

Revista
Interdisciplinaria
en Nanociencia
y Nanotecnología

Vol. 3, No. 1, enero-junio, 2010

Universidad Nacional Autónoma de México

- **Números de Fibonacci y sistemas nanoestructurados artificiales**
- **Nanociencia y nanotecnología en Cuba y Brasil**
- **Nanoestructuras orgánicas unidimensionales en superficies semiconductoras**
- **Nanoética y nanomedicina**



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

DIRECTORIO

UNAM

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

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

MUNDO NANO

Editores

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

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

Comité Editorial

Física (teoría)
Dr. Sergio Ulloa • ulloa@ohio.edu
(Departamento de Física y Astronomía,
Universidad de Ohio, Estados Unidos)
Dr. Luis Mochán Backal • mochan@em.fis.unam.mx
(Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, México)
Física (experimental)
Dr. Isaac Hernández Calderón •
Isaac.Hernandez@fis.cinvestav.mx
(Departamento de Física, Cinvestav, México)
Ingeniería
Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro
• SAlcocerM@iingen.unam.mx
(Instituto de Ingeniería, UNAM, México)
Microscopía
Dr. Miguel José Yacamán • miguel.yacaman@utsa.edu
(Departamento de Ingeniería Química,
Universidad de Texas en Austin, Estados Unidos)
Catálisis
Dra. Gabriela Díaz Guerrero • diaz@fisica.unam.mx
(Instituto de Física, UNAM, México)
Materiales
Dr. Roberto Escudero Derat • escu@servidor.unam.mx
(Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, México)
Dr. José Saniger Blesa • jose.saniger@ccadet.unam.mx
(Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico,
UNAM, México)
Filosofía de la Ciencia
Dr. León Olivé Morett • olive@servidor.unam.mx
(Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México)

Ciencia, tecnología y género
Dra. Norma Blazquez Graf • blazquez@servidor.unam.mx
(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y
Humanidades, UNAM, México)
Ciencia, tecnología y sociedad
Dr. Louis Lemkow • Louis.Lemkow@uab.es
(Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental,
Universidad Autónoma de Barcelona, España)
Complejidad de las ciencias
Dr. José Antonio Amozurrutia • amoz@labcomplex.net
(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y
Humanidades, UNAM, México)
Dr. Ricardo Mansilla Corona • mansy@servidor.unam.mx
(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y
Humanidades, UNAM, México)
Medio ambiente, ciencia y tecnología
Dra. Elena Álvarez-Buylá • eabuylla@gmail.com
(Instituto de Ecología, UNAM, México)
Aspectos éticos, sociales y ambientales
de la nanociencia y la nanotecnología
Dr. Roger Strand • roger.strand@svt.uib.no
(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,
Universidad de Bergen, Noruega)
Dr. Paulo Martins • marpaulo@ipt.br
(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de
São Paulo, Brasil)
Mtra. Kamilla Kjolberg • kamilla.kjolberg@svt.uib.no
(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,
Universidad de Bergen, Noruega)



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. 3, No. 1, México, enero-junio, 2010.

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

Registro en trámite.

Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez

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

www.mundonano.unam.mx

CONTENIDO

- 4 EDITORIAL
- 5 NOTICIAS
- 05 Los nanotubos de carbono pueden aumentar el poder de una batería de litio
- 06 Nanopuntos de carbono para el diagnóstico de cáncer in vitro
- 06 Observación directa de la transformación de grafeno en fullereno
- 07 Fabricación de nano-tejidos de proteínas
- 08 Nuevos detectores de ántrax
- 09 La nanomedicina debería divorciarse de su asociación con la nanotecnología
- 10 Filtro de alta velocidad utiliza nanoestructuras electrificadas para purificar agua
- 10 Se avanza en cooperación científica-tecnológica con Rusia en el área nano
- 11 Se celebran la 1a y 2da reunión México-Brasil en nanotecnología
- 12 Posicionamiento de países en nanotecnología
- 13 Nanotecnología en Disney World
- 14 La seguridad es ignorada en la carrera nanotecnológica
- 15 ARTÍCULOS
- 15 Los números de Fibonacci en la naturaleza y los sistemas nanoestructurados artificiales
Clio González Zacarías, Marta A. Palomino Ovando y Gregorio H. Coccoletzi
- 29 Deshojando margaritas: ¿nanociencia o nanotecnología?
Ernesto Estévez Ramos y Beatriz Aragón Fernández
- 46 Formación de nanoestructuras orgánicas unidimensionales en superficies semiconductoras
Noboru Takeuchi
- 56 Desarrollo de la nanotecnología en Brasil. 2001-2009
Paulo Roberto Martins
- 75 Nanoética y nanomedicina. Apuntes para una nueva ética de la medicina
Fernando Sancén Contreras
- 87 LIBROS E INFORMES
- 87 *Entendiendo el debate público sobre nanotecnología (understanding public debate on nanotechnologies)*
Von Schomberg, René y Davis, Sarah
- 88 *FAO/WHO Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors potential food safety implications (Reunión de expertos del a FAO y la OMS sobre la aplicación de nanotecnologías en los sectores de alimentos y agricultura: implicaciones potenciales en la seguridad de los alimentos (FAO)/(WHO)*
- 89 *La nanotecnología en Iberoamerica. Situación actual y tendencias*
Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología e Innovación de la OEI
- 90 *Nanotechnology, risk and communication (Nanotecnología, riesgo y comunicación)*
Alison Anderson, Alan Petersen, Clare Wilkinson, y Stuart Allan
- 91 INSTRUCTIVO PARA AUTORES
- 92 EVENTOS

▼ Presencia en la naturaleza de la serie de Fibonacci, tomada de <<http://www.environmentalgraffiti.com/featured/fibonacci-sequence-illustratednature/10867>>

Correspondencia:

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



El avance nanotecnológico a nivel mundial es cada vez más visible. El gasto global en nanociencia y nanotecnología (NyN) en 2009 se calcula en unos 17.6 mil millones de dólares, siendo EUA, Japón y Alemania los principales actores.

En América Latina, los esfuerzos, más o menos (des)articulados se identifican ya en el grueso de países, desde Brasil, Argentina y México, hasta Cuba, Costa Rica, Colombia, Venezuela, Chile o Perú. Si bien el grado de desarrollo en la región es muy limitado, el potencial científico es considerable, de ahí que en México se mantengan y se renueven esquemas de cooperación en NyN con EUA, Canadá, Europa, Rusia o incluso con Brasil.

Se observa en México una mayor consolidación de la investigación por la vía de la Red de Nanociencia y Nanotecnología del CONACyT, entre otros esfuerzos institucionales e individuales de diversas entidades de investigación en el país, así como el surgimiento de empresas mexicanas nano que comienzan a escalar la producción de productos nano o que ya comercializan productos propios o desarrollados en otros países, dígase EUA o Alemania. Fenómeno acompañado por una creciente importación de todo un abanico de productos de diversas multinacionales, muchos de los cuales no se presentan como derivados de la nanotecnología.

No obstante lo anterior, se percibe todavía un fuerte estancamiento en el estímulo al diálogo social que debe incluir, por supuesto, un fuerte trabajo de informar al público. El rol del gobierno, de los propios científicos y de los medios de comunicación es aún muy limitado. Los problemas económicos, electorales y de seguridad abruman la agenda de debate nacional y, mientras tanto, continua un contexto de nula o laxa regulación entorno al financiamiento, estandarización, certificación y vigilancia del avance nanotecnológico en el país, ello tanto en los laboratorios y las fábricas, como en el mercado.

De llamar la atención es que existen ya solicitudes por parte de algunos actores del empresa-

riado sobre cómo certificar sus productos o de cómo cumplir del mejor modo posible el marco legal actual en el país de tal suerte que se minimicen eventuales costos inesperados. Particularmente en el sector de la nanomedicina.

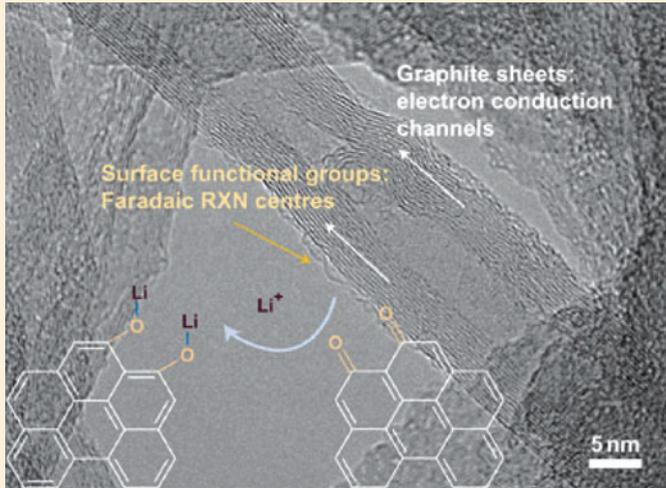
Pareciera que de seguir la tendencia, México acabará manteniendo un proyecto de desarrollo nanocientífico y nanotecnológico vinculado fuertemente con la cooperación internacional sin un proyecto, plan o iniciativa nacional bien articulada. Un contexto en el que se importarán no sólo el grueso de productos nano, sino también los propios modelos de regulación de tal campo. Si eso sucediera, se desaprovecharían las posibilidades de desarrollar, pero también de regular desde y para las necesidades nacionales.

Por tanto, se hace un llamado a considerar de modo serio la innegable responsabilidad que tienen los diversos actores para estimular un avance de la nanotecnología (y la ciencia y la tecnología en general) en el que los rumbos y, en consecuencia, los potenciales beneficios y también los riesgos sean socialmente concensuados y acordados, pues se trata de un aspecto cada vez más importante y, sin embargo, sostenidamente relegado en nuestro país. Es más, el escenario parece repetirse, con sus particularidades, en el grueso de América Latina, aunque tal vez con un cierto grado de excepción en Brasil.

El presente número hace un aporte en la reflexión sobre el estado de la nanociencia y la nanotecnología y de los contextos sociales, éticos y legales en los que se desarrollan en Latinoamérica. Se discute sobre la nanoética en la nanomedicina; sobre el estado y naturaleza del quehacer investigativo en nanociencia y nanotecnología en Brasil y Cuba; también sobre aspectos de medición y estandarización de lo nano para la salud y el medio ambiente. Se agregan trabajos sobre el avance científico y tecnológico del mundo nano, como la relación existente entre los números Fibonacci y los sistemas nanoestructurados artificiales; y de la formación de nanoestructuras orgánicas unidimensionales en superficies semiconductoras.

▼ 21 de junio de 2010

Los nanotubos de carbono pueden aumentar el poder de una batería de litio



Los dispositivos de almacenamiento de energía que puedan ofrecer una gran potencia tienen muchas aplicaciones, tales como en vehículos híbridos y energías renovables. Muchas investigaciones se han centrado en aumentar la potencia de las baterías de litio, reduciendo las distancias de difusión de iones de litio, pero los resultados siguen siendo muy inferiores a los de los condensadores electroquímicos y por debajo de los niveles requeri-

dos para muchas aplicaciones. Recientemente, Investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) han creado electrodos de nanotubos de carbono que pueden hacer que las baterías de iones de litio sean unas diez veces más potentes que las baterías convencionales. Los nanotubos de carbono tienen una conductividad electrónica muy elevada para aumentar el flujo de carga. Además, debido a sus largas y delgadas dimensiones, pueden

formar electrodos porosos, que facilitan un transporte de iones de litio muy rápido. Los investigadores hacen sus nuevos electrodos con una técnica novedosa capa por capa, lo que les permite tener un control muy bueno del grosor del electrodo y otras propiedades. Consiste en sumergir alternadamente un sustrato en soluciones de nanotubos de carbono cargados positiva y negativamente, de modo que se autoensamblan en la superficie. Encontraron que una batería que incorpora estos electrodos podría almacenar cinco veces la energía de un condensador normal, y podría ofrecer diez veces la potencia de una batería de iones de litio con electrodos estándar.

