordarlos, los científicos de la salud ambiental serán capaces de servir mejor al público.

§

El libro puede descargarse de:  
[www.nap.edu/catalog/11248.html](http://www.nap.edu/catalog/11248.html).

# INSTRUCTIVO PARA AUTORES

*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* invita a enviar colaboraciones para sus dos siguientes números; la fecha límite de entrega para el que saldrá el primer semestre del 2010 (abril) será la primera semana de enero y, para el que se publicará el segundo semestre (octubre), la primera semana de julio.

Las colaboraciones deben ajustarse al objetivo principal de la revista, esto es, el disseminar 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@cny.unam.mx](mailto:mundon@cny.unam.mx). En la elaboración de los manuscritos se deberán cumplir los siguientes lineamientos:

- a) Los textos deberán estar escritos en Microsoft Word, en página tamaño carta, y tipografía Times New Roman en 12 puntos, a espacio y medio. Tamaño máximo de las contribuciones: Noticias, una página; cartas de los lectores, dos páginas; reseñas de libros, tres páginas; artículos completos, quince páginas.
- b) En la primera página deberá aparecer el título del artículo, el cual deberá ser cor-

to 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 ni de los artículos ni de las revistas).

N. Takeuchi, N. (1998). "Cálculos de primeros principios: un método alternativo para el estudio de materiales". *Ciencia y Desarrollo*, vol. 26, núm. 142, 18.

2. Libros.

Delgado, G.C. (2008). *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CEIICH, UNAM. México.

3. Internet.

NobelPrice.org. (2007). The Nobel Prize in Physics 1986.

En: [www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1986/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/press.html).

4. En el cuerpo del texto, las referencias deberán ir como en el siguiente ejemplo:

"...y a los lenguajes comunes propuestos (Amozurrutia, 2008a) como la epistemología..."

Si son varios autores la referencia en el cuerpo del texto irá:

(García-Sánchez *et al.*, 2005; Smith, 2000).

5. Las notas serán sólo explicativas, o para ampliar cierta información.

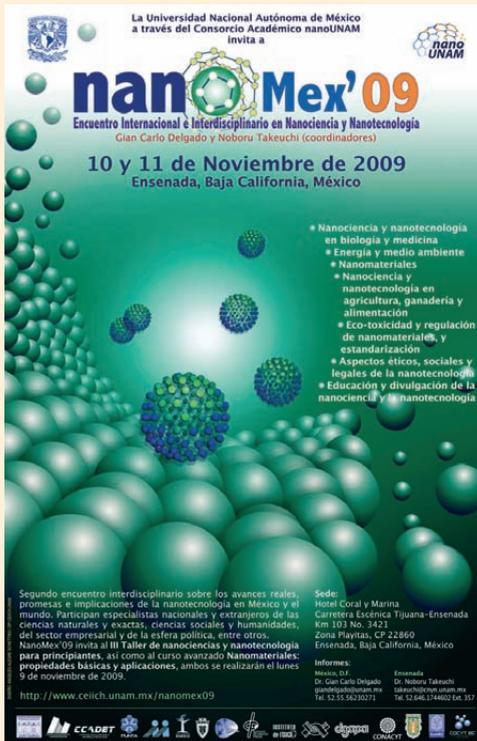
- e) Se recomienda la inclusión de gráficas y figuras. Éstas deben ser enviadas por correo electrónico en formatos tif o jpg, con un mínimo de resolución de 300 pixeles por pulgada, y estar acompañadas por su respectiva fuente.

# EVENTOS

▼ 9-11 de noviembre de 2009

## NanoMex'09

**Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología.  
Convoca: nanoUNAM**



La Universidad Nacional Autónoma de México  
a través del Consorcio Académico nanoUNAM  
Invita a

**nanomex'09**  
Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología  
Gian Carlo Delgado y Noboru Takeuchi (coordinadores)

10 y 11 de Noviembre de 2009  
Ensenada, Baja California, México

- Nanociencia y nanotecnología en biología y medicina
- Energía y medio ambiente
- Nanomateriales
- Nanociencia y nanotecnología en agricultura, ganadería y alimentación
- Eco-toxicidad y regulación de nanomateriales, y estandarización
- Aspectos éticos, sociales y legales de la nanotecnología
- Educación y divulgación de la nanociencia y nanotecnología

Segundo encuentro interdisciplinario sobre los avances reales, promesas e implicaciones de la nanotecnología en México y el mundo. Participan especialistas nacionales y extranjeros de las ciencias naturales y exactas, ciencias sociales y humanidades, del sector empresarial y de la esfera política, entre otros. NanoMex'09 invita al III Taller de nanociencias y nanotecnología para principiantes, así como al curso avanzado Nanomateriales: propiedades, básicas y aplicaciones, ambos se realizarán el lunes 9 de noviembre de 2009.