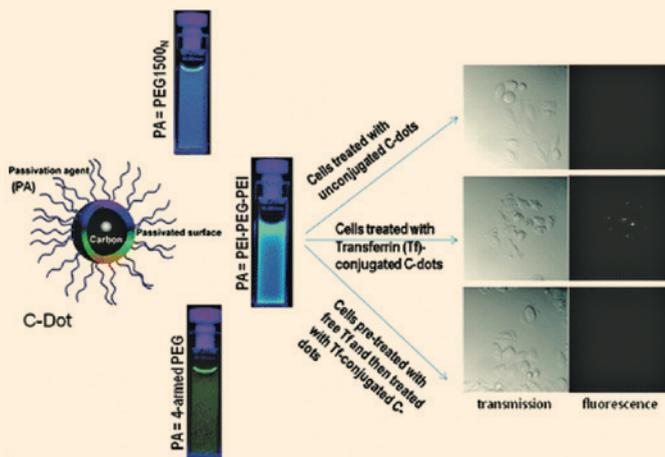
§

Referencia: High-power lithium batteries from functionalized carbon-nanotube electrodes. *Nature nanotechnology*, publicado en línea: 20 de junio de 2010 | doi:10.1038/nnano.2010.116.

▼ 26 de Julio de 2010

Nanopuntos de carbono para el diagnóstico de cáncer in vitro

Se ha encontrado fotoluminiscencia en nanopartículas de carbono llamadas puntos de carbono (CD), cuando su superficie es funcionalizada con cadenas de polímeros. Este fenómeno es similar a la fotoluminiscencia observada en nanotubos de carbono. Un grupo internacional de investigadores ha estudiado la dependencia de las propiedades fotoluminiscentes de los puntos de carbono en función del polímero usado en la pasivación del CD. La citotoxicidad celular y la internalización de tres tipos de nano puntos de carbono funcionalizados, llamados CD2, CD3 y CD4, se evaluaron. Estos CDs no mostraron citotoxicidad aparente y se demostró que eran efectivos para la identificación de células cancerosas.



§

Referencia: Photoluminescent Carbon Dots as Biocompatible Nanoprobes for Targeting Cancer Cells *in Vitro*. *J. Phys. Chem. C*, 2010, 114 (28), pp 1206212068 DOI: 10.1021/jp911539r.

▼ 14 de junio de 2010

Observación directa de la transformación de grafeno en fullereno

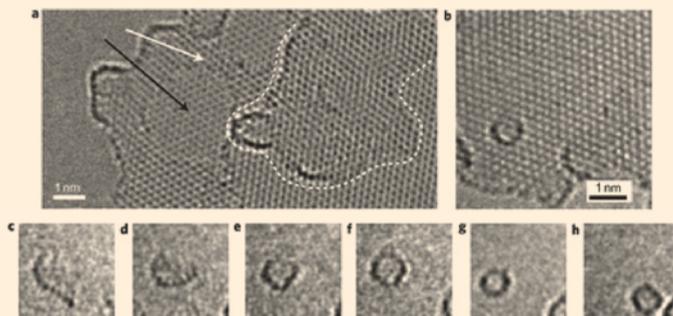
A pesar de que los fullerenos pueden ser generados en forma eficiente y en forma abundante a partir del grafito, la forma en que se producen estas jaulas simétricas de carbono a partir de una hoja de grafeno sigue siendo un misterio. Los mecanismos más ampliamente aceptados suponen que la estructura de grafeno se disocia en grupos muy pe-

queños de átomos de carbono como C₂, que posteriormente se unen para formar el fullereno mediante una serie de productos intermedios.

Investigadores europeos usaron microscopía electrónica de transmisión con corrección de la aberración para estudiar de forma visual directa y en tiempo real, un proceso de formación de fule-

reno a partir de una hoja de grafeno.

Parece que hay cuatro pasos principales involucrados en este proceso de formación del fullereno, que pueden explicarse usando métodos de modelización de química cuántica. El primer paso fundamental es la pérdida de átomos de carbono en el borde de la hoja de grafeno.



Debido a que los átomos de carbono en el borde de grafeno están conectados por sólo dos enlaces con el resto de la estructura, los investigadores pudieron utilizar el haz de electrones de alta energía del microscopio (o *e-beam*) para “desprender” los átomos de carbono, uno por uno. Los bordes de la hoja de grafeno parecen estar continuamente cambiando de forma. La pérdida de átomos de carbono en

el borde del grafeno es el paso más importante en el proceso, ya que desestabiliza la estructura y desencadena los siguientes tres pasos. El aumento en el número de enlaces sueltos de carbono en el borde del grafeno causa la formación de pentágonos, lo que es seguido por una deformación del grafeno adquiriendo una curvatura en forma de tazón. Ambos procesos son termodinámicamente favorables, ya que permite

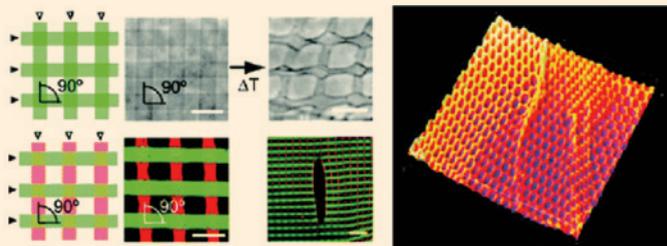
que los átomos de carbono en el borde estén más cerca el uno del otro, lo que les permite formar enlaces entre sí. En el cuarto y último paso, los enlaces sueltos de carbono cierran la estructura curvada del grafeno formando la *bucky ball*. Debido a que el proceso reduce el número de enlaces sueltos, el fullereno esférico representa la configuración más estable de los átomos de carbono en estas condiciones. Una vez que los bordes estén completamente sellados, ningún otro átomo de carbono se puede perder, y el nuevo fullereno se mantiene estable.

§

Referencia: Direct transformation of graphene to fullerene. *Nature Chemistry* 2, 450–453 (2010). DOI: doi:10.1038/nchem.644.

▼ 3 de junio de 2010

Fabricación de nano-tejidos de proteínas



En la naturaleza, las células y los tejidos se autorganizan dentro de una matriz de fibras de proteína que en última instancia determina su estructura y función, tales como la elasti-

cidad de la piel o la contractilidad del tejido del corazón. Estos principios de diseño natural se han reproducido con éxito en el laboratorio. Investigadores de la Universidad

de Harvard han desarrollado una nueva tecnología que puede ser usada para regenerar el corazón y otros tejidos y para hacer telas de algunos nanómetros de grosor extremadamente fuertes y elásticas. El paso clave se produjo en el desarrollo de una matriz que se puede montar a través de la interacción con una superficie termosensible. La composición de las proteínas de la matriz puede ser “personalizada” para generar propiedades específicas. Los métodos actua-

les de regeneración de tejidos típicamente involucran el uso de polímeros sintéticos para crear una estructura de “andamio”. Pero este enfoque puede tener efectos secundarios negativos como la degradación de polímeros. Por el contrario, los nanotejidos se hacen de las mismas proteínas que el tejido

normal, por lo que el cuerpo puede degradarlos sin efectos secundarios una vez que ya no sean necesarios. Los resultados iniciales han producido tejidos de músculo cardíaco similares a las del músculo papilar, que puede conducir a nuevas estrategias para la reparación y regeneración del corazón.

§
Referencia: Surface-Initiated Assembly of Protein Nanofabrics. *NanoLett.*, Article ASAP Publication Date (Web): mayo 20, 2010. DOI: 10.1021/nl100998p.

▼ 2010

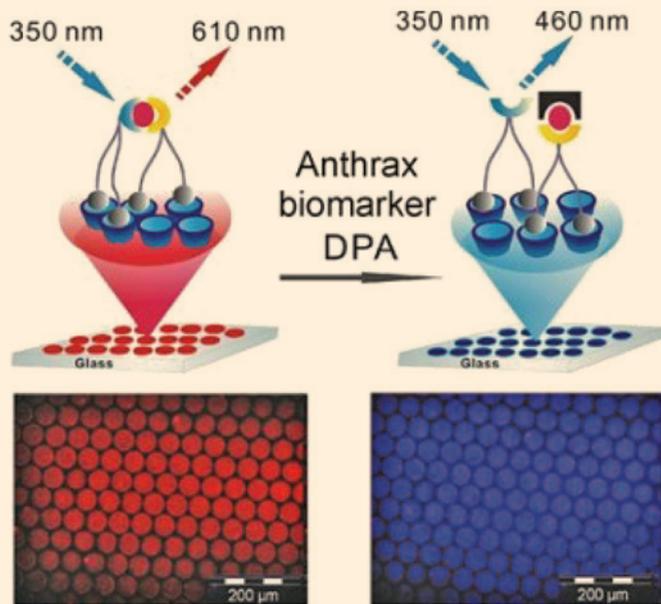
Nuevos detectores de ántrax

Ántrax, el conocido ingrediente en los polvos de las cartas bomba, es una enfermedad infecciosa y potencialmente mortal causada por la bacteria *Bacillus anthracis*. Esta bacteria produce esporas —bacterias secas con una cáscara dura— que pueden sobrevivir un tiempo muy largo al aire libre. Investigadores de la Universidad de Twente han diseñado un sensor que puede detectar un marcador biológico de las esporas y determinar así su presencia en una concentración mil veces menor que el nivel tóxico conocido.

Técnicas para la detección de esporas de ántrax (como la fluorescencia y espectroscopía de masas) ya existen, pero el sensor de UT es mucho más sensible y eficaz que cualquiera de ellos. También se puede reutilizar en ensayos posteriores.

¿CÓMO FUNCIONA EL SENSOR?

Al igual que otras técnicas de detección, el sensor de UT



mide la presencia del ácido dipicolínico (APD), una sustancia que representan entre un cinco y un quince por ciento del peso seco de las esporas. El sensor consta de una placa de vidrio para que los receptores sensibles a DPA se adhieran. Cuando los receptores se ponen en contacto con las esporas del

ántrax, el DPA se une con ellos. La concentración de las esporas se puede calcular con la espectroscopía de fluorescencia, iluminando el sensor con luz ultravioleta.

Los receptores enlazados con DPA absorben esta luz y emiten en el azul, mientras que los receptores que no tienen

ningún enlace con el DPA emitirán una luz roja. Al medir la proporción de rojo a azul claro en una muestra, es posible determinar la concentración de esporas de ántrax. La ventaja del sensor es que no necesi-

ta calibración y es más afinado que otros métodos actuales. El siguiente paso para los investigadores es la de convertir el sistema en un «laboratorio en un chip» que permitirá medir las muestras mediante un pro-

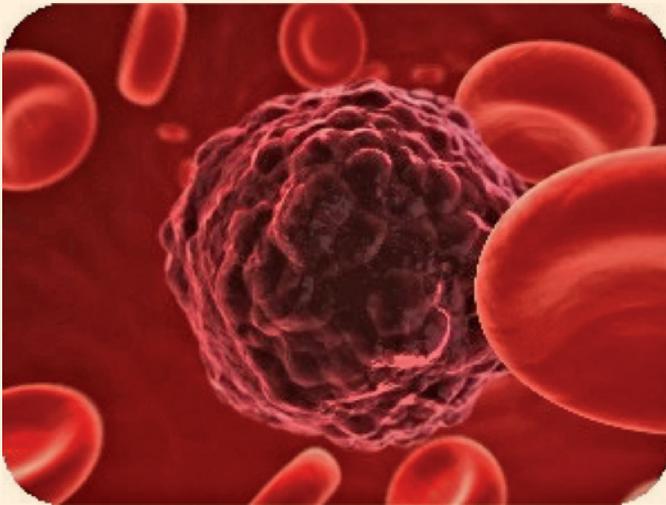
ceso totalmente automático de encendido y apagado.

§

Referencia: <http://www.azonano.com/news.asp?news-ID=18604>.

▼ 2010

La nano medicina debería divorciarse de su asociación con la nanotecnología



La mayoría de las veces, la nanobiotecnología, incluida la que implica la captación celular de materiales nanométricos como los medicamentos y otros productos químicos utilizados en la nanomedicina, se cree que se deriva de la nanotecnología, lo cual no es correcto, asegura Amarnath Maitra,

del Departamento de Química de la Universidad de Nueva Delhi.

El estudio de las propiedades físicas como la electricidad, óptica, las características magnéticas, mecánicas y térmicas de una entidad en la que los átomos de la superficie dominan sobre los átomos a gra-

nel, se llama nanotecnología. En cambio, cuando hablamos de nanomedicina, ésa involucra la entrega de drogas o sustancias bioquímicas adentro de la célula de tal suerte que puedan realizar toda una serie de funciones como la terapia, el diagnóstico e imágenes, ex-vivo o in-vivo.

La nanomedicina no tiene pues nada que ver con los átomos superficiales a pesar de que las propiedades manifiestas que dominan las superficies de tales o cuales entidades pueden ser utilizadas en el estudio de la nanomedicina. Por tanto, la nanomedicina se ubica más en el campo de la biología pues su principal interés es el proceso de captación celular (por endocitosis).

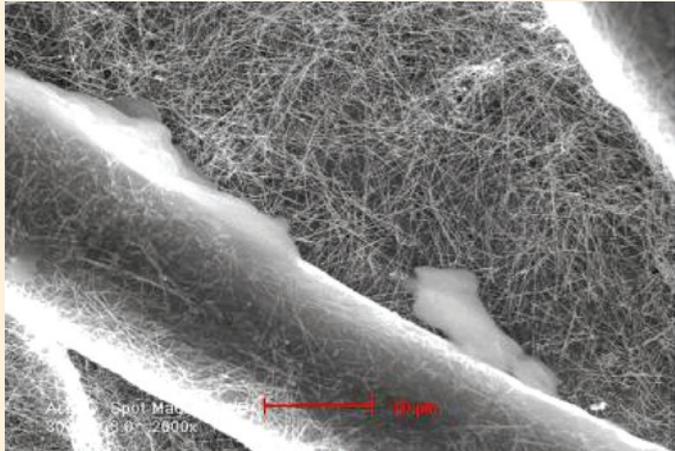
§

Fuente: *Nano Magazine*. núm. 19. Reino Unido, 2010. En: www.nanomagazine.co.uk.

▼ 1 de septiembre de 2010

Filtro de alta velocidad utiliza nanoestructuras electrificadas para purificar agua

Al sumergir tela de algodón simple en un caldo de nanocables de plata y nanotubos de carbono, investigadores de Stanford han desarrollado un filtro de bajo costo y de alta velocidad que puede ser fácilmente empleado para purificar agua. En lugar de atrapar bacterias como lo hacen la mayoría de los filtros existentes, el nuevo filtro las deja pasar junto con el agua, pero, al hacerlo, las bacterias mueren a causa de un campo eléctrico que corre a lo largo del algodón nano-revestido altamente conductor. Las pruebas de laboratorio muestran la muerte del 98% de la bacteria *E-coli* cuando se expone por unos cuantos segundos a un campo eléctrico de 20 voltios. El filtro está compuesto por varias capas de algodón nano-revestido para alcanzar un grosor de 2.5



pulgadas. Para Yi Cui, profesor asociado en ciencia e ingeniería de materiales, se trata pues de un nuevo método para matar patógenos que puede ser utilizado en condiciones en las que no hay acceso a tratamientos químicos. Su uso puede ser incluso a nivel de sistemas de

purificación de ciudades o pequeñas poblaciones.

§

En *Science Daily*: <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/08/100831091244.htm>.

▼ 10 de diciembre 2009

Se avanza en cooperación científica-tecnológica con Rusia en el área nano

El 7 y 8 de diciembre de 2009 se celebró en Moscú la IV Reunión de la Comisión Mixta de Cooperación Comercial, Científico-Técnica y de Transporte Marítimo. En lo que se refiere a cooperación técnica y científica, México presentó 14 proyectos relacionados con altas tecnologías en

el ámbito de nuevos materiales, nanotecnología, robótica y tecnología satelital. Entre los participantes, además de diversas entidades gubernamentales, figuró la UNAM, el IPN y la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Los jefes de las delegaciones de Cooperación Técnica y

Científica de ambos países, Rogelio Granguillhome Morfin, titular de la Unidad de Relaciones Económicas y Cooperación Internacional (URECI) de la SRE, y Victor Pilipneko, jefe adjunto de Innovación y Desarrollo de Infraestructura de la Agencia Federal para la Ciencia y la Innovación de Rusia,

firmaron un Protocolo de Cooperación Técnica y Científica, en el cual se reflejan las prioridades acordadas para el nuevo Programa 2010-2011, donde destaca el impulso a proyectos relacionados con altas tecnologías. Asimismo, el Proto-

lo plantea la suscripción de un Memorándum de Entendimiento con CONACyT, así como la celebración de un Taller Sectorial en Nanotecnología a realizarse durante 2010 en México, en el que participarán científicos, tecnólogos y empresarios.

§

Fuente: SRE, México., en: www.sre.gob.mx/csocia/social/contenido/comunicados/2009/dic/cp_377.html

▼ Diciembre de 2009 - noviembre 2010

Se celebran la 1a y 2da reunión México-Brasil en nanotecnología



El 17 y 18 de diciembre de 2009 se llevó a cabo la primera reunión del Centro Virtual Brasileño-Mexicano de Nanotecnología en la ciudad de Chihuahua. Los objetivos fueron: a) promover el intercambio científico y la formación y capacitación de recursos humanos; b) promover a través de grupos de investigación el desarrollo de proyectos de I+D orientados a la creación de conocimiento, productos y procesos de interés económico y social para ambos países; c) fomentar la difusión de la nanotecnología como un instrumento para la innovación en el sector industrial, mediante la

promoción de eventos y la realización de actividades conjuntas de investigación y desarrollo, orientadas específicamente a los sectores productivos de ambos países, que permitan la interacción entre investigadores y empresas de ambos países y la capacitación de recursos humanos en el sector empresarial y, d) estudiar las cuestiones relativas a las patentes y la propiedad intelectual e industrial en la comercialización de productos y procesos nanotecnológicos, desarrollados en el marco de esa cooperación.

Las áreas de interés en IyD se identificaron en: síntesis, ca-

racterización y aplicación de nanoestructuras (nanopartículas, nanotubos, nanoalambres, etc.); síntesis, caracterización y aplicaciones de recubrimientos nanoestructurados para diversos usos; simulación computacional y modelación molecular de nanomateriales; y aplicación de herramientas de microscopía electrónica a nanomateriales.

El 6 y 7 de mayo se realizó la segunda reunión en Río de Janeiro con el principal objeto de avanzar en la discusión sobre los instrumentos específicos de cooperación que permitirían el lanzamiento de la primera edición de financiamiento conjunto de proyectos de colaboración en nanotecnología entre México y Brasil. El mecanismo requerirá de la firma de un convenio y un programa de trabajo entre el CNPq de Brasil y el CONACyT de México.

Los montos mínimos financieros se fijarían en medio millón de reales por cada parte para constituir un fondo de un millón de reales o unos 580 mil dólares. Los proyectos tendrían

un techo de financiamiento de 100 mil reales o 58 mil dólares y deberán tener una contraparte científica de cada país y preferiblemente participantes de la iniciativa privada.

Se espera que el fondo comience a ejercer proyectos por

un lapso de hasta 24 meses, a partir del 15 de noviembre del 2010. Las temáticas de mayor interés serán energía, salud, medioambiente, materiales, nanobiotecnología, agroindustria, electrónica y sensores.

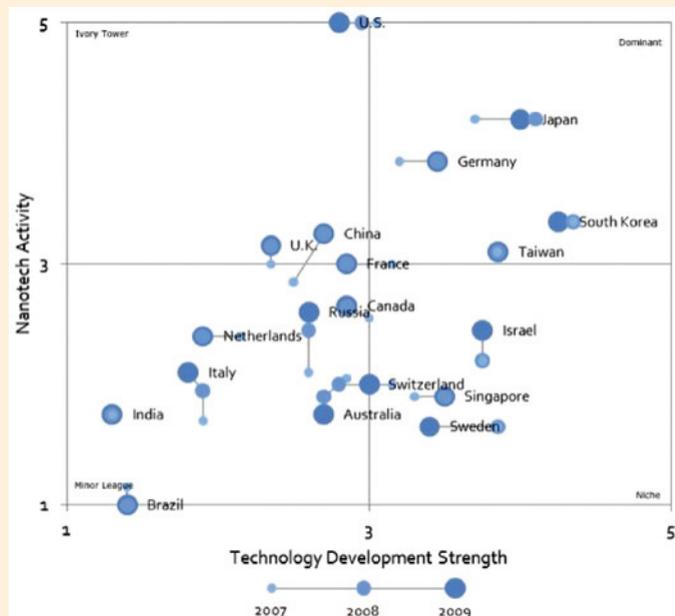
§

Fuente: *Mundo Nano*, con base en minutos de las reuniones, disponibles en: www.nanored.org.mx.

▼ 17 de agosto de 2010

Posicionamiento de países en nanotecnología

El gasto en nanotecnología en 2009 alcanzó los 17.6 mil millones de dólares, ligeramente más que los 17.5 mil millones de 2008. Lux Research mapeo las fortalezas de 19 países considerando para medir la “actividad nanotecnológica”, en un 15% las iniciativas en nanotecnología (efectividad y coordinación en todos sus niveles); en 15% por el número y calidad de los centros de investigación en nanotecnología; 10% por el monto financiado por el gobierno para nanotecnología; 10% por el capital de riesgo disponible; 10% por gasto corporativo; 15% en cuanto al número de artículos científicos publicados; 15% por el número de patentes en los últimos años; y 10% en cuanto a la cualidad de la fortaleza y volumen de compañías activas en nanotecnología. Para medir la “fortaleza del desarrollo tecnológico”, un 20% en cuanto al grado de manufactura medido en porcentaje del PIB; un 25% el gasto en IyD; un 15% en cuanto al número de graduados en ciencia y tecnología; un 10% por el grado de graduados que



abandonan el país y un 20% por el grado de desarrollo de la infraestructura. El resultado del análisis de Lux Research se observa en el cuadro de arriba. EUA se coloca en la vanguardia del desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología, en especial por el peso de su Iniciativa Nacional en Nanotecnología y por el destacado rol de sus corporaciones, dígame 3M e IBM. Le si-

gue Japón a pesar de no estar tan bien financiada y coordinada la investigación nanotecnológica. Corporaciones como Toray y Sumitomo destacan por su fuerte actividad en investigación y comercialización de nanotecnología. Alemania y Corea del Sur siguen manteniendo sus fuertes posicionamientos en los últimos años, colocándose después de Japón.

Otro país que figura en el estudio es China, que destaca por el aumento inusitado de publicaciones en nanociencia, pero un grado mínimo en cuanto a su participación en patentes nano. Las compañías que existen son productoras de nanomateriales genéricos como Shanghai Huzheng Nano Technology o Tianjin Tianhezhongxin Chemicals. Exis-

ten, sin embargo, esfuerzos prometedores como el estímulo a la IyD en nanotecnología por parte de la ciudad de SuZhou. El caso de Rusia es también destacable por el rol que ha tenido Rusnano, un programa gubernamental de desarrollo nanotecnológico lanzado en el año 2007. Sus fuertes ingresos gracias a la venta de combustibles fósiles

le ha permitido hacer fuertes inversiones en diversos países, incluyendo en el *spin-out Plastic Logic* de la Universidad de Cambridge.

§

Informe disponible en: https://portal.luxresearchinc.com/research/document_excerpt/6806.