Sede:  
Hotel Coral y Marina  
Carretera Esférica Tijuana-Ensenada  
Km 103 No. 3421  
Zona Playitas, CP 22860  
Ensenada, Baja California, México

Informes:  
México, D.F. Ensenada  
Dr. Gian Carlo Delgado Dr. Noboru Takeuchi  
gdelgado@nanomex.mx takeuchi@nanomex.mx  
Tel. 52 55 56240271 Tel. 52 546 1744002 Ext. 357

<http://www.ceich.unam.mx/nanomex09>

Logos de patrocinadores: CCADER, CONACYT, UNAM, etc.

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO  
[WWW.CEICH.UNAM.MX/NANOMEX09](http://WWW.CEICH.UNAM.MX/NANOMEX09)

▼ 17-19 de febrero de 2010

## nano tech 2010

**Conferencia y Exhibición Internacional de Nanotecnología  
Green Nanotechnology, Towards the Next Innovation**



International Nanotechnology  
Exhibition & Conference

**nanotech 2010**

International Nanotechnology Exhibition & Conference

Date & Time: February 17 (Wed.) - 19 (Fri.), 2010  
V & A: East Exhibition Hall, S.C.A. Conference Tower, Tokyo Big Sight, Japan

Organized by: nano tech executive committee

Co-sponsors: Nano Bio Expo 2010  
Exhibitors: nano & functional material 2010  
ASTEC 2010  
METEC'10  
InterAppa 2010

TOKYO, JAPÓN  
[WWW.NANOTECHEXPO.JP/EN](http://WWW.NANOTECHEXPO.JP/EN)

▼ 25 de noviembre de 2009

**Converging Technologies for 21st Century Security**



---

ROYAL COLLEGE OF PHYSICIANS  
LONDRES, REINO UNIDO  
REGISTRO: [HTTPS://WWW.NANO.ORG.UK/PAYMENTS/  
BUILDORDER\\_CONFERENCES.PHP](https://www.nano.org.uk/payments/buildorder_conferences.php)  
INFORMES: [CARRIE.SMITH@NANO.ORG.UK](mailto:CARRIE.SMITH@NANO.ORG.UK)

▼ 14-16 de agosto de 2009

**Nanotech India**



---

GOKULAM PARK, KOCHI, INDIA  
[HTTP://WWW.NANOTECHINDIA.IN/](http://www.nanotechindia.in/)

▼ 6-8 de octubre de 2009

**Rusnanotech**  
**Segundo Foro Internacional de Nanotecnología**



---

EXPOCENTRE. MOSCÚ, RUSIA  
[HTTP://WWW.RUSNANOFORUM.RU/?LANG=EN](http://www.rusnanoforum.ru/?LANG=EN)

▼ 28-30 de septiembre de 2009

**Nanotech Europe 2009**  
**Conferencia y Exhibición de Nanotecnología Europea**



---

BERLÍN, ALEMANIA  
[HTTP://WWW.NANOTECH.NET/](http://www.nanotech.net/)

▼ 7-11 de septiembre

**Trends in Nanotechnology**



---

BARCELONA, ESPAÑA

[HTTP://TNTCONF.ORG/CONF/INDEX.PHP](http://TNTCONF.ORG/CONF/INDEX.PHP)

▼ 14-17 de febrero de 2010

**IPAS 2010**

**Quinto Seminario Internacional de Ensamblaje de Precisión**



---

CHAMONIX, FRANCIA

[HTTP://WWW.IPAS2010.ORG/](http://www.ipas2010.org/)

▼ 16-20 de noviembre de 2009

**1st Nanosafety Autumn School**

**Primer Curso de Otoño sobre Nanoseguridad**

**(Eco)Toxicología de nanopartículas: de la caracterización a la evaluación del riesgo**



---

UNIVERSIDAD DE CA'FOSCARI

VENEZIA, ITALIA

[HTTP://VIRGO.UNIVE.IT/VALOTTO/](http://virgo.unive.it/valotto/)