▼ 16 de marzo de 2010

Nanotecnología en Disney World



Una nueva exposición a largo plazo se abrió en el Walt Disney World en febrero de 2010. El propósito, se informa, es educar al público acerca de la nanotecnología y la ciencia de lo muy pequeño. *Nanooze*, una

revista y sitio electrónico sobre nanotecnología para niños, cuenta con una serie de actividades interactivas que permiten al visitante explorar los objetos comunes a escala nanométrica, manipular modelos de

moléculas e interactuar con los científicos e ingenieros que dirigen las últimas investigaciones de nanotecnología.

La exposición da un nuevo significado a la frase «es un mundo pequeño después de todo» por medio de seis videos dinámicos producidos por el investigador Bat Carl de la Universidad de Cornell y financiado por el Instituto Nacional de la Alimentación y la Agricultura. Los episodios cubren los posibles beneficios y riesgos de la nanotecnología.

§

En: <http://blogs.usda.gov/2010/03/16/nanotechnology-project-opens-at-disney-world/>.

▼ 12 de enero de 2010

La seguridad es ignorada en la carrera nanotecnológica

Los países en desarrollo se han embarcado en una fiesta de avance de la nanotecnología en un contexto de ausencia de directrices de seguridad y salud, advierten expertos.

Países como China, India, Sri Lanka, Tailandia y Vietnam están buscando intensamente comercializar nanotecnología. Pero, a diferencia de la Unión Europea, Japón, el Reino Unido y Estados Unidos —que han tomado en cuenta las preocupaciones del público y han desarrollado documentos de orientación preliminar sobre el uso de la tecnología— los países en desarrollo no están participando en el discurso público, dijeron expertos en un taller sobre nanotecnología gobernanza y regulación celebrado en Nueva Delhi, India, el 08 de enero de 2010.

El taller, apoyado por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC), se realizó en la India, pero los participantes dijeron que la situación era similar en la mayoría de los países en desarrollo que realizan investigación en nanotecnología.

Mientras tanto, la tecnología para la fabricación de filtros de agua utilizando nanomateriales para una mejor absorción de contaminantes se ha incorporado por varias empresas. Al mismo tiempo se tor-

nan más comunes los anuncios para promover camisas hechas de nanofibras y lavadoras que utilizan componentes recubiertos de nanomateriales para eliminar mejor la suciedad y las manchas (e.g. modelo de LG Ag+).

“Pero resulta que ninguna de las empresas ha realizado las pruebas de toxicología”, dijo Alok Dhawan, investigador del Instituto Indio de Investigación Toxicológica, porque no hay ninguna estipulación que los obligue a hacerlo.

En agosto de 2009, el *European Respiratory Journal* publicó un informe sobre un grupo de trabajadores chinos que desarrollaron daño pulmonar severo después de la exposición a las nanopartículas. El estudio alimentó el debate sobre riesgos para la salud de la nanotecnología, aunque algunos mantienen que el estudio no muestra de manera concluyente que las nanopartículas eran las culpables. Sin embargo sigue habiendo varias cuestiones clave, como: qué les sucede a las nanopartículas una vez dentro del cuerpo; qué tipo de respuesta inmune o inflamatoria provocan; en qué concentración afecta su actividad dentro del cuerpo; entre otras.

Se trata de “grandes cajas negras” dijo Rajiv Saxena, profesor de la escuela de cien-



cias de la vida en la Universidad Jawaharlal Nehru de la India. En tal sentido, Shantikumar Nair, jefe del Centro de Nanociencias Amrita (India), dijo que “hay una necesidad crítica de una base de datos sobre toxicidad y un marco regulatorio sobre el uso de nanomateriales, su manejo y desecho”. Y es que el comportamiento de un nanomaterial varía según el tamaño, forma, superficie y composición química, por lo que una base de datos exhaustiva es necesaria para determinar la relación riesgo beneficio para cada caso.

§

SciDevNet en: www.scidev.net/en/news/safety-ignored-in-nanotech-rush-warn-experts.html.

Los números de fibonacci en la naturaleza y los sistemas nanoestructurados artificiales

CLIO GONZÁLEZ ZACARÍAS,* MARTHA A. PALOMINO OVANDO*
GREGORIO H. COCOLETZI**

Resumen: En este trabajo se describe y comenta la importancia y el impacto que los números de Fibonacci han tenido a lo largo de los años y su vinculación con el arte, la naturaleza y los materiales artificiales nanoestructurados, se hace una breve descripción sobre el momento histórico de su aparición, se revisan diversas formas de obtener la relación de recurrencia entre los números. Se muestran algunos ejemplos de su presencia en el arte, la naturaleza, así como resultados de propiedades ópticas de nanoestructuras de materiales artificiales construidos siguiendo esta secuencia.

INTRODUCCIÓN

Historia



Leonardo de Pisa

A finales del siglo XII, nace en Pisa, Italia, Leonardo de Pisa (1170 a 1250), conocido como Fibonacci, apodo que le dieran de manera póstuma y que significa hijo de Bonacci. Leonardo es educado por un árabe quien lo pone en primer contacto con lo que se convertiría en una de las mayores aportaciones de los árabes al mundo occidental: nuestro actual sistema de numeración posicional.

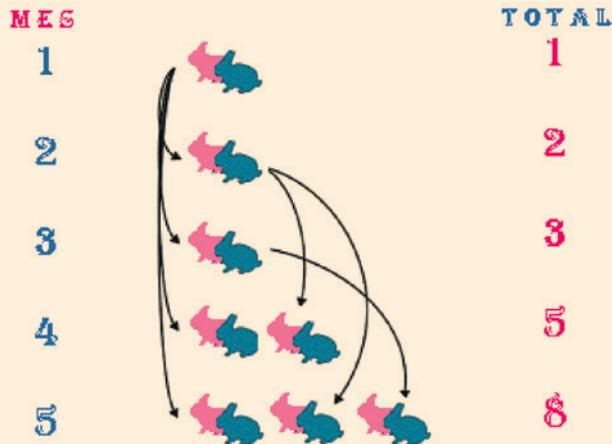
Leonardo de Pisa, aprovechó sus viajes comerciales por todo el mediterráneo: Egipto, Siria, Sicilia y Grecia, para entablar contacto y discutir con los matemáticos más notables de la época, descubrir y estudiar a fondo los elementos de la geometría de Euclides, que tomaría como modelo de estilo y de rigor. De su deseo de poner en orden todo cuánto había aprendido de aritmética y álgebra, y de brindar a sus colegas comerciantes un potente sistema de cálculo, cuyas ventajas él había ya experimentado, escribe, en 1202, uno de los textos más famosos de la época el *Liber Abaci*. En este libro, mostró la importancia del nuevo sistema

* Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y Río Verde, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla 72570, México.

** Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México; Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, Baja California; Instituto de Física, Universidad Autónoma de Puebla, México.

de numeración aplicándolo a la contabilidad comercial, conversión de pesos y medidas, cálculo de intereses, cambio de moneda y otras numerosas aplicaciones[1]. En estas páginas describe el cero, la notación posicional, la descomposición en factores primos y los criterios de divisibilidad. Leonardo de Pisa brinda en su obra reglas claras para realizar operaciones con estas cifras tanto con números enteros como con fracciones; además, proporciona la regla de tres simple y compuesta, normas para calcular la raíz cuadrada de un número, así como instrucciones para resolver ecuaciones de primer grado y algunas de segundo. Sin embargo, Fibonacci es más conocido entre los matemáticos por una curiosa sucesión de números: 0; 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55; 89.... la que colocó en el margen de su *Liber Abaci* junto al conocido «problema de los conejos» que más que un problema parece un acertijo de matemáticas recreativas. El problema en lenguaje actual diría: «Suponiendo que una pareja de conejos cría otra pareja cada mes, y que los conejos son fértiles a partir del segundo mes, ¿cuántos conejos se pueden tener al cabo de un año?». En la figura 1 se muestra cómo se genera este número en las parejas de conejos a lo largo de los meses.

FIGURA 1. Crecimiento del número de parejas de conejos conforme se reproducen.



Tomada de [2].

REPRESENTACIONES

La sucesión se construye de la siguiente manera:

$$u_0 = 0, u_1 = 1, u_2 = 1, u_3 = 2, \dots \tag{1}$$

y la relación de recurrencia:

$$u_{n-1} + u_n = 1, u_{n+1} \tag{2}$$

A la representación anterior se han hecho propuestas alternativas para generar los números de Fibonacci.

Representación algebraica

Si se desarrolla la función:

$$f(q) = \frac{q}{1 - q - q^2} \tag{3}$$

en serie de potencias, los coeficientes de dicha expansión son los números de Fibonacci:

$$\frac{q}{1 - q - q^2} = 0q^0 + 1q^1 + 1q^2 + 2q^3 + 3q^4 + 5q^5 + 8q^6 + 13q^7 + \dots \tag{4}$$

Fórmula de Binet

Consideremos la sucesión de números u_1, u_2, \dots, u_n en la cual cada término es la suma de los dos términos precedentes, es decir, para cada $n > 2$ se cumple que:

$$u_{n-2} + u_{n-1} = 1, u_n \tag{5}$$

Observamos que para conocer todas las soluciones de ésta última ecuación basta con conocer cualesquiera dos soluciones no proporcionales de la misma (que una no sea combinación lineal de la otra) [3].

Consideremos la progresión de números $1, q, q_2, \dots$

Esta progresión será una solución de la ecuación (5) si satisface la condición: $q^{n-2} + q^{n-1} = q^n$ para toda n . Si dividimos entre q^{n-2} , la condición toma la forma $1 + q = q^2$. Las

raíces de esta ecuación cuadrática, son los números: $\alpha = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ y $\beta = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$ que

son las razones en las progresiones deseadas y, además, no son proporcionales entre sí. Se observa que:

$$\alpha \cdot \beta = -1 \tag{6}$$

Así pues, todas las soluciones serán descritas de la forma:

$$c_1 + c_2, \quad c_1\alpha + c_2\beta, \quad c_1\alpha^2 + c_2\beta^2, \dots \tag{7}$$

En particular, para ciertos valores de c_1 y c_2 la sucesión anterior dará la sucesión de Fibonacci. Es necesario determinar c_1 y c_2 a partir de las ecuaciones:

$$\begin{aligned} c_1 + c_2 &= u_1, \\ c_1\alpha + c_2\beta &= u_2, \end{aligned} \tag{8}$$

donde, recordamos $u_{\pm} = u_2 = 1$, es decir, a partir del sistema de ecuaciones:

$$c_1 + c_2 = 1, c_1 \frac{1+\sqrt{5}}{2} + c_2 \frac{1-\sqrt{5}}{2} = 1, \quad (9)$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones se obtiene:

$$c_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}}, c_2 = -\frac{1-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}}, \quad (10)$$

Que permite escribir:

$$n_n = c_1 \alpha^{n-1} + c_2 \beta^{n-1} = \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right) \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^{n-1} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right) \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^{n-1} \quad (11)$$

De donde se obtiene que:

$$u_n = \frac{\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n}{\sqrt{5}} = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\sqrt{5}} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (12)$$

La cual se llama *fórmula de Binet*, en honor al matemático que la probó por primera vez. La conexión entre la sección dorada y la serie de Fibonacci es precisamente la fórmula de Binet, donde observamos que los primeros términos son de la forma

$$u_0 = 0, u_1 = 1, u_2 = 1, u_3 = 2, \dots$$

Se ha demostrado que la sección dorada es:

$$\phi = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_{n+1}}{u_n} \quad (13)$$

Así que considerando que para n muy grande, el segundo término de la fórmula de Binet puede ser omitido, ϕ es aproximadamente igual a:

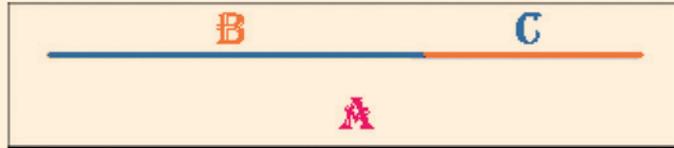
$$\frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^{n+1} \bigg/ \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n$$

Finalmente en el límite $\phi = (1+\sqrt{5})/2$.

¿QUÉ ES EL NÚMERO ϕ ?

El número ϕ , que de acuerdo con la expresión anterior es aproximadamente igual 1.618033988749895..., es un número irracional tal como lo es el número π , y cuenta con características matemáticas inusuales. La razón o proporción determinada por ϕ era conocida por los griegos como la “sección dorada”, y por los artistas del Renacimiento, como la “proporción divina” [4]. También se le conoce como la razón dorada o la proporción áurea. Tanto π como ϕ están definidos a través de una construcción geométrica. Mientras que π es el número de veces que cabe el diámetro sobre la circunferencia, ϕ es la proporción de los segmentos de una línea que resultan cuando ésta se divide de tal manera que la proporción del segmento de la línea (A) respecto a la longitud del segmento de la línea (B) sea igual que la proporción de la longitud del segmento de la línea (B) a la longitud del segmento de la línea (C), como se indica en la figura 2.

FIGURA 2. Proporción de los segmentos que cumplen con $A/B = B/C$.

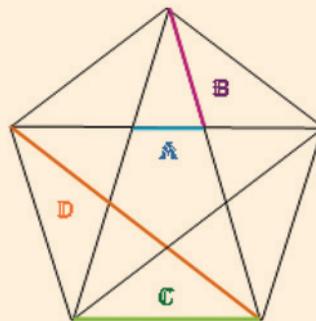


Esto significa que A es 1.618... veces B, y B es 1.618... veces C.

El Pentágono

Veamos cómo ésta razón está presente en otras figuras. Tomemos un pentágono con cinco lados iguales y conectemos todos sus puntos para formar una estrella de cinco puntas. Las razones de la longitud de los segmentos de línea resultantes están todos basados en ϕ . En la imagen, notamos que:

FIGURA 3. Pentágono.

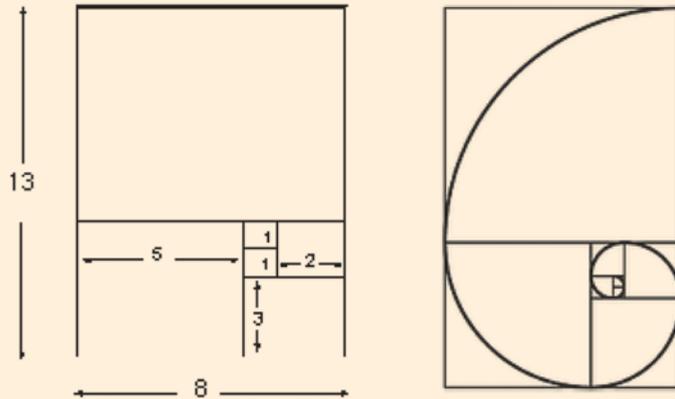


Espiral áurea (espiral dorada)

Si sumamos los cuadrados de cualquier serie de los números de Fibonacci, van a igualar el último número de Fibonacci usado en la serie por el siguiente número de Fibonacci. Esta propiedad se ve en la espiral dorada, que se encuentra en la concha del molusco Nautilus así como en las galaxias [5]. Expresado en forma matemática se tiene:

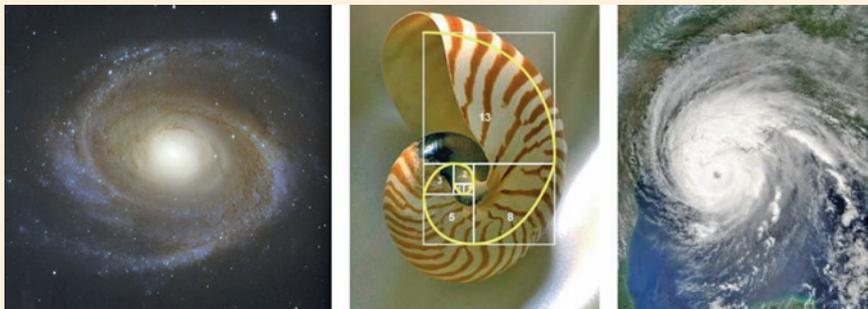
$$1^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 5^2 + \dots + [F(n)]^2 = F(n) \times F(n+1)$$

FIGURA 4. Se ilustra la forma en que se construye la espiral. Obsérvese cómo los lados de los cuadrados siguen la secuencia de Fibonacci.



Por ejemplo si $n = 5$ tendremos $1^2 + 1^2 + 2^2 + 3^2 + 5^2 = 5 \times 8$. Obsérvese en la figura 4 la construcción geométrica de los cuadrados de los primeros números de Fibonacci. Si se extiende para un número mayor de números de Fibonacci obtenemos una espiral, que se construye siguiendo la serie y conectando las esquinas opuestas de los cuadrados de medida igual a cada elemento de la serie.

FIGURA 5. Presencia en la naturaleza de la espiral: galaxias, algunos tipos de caracol, huracanes, etc. Fotos tomadas de [5,6].

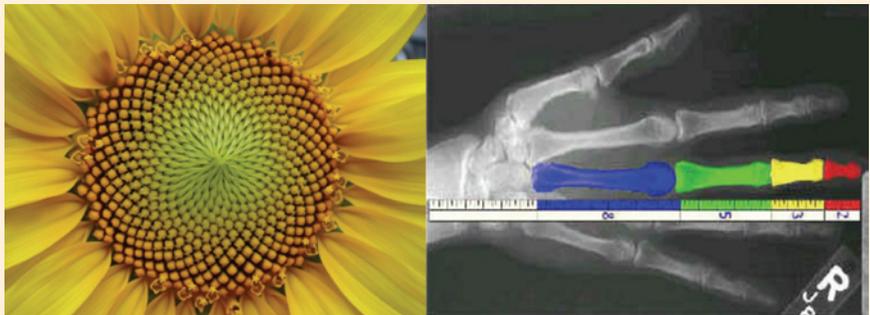


Los números de Fibonacci en la naturaleza

Hay muchos elementos relacionados con la sección áurea en la naturaleza. A continuación damos una lista de ejemplos donde los números de Fibonacci están presentes:

- La relación entre la cantidad de abejas macho y abejas hembra en un panal.
- La relación entre la distancia entre las espiras del interior de cualquier caracol.
- La relación entre los lados de un pentágulo.
- La disposición de los pétalos de las flores (el papel del número áureo en la botánica recibe el nombre de Ley de Ludwig).
- La distribución de las hojas en un tallo.
- La relación entre las nervaduras de las hojas de los árboles.
- La relación entre el grosor de las ramas principales y el tronco, o entre las ramas principales y las secundarias.
- La distancia entre las espirales de una piña.
- La anatomía de los humanos se basa en una relación ϕ exacta, esto corresponde a: *a)* la relación entre la altura del humano y la altura de su ombligo; *b)* la distancia del hombro a los dedos y la distancia del codo a los dedos; *c)* la distancia entre la altura de la cadera y la altura de la rodilla; *d)* la distancia del primer hueso de los dedos (metacarpiano) y la primera falange, o entre la primera y la segunda, o entre la segunda y la tercera, en todos los casos el cociente es ϕ ; *e)* la relación entre el diámetro de la boca y el de la nariz; *f)* el diámetro externo de los ojos y la línea interpupilar; *g)* cuando la tráquea se divide en sus bronquios, si se mide el diámetro de los bronquios por el de la tráquea se obtiene ϕ . Está comprobado que a mayor cantidad de estas relaciones en el cuerpo y en el rostro hacen que la mayoría de las personas reconozcan a esos individuos como lindos, bellos y proporcionados.

FIGURA 6. Presencia en la naturaleza de la secuencia de Fibonacci. Fotos tomadas de [7].

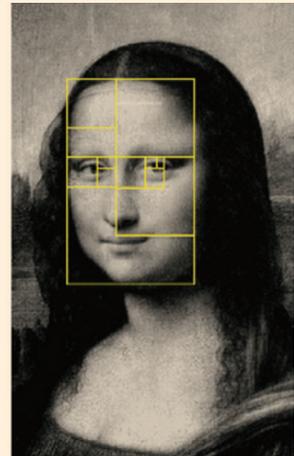


La sección áurea en el arte

De manera similar a la presencia de los números de Fibonacci en la naturaleza, la sección áurea está presente en el arte. Aquí mencionamos algunos ejemplos:

- La relación entre las partes, el techo y las columnas del Partenón, en Atenas.
- En los violines, la ubicación de las efes (los “oídos”, u orificios en la tapa) se relacionan con el número áureo.
- El compositor mexicano Silvestre Revueltas (1899-1945) utilizó también el número áureo en su obra Alcanfías, para organizar las partes.
- En las relaciones entre altura y ancho de los objetos y personas que aparecen en las obras de Miguel Ángel, Alberto Durero y Leonardo Da Vinci, entre otros.
- Las relaciones entre articulaciones en el hombre de Vitruvio y en otras obras de Leonardo da Vinci.
- En las estructuras formales de las sonatas de Wolfgang Amadeus Mozart, en la Quinta Sinfonía de Beethoven, en obras de Franz Schubert y Claude Debussy.
- En el Arte Póvera, movimiento artístico italiano de los años 1960, muchas de sus obras se basan en esta sucesión.

FIGURA 7. El Partenón griego fue construido también respetando las proporciones áurea, al igual que el rostro de la Gioconda, proporcionado con rectángulos áureos. Fotos tomadas de [8, 9].



Hoy en día la sección áurea se puede ver en multitud de diseños. El más conocido y difundido sería la medida de las tarjetas de crédito, la cual también sigue dicho patrón, así como también en las cajetillas de cigarrillos.

LOS NÚMEROS DE FIBONACCI EN LA CONSTRUCCIÓN DE NANOESTRUCTURAS

Con los avances tecnológicos de los últimos años se ha logrado la fabricación de nanoestructuras artificiales con propiedades físicas propicias para sus aplicaciones en la industria. Así, las técnicas de crecimiento epitaxial de nano-heteroestructuras se han empleado para fabricar sistemas multicapas periódicas y aperiódicas con aplicaciones en la industria optoelectrónica. Esto se ha motivado por la búsqueda de nuevos materiales con propiedades físicas específicas para aplicaciones tecnológicas.

Una estructura periódica es aquella en la que una unidad se repite en la estructura del sistema. Por otro lado, un sistema aperiódico se identifica como aquel que no tiene periodo, éste se puede formar, por ejemplo, con la secuencia de los números de Fibonacci. Lo anterior se detalla más adelante.

En la década de los años setenta del siglo pasado, Tsu y Esaki [10] estudiaron las propiedades de transporte de nanoestructuras formadas de capas delgadas; al sistema se le conoce con el nombre de superred. Esta superred se forma de capas alternadas de dos materiales diferentes. En este sistema una bicapa forma la celda unitaria que se repite en la estructura. Posteriormente, en 1985, R. Merlin y colaboradores [11], mediante el uso de la epitaxia de haces moleculares (MBE), crecieron heteroestructuras con la secuencia de los números de Fibonacci. La caracterización mediante rayos X y Raman de estas estructuras mostraron propiedades físicas interesantes. Debido a las posibles aplicaciones tecnológicas, las estructuras construidas con la secuencia de Fibonacci han recibido considerable atención de la comunidad científica. A la fecha, se han estudiado tanto propiedades ópticas como de transporte en sistemas de Fibonacci. En este reporte queremos mostrar un ejemplo de las propiedades ópticas de sistemas que se construyen siguiendo la secuencia de los números de Fibonacci.

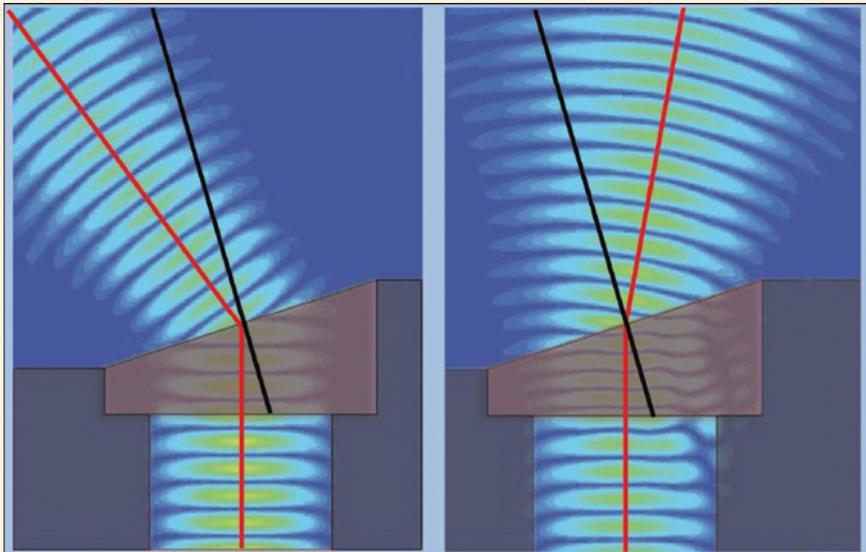
En la actualidad, existe mucho interés en estudiar la propagación de la radiación electromagnética en estructuras fotónicas. Esto se ha motivado por las aplicaciones en la industria optoelectrónica. Una estructura fotónica o cristal fotónico puede ser de uno, dos o de tres dimensiones, y se puede ordenar con o sin periodicidad. Aquí nos restringiremos a estudiar sistemas en una dimensión. Un cristal fotónico unidimensional se puede construir alternando dos capas delgadas de dos materiales diferentes, es decir, dos capas con índice de refracción n_1 y n_2 , respectivamente. Una de las propiedades físicas importantes que se investigan en los cristales fotónicos es la estructura de bandas, que describe el rango de frecuencias en que a la luz se le “permite” (bandas) o se le “prohíbe” (brechas) propagar a través del cristal. La aparición de bandas y brechas para la propagación de ondas electromagnéticas es una consecuencia de la periodicidad de la estructura. Esta propiedad se puede usar para la fabricación de filtros para la propagación direccional de la luz. Tomando en cuenta esta situación se puede explicar por qué en un sistema aperiódico la propagación se frustra, dando como consecuencia un sistema que no propaga radiación electromagnética. Por otro lado, se puede construir una estructura cuasi-periódica, por ejemplo, tomando como base las estructuras construidas con los números de Fibonacci. Así, se puede tomar como la unidad cualquier estructura de Fibonacci y repetirla de manera indefinida, como se explica más adelante. Como ejemplo ilustrativo en este trabajo presentamos las bandas y brechas que se obtienen en estructuras cuasiperiódicas generadas con los números de Fibonacci.

En 1967, Victor Veselago [12] propuso las consecuencias de un material hipotético con refracción negativa. En este material hipotético, contrario a lo observado en todos los materiales existentes hasta esa época, se preguntaba si la asimetría sería posible de alcanzar aunque fuese en un material artificial, y concluyó que de existir tales materiales exhibirían características notables que modificarían todos los fenómenos electromagnéticos observados hasta la fecha. Materiales con índice de refracción negativo no se encuentran disponibles en la naturaleza, pero éstos se pueden construir. Para tener un material de índice de refracción negativo se requiere que tanto la permitividad eléctrica como la permeabilidad magnética sean negativos, esto da lugar

a un índice de refracción negativo. Los materiales con índice de refracción negativo también se les llaman metamateriales. Sus posibles aplicaciones son variadas, entre los que se pueden nombrar los superlentes y el efecto de la invisibilidad, entre otros.

A continuación trataremos de explicar la refracción de la luz en materiales con índice de refracción negativo. Para ello consideremos la figura 8. El rayo incidente y el refractado se indican con la línea roja y la normal a la interface de separación entre los medios con una línea negra. La parte de la izquierda muestra la refracción negativa y la parte de la derecha presenta la refracción positiva. Puede apreciarse que la dirección del haz refractado tiene diferentes direcciones dependiendo de si la refracción es positiva o negativa. Para precisar, un material con índice de refracción negativa induce una refracción negativa.

FIGURA 8. En esta figura se representa esquemáticamente la refracción negativa y positiva de la luz. Imagen tomada de [13].



ESTRUCTURA DE BANDAS DE UNA RED DE FIBONACCI

La secuencia de Fibonacci nos permite estructurar cristales que no son periódicos, pero gracias a que llevan una secuencia ordenada y no se generan de manera aleatoria tampoco son amorfos; a este tipo de estructuras intermedias se les denomina cuasicristales. Como ya se mencionó anteriormente, nos restringiremos a estudiar sólo sistemas unidimensionales. Consideremos la estructura de Fibonacci que se construye a partir de dos bloques A y B que siguen la regla de generación de los números de Fibonacci, ambos tienen los mismos componentes pero sus dimensiones (ancho de las capas) son diferentes. Así que si $S_0 = \{A\}$ y $S_1 = \{AB\}$ usando la secuencia de Fibonacci se puede construir $S_2 = \{S_1 S_0\} = \{ABA\}$, $S_3 = \{S_2 S_1\} = \{ABAAB\}$, y de manera general $S_j = \{S_{j-1} S_{j-2}\} = \{ABA\}$. En este caso hemos elegido como componente de cada bloque

A y B dos materiales uno de ellos metamaterial, y otro dieléctrico (por comodidad se escoge aire).

Cuando el índice de refracción (m) es negativo $n < 0$ la estructura de bandas tiene diferentes comportamientos en comparación a cuando es positivo. Para describir la propagación de las ondas electromagnéticas en estructuras multicapas, primero definimos el sistema de coordenadas. Las interfases son paralelas al plano xy , la propagación de las ondas sucede en el plano xz . En cada capa se satisface la relación de dispersión $\omega = \omega(k) = kc/n$, la frecuencia angular de la onda es una función del vector de propagación k . En esta expresión el índice de refracción se define como $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$, donde ε es la permitividad eléctrica, μ la permeabilidad magnética y c la velocidad de la luz en el vacío. Si uno de los medios tiene $n < 0$, entonces:

$$\omega = \frac{c\sqrt{k_{zj}^2 + \beta^2}}{-\sqrt{\varepsilon_j\mu_j}}$$

En general $k_{zj} = k_{zjR} + jk_{zjI}$ es compleja. Para incidencia normal de la onda $\beta \neq 0$, entonces,

$$\omega = \frac{c\sqrt{k_{zj}^2}}{-\sqrt{\varepsilon_j\mu_j}}$$

y ω sería una cantidad compleja, lo cual no es aceptable físicamente. A estos modos no accesibles se les denominan **modos espurios**. Si $\beta \neq 0$ (incidencia oblicua) puede ocurrir que $k_{zjR} = 0$ y $k_{zjI}^2 < \beta^2$, esto proporciona una ω real, por lo tanto, son modos posibles de propagación y se le denomina tunelamiento fotónico [14].

A continuación damos ejemplos específicos de las propiedades ópticas de cristales fotónicos unidimensionales. Para ello se han realizado cálculos de la estructura de bandas y de la respuesta óptica en estructuras periódicas (superredes). Se hicieron proyecciones de las estructuras de bandas, para una red periódica y una de Fibonacci. En la figura 9 se muestran gráficas de la estructura de bandas (lado izquierdo) y de patrones de transmisión de las ondas electromagnéticas. En la figura 9a se reportan los resultados para la red periódica. La sección sombreada de la izquierda muestra las bandas permitidas (sección gris) y brechas prohibidas (sección en blanco), mientras que en verde se indican las frecuencias de tunelamiento. Las curvas representan la amplitud de transmisión para dos geometrías, una tiene periodo 5 capas y otra tiene periodo 10 capas. Los picos de la transmisión están en frecuencias de la banda y corresponden a resonancias. En la zona prohibida el tunelamiento se anula indicando que no hay propagación de ondas. Por otro lado, a frecuencias mayores a la zona prohibida aparecen una serie de picos que representan el tunelamiento de las ondas.

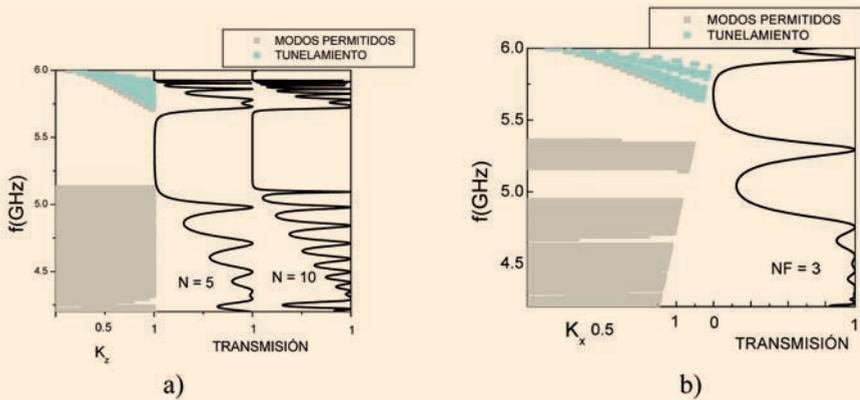
En la figura 9b se presentan las bandas y el espectro de tunelamiento para la estructura geométrica generada con los números de Fibonacci, en el ejemplo $N_F = 3$. Las regiones de frecuencias sombreadas en gris representan las bandas permitidas, la región en blanco es para la brecha prohibida y la parte de color verde es para los modos de tunelamiento. Los picos del tunelamiento representan múltiples resonancias de las ondas en las capas que forman la estructura. Los parámetros usados en este

cálculo corresponden a una permitividad eléctrica y permeabilidad magnética dadas por [15]:

$$\varepsilon(\omega) = \frac{(\omega^2 - \omega_p^2)}{\omega^2}, \quad \mu(\omega) = \frac{(\omega^2 - \omega_b^2)}{(\omega^2 - \omega_0^2)}$$

donde $\omega_{p,b,o} = 2\pi f_{p,b,o}$ con $f_p = 12$ GHz, $f_b = 6$ GHz y $f_o = 4$ GHz. El medio dieléctrico (RHM) para intercalar con el material izquierdo (LHM) es el aire. Los espesores son de $d_1 = d_2 = 0.5$ cm. Y las gráficas de transmisión fueron calculadas para un ángulo de 35° .

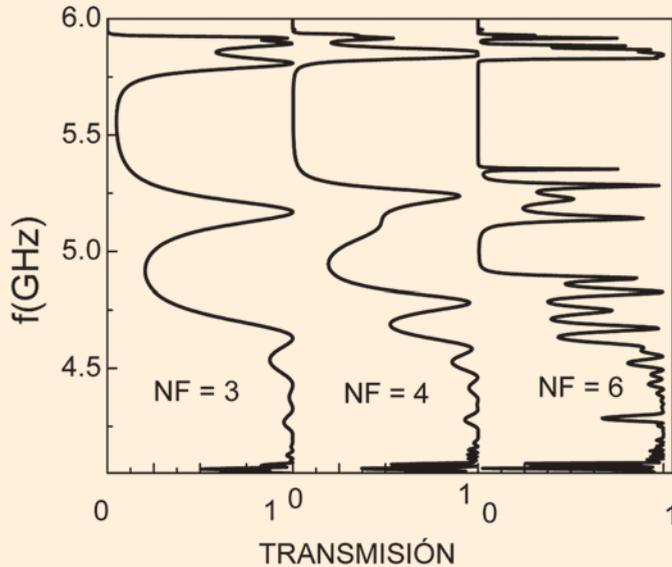
FIGURA 9. Estructura de bandas y espectros de transmisión para dos casos: a) estructura periódica; b) estructura de Fibonacci.



Otro ejemplo se ilustra en la figura 10. La gráfica muestra la amplitud de tunelamiento en estructuras que se construyeron con $N_F = 3, 4$ y 6 . Similar a la figura 9, los espectros despliegan las bandas permitidas, así como las brechas prohibidas. Puede apreciarse que en las bandas existe estructura que se genera por las múltiples resonancias de Fabry-Perot, que aumentan con el número de Fibonacci y con el ancho de las capas.

Las estructuras laminadas que hemos considerado aquí tienen anchos más grandes que los nanométricos; sin embargo, es posible construir estructuras nanométricas cuyas respuestas ópticas y de transporte muestren propiedades interesantes y útiles para las aplicaciones tecnológicas. Cabe mencionar que existen estudios de las propiedades de transporte electrónico, donde la probabilidad de tunelamiento presente el fenómeno de autosimilaridad [16 - 18].

FIGURA 10. Coeficientes de transmisión considerando como celda unitaria los bloques con $N_f=3, 4$ y 6 .



REFERENCIAS

- [1] H. E. Huntley. 1970. *The divine proportion: A study in mathematical Beauty*. Dover Publications, Inc.
- [2] <<http://www.portaleureka.com/accesible/matemáticas/103-matemáticas/117-fibonacci-y-el-numero-de-oro>>.
- [3] N. N. Vorobyov. 1973. *Los números de Fibonacci*. México; Limusa.
- [4] R. Knott, D.A. Quinney. *The life and numbers of Fibonacci*. +Plus Magazine. © 1997-2009, Millennium Mathematics Project, University of Cambridge. September 1997
- [5] "The Fibonacci Numbers". *Time Magazine*, in partnership with CNN Friday, abril 4, 1969
- [6] <<http://concepcionabraira.wikispaces.com/La+secci%C3%B3n+%C3%A1urea>>.
- [7] <<http://www.environmentalgraffiti.com/featured/fibonacci-sequence-illustratednature/10867>>.
- [8] <<http://britton.disted.camosun.bc.ca/goldslide/jbgoldslide.htm>>.
- [9] <<http://sobrecuriosidades.com/2009/05/07/secuencia-de-fibonacci-y-divina-proporcion-matemáticas-que-rigen-la-vida/>>.
- [10] P. A. Lebowl and R. Tsu, *J. App. Phys.* 41, 2664 (1970); R. Tsu and L. Esaki, *Applied Physics Letters* 19, 246 (1971); R. Tsu and L. Esaki, *Tunneling in a finite superlattice*, *Applied Physics Letters* 22, 562 (1973).
- [11] R. Merlin, K. Bajema, R. Clarke, F.-Y. Juang, and P. K. Bhattacharya. 1985. "Quasiperiodic GaAs-AlAs heterostructures", *Physical Review Letters*, 55, 1768 (1985).
- [12] V. G. Veselago. 1968. Electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Sov. Phys. Usp.* 10,509 (1968).

- [13] J. B. Pendry, D. Smith. 2004. "Reversing light with negative refraction". *Physics Today* 37. junio.
- [14] Liang Wu; Sailing He; Linfang Shen. 2003. "Band structure for a one-dimensional photonic crystal containing left-handed materials". *Phys. Rev. B* 67: 235103
- [15] Dutta Gupta, S.; Arun, R.; Agarwal, G. S. 2004. "Subluminal to superluminal propagation in a left-handed medium". *Phys. Rev. B* 69: 113104.
- [16] Luca Dal Negro, Claudio J. Oton,1 Zeno Gaburro, Lorenzo Pavesi, Patrick Johnson,2 Ad Legendijk, 2003. "Light Transport through the Band-Edge States of Fibonacci Quasicrystals", *Phys Rev. Lett.* 90, 055501.
- [17] Mher Ghulinyan, Claudio J. Oton, Luca Dal Negro y Lorenzo Pavesi. 2005. "Light-pulse propagation in Fibonacci quasicrystals", *Phys. Rev. B* 71, 094204.
- [18] M. Palomino-Ovando, Gregorio H. Coccoletzi, y C. Pérez-López, *Phys. Lett. A* 213, 191 (1996); M. Palomino y G. H. Coccoletzi. 1998. *Superlattices and Microstructures* 24, 3.

Deshojando margaritas: ¿nanociencia o nanotecnología?

ERNESTO ESTÉVEZ RAMOS*
BEATRIZ ARAGÓN FERNÁNDEZ**

Toda ciencia reúne en sí la capacidad potencial de transformar el mundo. Al conocimiento científico nuevo le es añadido, aún si es sólo en carácter de posibilidad, la capacidad de ser utilizado para transformar la realidad. Quizás el caso más visible en que ese poder transformador se realiza, sea cuando ocurre en forma de tecnología. Hay en la relación entre ciencia y tecnología una tensión latente, de seguro dialéctica, que en el mundo contemporáneo tiene solución a diferentes niveles y que se proyecta de manera marcada a la sociedad como un todo. Si en el pasado la capacidad tecnológica y por tanto, transformadora de la ciencia se daba a escala local y su expansión a ámbitos más globales se lograba en un lapso extendido de tiempo, en el mundo contemporáneo ciencia y tecnología van de tal punto juntos que su sinergia puede provocar, para bien o para mal, consecuencias globales en intervalos asombrosamente cortos de tiempo.

En el instante en que ciencia y tecnología alcanzan ese poder revolucionador, ya han pasado suficientes siglos de organización social del trabajo para llegar a la transformación de la ciencia y la tecnología de sucesos individuales, a elementos sociales influidos e influyentes en la estructura de la sociedad y su dinámica. El análisis de la relación entre ciencia y tecnología deja entonces de ser un tema de tertulia contemplativa, para tornarse una necesidad a fin de entender la lógica del mundo actual.

La nanociencia y la nanotecnología son resultado del desarrollo científico técnico que ha permitido al hombre manipular la materia a la escala de una millonésima de milímetro, la escala del nanómetro. Sólo para entender la pequeñez de esta escala: si infláramos el universo de manera tal, que una esfera originalmente del tamaño de un nanómetro terminara siendo de un metro de diámetro, una canica de jugar bolas se habría expandido hasta ser del tamaño del planeta tierra.

Esta área del conocimiento se anuncia como la próxima revolución civilizatoria del hombre que ya hoy está en plena marcha. La capacidad de conocer y trabajar los materiales a esa escala, permite actuar de manera directa sobre la naturaleza misma de lo material, sin distinción entre lo biológico y lo inanimado. Las consecuencias de esta revolución apenas pueden ser calculadas hoy en toda sus dimensiones, pero está claro ya, que afectarán de manera dramática al hombre y a la naturaleza.¹

En el caso de las nanociencias y las nanotecnologías, ya es lugar común englobar a ambas por el último nombre, insistiéndose en la inseparabilidad práctica de ambos

* Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de la Habana, Cuba.

** Universidad de la Ciencias Informáticas, Cuba.

¹ Para una explicación más detallada sobre las nanociencia y las nanotecnología, el lector puede consultar "Las nanotecnologías en un mundo disfuncional", de Ernesto Estévez y Beatriz Aragón, en *Rebelión*: <<http://www.rebelion.org/noticia.php?id=89212>, 2009>.

términos. En este discurso se argumenta que la intencionalidad práctica de la investigación básica y el acortamiento del ciclo investigación-desarrollo-impacto social ha borrado las fronteras entre la ciencia y la tecnología, desarrollándose ambas de manera simultánea y en una interacción indisoluble. Contrario a esto, también se desarrolla una línea argumental que quiere separar en términos concretos las nanociencias de las nanotecnologías. En ella, reconociéndose la dificultad práctica, se insiste de todos modos en darle valor real a la diferencia conceptual entre ambas.

La discusión no es fútil. Detrás de este debate pueden esconderse intereses no tan académicos y neutrales, con una intencionalidad ideológica y económica bien definida. Al discurso que lo engloba todo en nanotecnología no le es ajena la pretensión de captar recursos frescos sobre la base de que el conocimiento que se genera en los laboratorios tiene un valor de mercado alto y realizable. Un segundo discurso, que intenta separar la relación nanociencia-nanotecnología, se hace sospechoso cuando se le dicta a los investigadores e instituciones del tercer mundo para insistir en la apertura de sus investigaciones, su inserción en proyectos de investigación del primer mundo y otras formas de manipulación.

En el caso de Cuba, aún cuando el contexto nacional difiera de su entorno tercer mundista, esta discusión tampoco es bizantina. En un momento en que el país está definiendo una estrategia sobre su desarrollo en el área de las nanotecnologías, debates sobre estos asuntos no pueden ser subestimados en la conformación de un consenso entre los diversos actores y públicos relacionados con las nano y en la decisión de un curso de acción determinado.

El presente texto discute si es correcto (y real) separar nanociencia de nanotecnología y la relevancia de esta discusión para entender el fenómeno nano en varias de sus implicaciones. Si en un texto anterior se argumentaba sobre la incidencia de la revolución nano sobre el mundo actual, aquí, dentro de la línea argumental principal, el énfasis se hará en la incidencia de ese contexto sobre el propio desarrollo de las nano.

La lógica del discurso que seguiremos no es del todo lineal, comenzaremos por discutir sobre la distinción entre nanociencia y nanotecnología para luego ampliar el marco de la discusión. Se valorará el contexto de los países periféricos y cómo la disyuntiva entre nanociencia y nanotecnología es parte de un argumento más general, que ha de tener en cuenta la realidad social en que esta revolución está teniendo lugar. Esperamos que al final de la lectura se entienda que lo nano sólo puede ser abordado desde una perspectiva inclusiva de las ciencias naturales y sociales.

DE CÓMO SE LLEGÓ DE UN DESCUBRIMIENTO FÍSICO A LOGRAR “OJOS” ÍNFIMOS PARA HURGAR MEMORIAS

En 1988, se descubrió el fenómeno de la magnetorresistencia gigante que permitió, diez años después, fabricar las cabezas lectoras que abrieron las puertas a los discos duros de más de un gigabyte, tan comunes hoy en las computadoras modernas (1 gigabyte es equivalente a 8,589,934,592 respuestas de sí o no).

La magnetorresistencia gigante es una propiedad relativamente fácil de explicar. Ocurre cuando un material es capaz de cambiar su resistencia eléctrica en mucho, cuando el campo magnético bajo el cual se encuentra cambia muy poco. Como en un disco duro, la información se almacena en “trociitos” virtuales de imanes, entonces, un

sensor basado en el fenómeno de la magnetorresistencia gigante puede “ver” unidades de información muy pequeñas, permitiendo aumentar drásticamente la cantidad de información almacenada en el mismo volumen.

En 1997, la compañía IBM anunció el primer cabezal magnetorresistente y el primer disco duro de 17 gigabytes. Hoy en día, utilizando cabezales basados en el mismo fenómeno, los discos duros alcanzan una capacidad de 2 terabyte (175,921,860,444 respuestas de sí o no). Si en los primeros treinta años el hombre había logrado multiplicar la capacidad de los discos duros en 47 veces, de 5 Mbytes a 236 Mbytes en 1988, en los próximos veinte, el salto sería por un factor de más de 8,000 veces.

En el año 2007, Peter Gruenberg y Albert Fert obtuvieron el premio Nobel de Física por el descubrimiento de la magnetorresistencia gigante.

Los materiales que muestran este efecto son materiales nanoestructurados

En esta historia hay varias cosas que llaman la atención: el tiempo breve que medió entre el descubrimiento del fenómeno físico y su aplicación comercial. Este tiempo es cinco veces menor que el transcurrido desde los primeros experimentos eléctricos y el primer bombillo incandescente comercial.

Por otro lado, está la intencionalidad de la investigación básica. Si los pioneros investigadores de la electricidad lo hacían por pura curiosidad intelectual, sin avizorar las posibles aplicaciones, en el caso de la magnetorresistencia gigante, el fenómeno “gritaba” sus aplicaciones desde el mismo inicio. En ese sentido podríamos decir que el germen tecnológico ya existía en el descubrimiento básico.

AQUÍ SE INTENTA RESPONDER LA PREGUNTA DE LOS VEINTE PESOS: ¿PUEDEN SEPARARSE NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA?

La nanociencia se refiere a la investigación en la escala nanométrica que tiene como fin la sistematización de conocimiento con independencia de su utilidad práctica. Es decir, la investigación que busca el descubrimiento y comprensión de fenómenos en la nanoescala, la acumulación estructurada de conocimiento nuevo, la conceptualización de nuevas categorías, sus relaciones y leyes.

La nanotecnología es el desarrollo de procesos, procedimientos y productos capaces de llevar el conocimiento de la nanoescala a aplicaciones prácticas, cuyas implicaciones han de ir, directa o indirectamente, más allá del laboratorio o centro que los produce para impactar a la sociedad de algún modo.

El descubrimiento de la magnetorresistencia gigante es nanociencia, el diseño y construcción de cabezales magnéticos basados en ello es nanotecnología.

Pero aún cuando pudiera pensarse que nanociencia y nanotecnología son separables, un análisis apenas más profundo revela que en el sentido práctico es casi imposible lograrlo.

Se pueden enumerar varias razones para argumentar esta última afirmación:

- 1) *La investigación en la nanoescala necesita en muchos casos del desarrollo ad hoc, a nivel de laboratorio, de instrumentación científica que, en muchas ocasiones, termina siendo un producto comercializable.*

La nanociencia está, desde el punto de vista instrumental, en una etapa de desarrollo agresivo. Esto la diferencia de otras ciencias con más tradición, donde el “paquete estandar” de instrumentos científicos se halla bien establecido comercialmente. En nanociencia una parte importante de la investigación viene acompañada por el desarrollo o modificación de los instrumentos que se utilizan en el laboratorio.

Entre 1982 y 1985, Rohr, Berning y Gerber inventaron el microscopio de efecto túnel y el microscopio de fuerza atómica, los dos representantes fundamentales de una familia de instrumentos de observación, análisis y manipulación de superficies que hoy agrupa a más de una docena de instrumentos. Tal es el ímpetu en el desarrollo de estos instrumentos que hay hasta una revista científica, *Journal of Scanning Probe Microscopy*, dedicada exclusivamente a recoger estos resultados. La mayoría de estos instrumentos son desarrollos realizados en los laboratorios de investigación y algunos de ellos han saltado de los laboratorios a empresas que los producen y comercializan. Se puede establecer una cronología muy ilustrativa entre hitos en el desarrollo de los principales instrumentos de microscopía utilizados en lo nano, y la creación de empresas surgidas de laboratorios universitarios.

Incluso aquellos desarrollos instrumentales que no llegan a la escala industrial pueden ser comercializados directamente por los propios laboratorios como productos para otros laboratorios de nanotecnología. El alto valor agregado de muchos de estos instrumentos implica un ingreso económico importante.

TABLA 1. Hitos en el desarrollo de microscopios de superficies y hechos académicoempresariales.

Hito instrumental	Año	Hecho académico-empresarial
Microscopio de efecto túnel (STM).	1982	
Microscopio de fuerza atómica (AFM).	1985	Investigadores de la Universidad de Stanford crean la empresa Park Scientific.
Microscopio óptico de barrido (NOM).	1984	
Microscopio de fuerza atómica (MFM).	1987	Investigadores de la Universidad de California crean Digital Instruments.
Se crea el primer instrumento de AFM con Tapping Mode.	1993	Molecular Imaging es fundada por investigadores de la Universidad Estatal de Arizona.
-	1997	Investigadores de la Universidad de Basel fundan Nanosurf. WITec Es creada por investigadores de la Universidad de Ulm

2) *El objeto de estudio en la nanociencia es, en la mayoría de los casos, artificial. Eso que implica la necesidad de diseñar métodos de obtención que constituyen en sí mismo tecnologías o gérmenes de ella. Más aún, si bien el descubrimiento puede ser resultado de la curiosidad científica, su potencial como tecnología puede escapar a la intención original de los investigadores.*

En 1985, Smalley, Curl y Kroto, buscando sintetizar en el laboratorio el polvo intergaláctico, descubrieron los fullerenos, una nueva forma estable de carbono que les valió el premio Nobel de Química en 1996. Ya en el 2003, se producía más de 40 toneladas de ese producto al año. En el 2008, el mercado global de fullerenos alcanzó

los 300 millones de USD y se predice que para 2015 habrá alcanzado los 4,600 millones de USD.²

No es el único ejemplo

En octubre del 2009, el profesor Ian W. Boyd fue designado al frente del Centro de Melbourne para Nanofabricación³ cuya misión es “proveer instrumentación y facilidades para la fabricación de dispositivos que puedan potencialmente revolucionar muchos aspectos de la industria”. El profesor, adscrito al University College of London, era jefe del grupo de materiales y dispositivos, que se dedica a investigaciones fundamentales para la obtención de materiales en películas delgadas. La experiencia en investigaciones básicas del Dr. Ian W. Boyd es, sin dudas, muy apreciada por quienes lo nombraron al frente de un centro cuyo propósito es explícitamente tecnológico.

Otro ejemplo es el del mercado de las nanopartículas; se espera que alcance en el 2009 los 40 mil millones de USD. La inmensa mayoría de estos productos que se comercializan tienen su origen en investigaciones básicas. La búsqueda de nuevos materiales tiene como requisito previo buscar la forma de obtenerlos, no importa si es por simple interés científico o por interés comercial.

3) El proceso de investigación genera en muchos casos, casi de inmediato y de manera evidente, una intencionalidad tecnológica, aun cuando ésta no se realice en el mismo lugar donde se desarrolla la investigación básica.

Un ejemplo de ciencia básica que grita su aplicación es el resultado obtenido entre la Universidad de Yale y el Instituto Nacional de Standards de los EUA (NIST), que, investigando los mecanismos eléctricos en las células, han inventado células sintéticas en las que se crea una batería eléctrica de la que se puede obtener una diferencia de voltaje utilizable: “una pequeña batería de sólo 200 nanolitros permitiría obtener electricidad por cerca de 10 minutos”. Los investigadores creen que este resultado abre el camino para suministrar energía a nanodispositivos.⁴

Quizá sea por esa potencialidad que tiene la nanociencia de tornarse nanotecnología de manera casi espontánea, que al físico del Massachusetts Institute of Technology, Pablo Jarillo, le han otorgado un premio de 875,000 USD para investigaciones básicas en las propiedades de los grafenos.⁵ El fondo ha sido otorgado por la fundación David y Lucile Packard, la organización “no lucrativa” creada por el fundador de la empresa de alta tecnología Hewlett-Packard.

El hecho de que un laboratorio no realice una investigación con el objetivo de aplicarlo, no califica su trabajo como ciencia básica. La realidad es que otros pueden apropiarse, explícitamente o no, del resultado, y tornarlo un producto vendible. El ciclo de investigación-desarrollo-impacto social se ha vuelto tan corto que la delimitación de

² The Global Market for Carbon Nanotubes and Fullerenes. Technology Transfer Centre Ltd. Febrero de 2009.

³ London Centre for Nanotechnology Professor to Lead Melbourne Centre for Nanofabrication. <<http://www.azonano.com/news.asp?NewsID=13834>>, 2009.

⁴ Artificial Cells Acting as a Tiny Battery. <<http://www.azonano.com/news.asp?newsID=14241>>, 2009.

⁵ Five year grant allows MIT physicist to explore unique features of graphene. <<http://www.azonano.com/news.asp?newsID=14178>>, 2009.

cada uno de sus componentes se vuelve confuso. No por gusto, en los países desarrollados, cerca del 85% de las multinacionales activas en nanotecnologías tienen alianzas y colaboraciones formales con universidades y laboratorios financiándole parcial o totalmente sus investigaciones básicas.⁶

Las compañías y gobiernos entienden muy bien el valor tecnológico de lo básico, como explica el profesor Alex Callinicos cuando expresa, respecto a las universidades británicas, que éstas “están reconstruyéndose para ofrecer a las corporaciones británicas y extranjeras la investigación académica y los trabajadores cualificados que necesitan para ser rentables”.⁷ El potencial tecnológico surge en los laboratorios universitarios pero se realiza en las corporaciones. En el caso del mundo desarrollado, todavía existe la posibilidad de que ese potencial se logre concretar en el propio país. En el caso del tercer mundo, la realidad es más cruda. La investigación básica que se realiza en los laboratorios universitarios, en la mayoría de los casos termina siendo aprovechada fuera de sus fronteras, en el primer mundo, donde se tienen las condiciones de infraestructura para llevar el germen tecnológico creado en el país pobre a un producto comercializable. Las maneras en que este fenómeno se da han sido analizadas con anterioridad.^{8,9}

4) *El alto valor agregado, unido a los pequeños volúmenes requeridos, de algunos productos obtenidos en el proceso de investigación hace posible su comercialización directa sin necesidad de escalado. Existe un mercado de comercialización de productos que no implica la creación de un proceso productivo de escala industrial.*

En este tema ocurre algo similar a la instrumentación. Los laboratorios comercializan de manera directa pequeñas cantidades de nanobjetos, de alto valor agregado, que producen en sus áreas de investigación básica, con mayor ventaja cuando son dueños exclusivos del conocimiento para producirlos.

El profesor Kattesh Katti, de la Universidad de Missouri, ha desarrollado un método que reduce el tiempo de síntesis de nanopartículas de oro y plata de unas 30 horas a varios minutos. El propio profesor explica que su laboratorio será capaz de suministrar las nanopartículas a otros laboratorios nano que lo necesiten, “ciertamente seremos capaces de suministrar y ayudar a investigadores en todos los Estados Unidos”.¹⁰

Más aún, hay laboratorios de investigación básica que ofertan el servicio de síntesis de materiales o dispositivos al pedido, en cantidades pequeñas a precios que pueden resultar exorbitantes. En este caso, la nanotecnología, indistinguible de la nanociencia, es el desarrollo de métodos generales de síntesis o fabricación de nano “cosas”. Métodos adaptables y flexibles para un mercado que solicita de acuerdo con sus necesidades y no de acuerdo con lo disponible

⁶ Gian Carlo Delgado-Ramos. 2008. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. Colección El Mundo Actual. México: CEIICH-UNAM: 114.

⁷ Callinicos, Alex. 2006. *Universities in a neoliberal world*. Londres. Bookmarks Publications.

⁸ Delgado-Ramos, Gian Carlo. 2008. *Guerra por lo...*, *op. cit.*; 221.

⁹ Estévez, Ernesto. “La fábula de los tres hermanos: las nanociencias y las nanotecnologías en el contexto cubano”. *Revista Temas* (en proceso de publicación).

¹⁰ Nanoparticles to aid medical diagnosis, therapy. <http://www.innovations-report.com/html/reports/life_sciences/report-36440.html>, 2004.

La compañía alemana MicroParticle fue fundada en 1997 por un grupo de científicos de la Academia de Ciencias de Berlín para comercializar nanopartículas poliméricas monodispersas. Basados en los métodos desarrollados en sus laboratorios de origen, hoy tiene entre sus principales clientes universidades, laboratorios y sectores industriales.¹¹

La industria del espionaje y la guerra suele ser un cliente recurrente de este tipo de servicio, donde en ocasiones se necesita un producto en pequeñas cantidades o único, una sola vez. Sectores de alta tecnología también suelen alimentar este mercado: las agencias espaciales como la NASA, grandes laboratorios o facilidades experimentales nacionales como el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) el NIST de los Estados Unidos etc. Lo importante de este sector es que, aún cuando los pedidos pueden ser únicos, el precio del servicio puede llegar a los millones. A la sombra de esta realidad es que se ven crecer compañías cuyo mercado son precisamente estos grandes contratistas exclusivos.

5) Los laboratorios dedican una parte de sus esfuerzos al desarrollo y ejecución de servicios altamente especializados para la industria, como resultado intrínseco, directo o muchas veces como subproducto de sus investigaciones en nanociencias.

Esta realidad no es nueva, ni coto exclusivo de las nanotecnologías, y es un segmento de mercado que se torna importante en un contexto de penetración neoliberal de las universidades. Los institutos de investigación dentro de las universidades se especializan en realizar labores de expertos para la industria, redituables financieramente. Los servicios pueden ser muy variados, desde la opinión experta sobre la viabilidad de una propuesta, hasta el desarrollo de materiales al pedido.

Esto lo explican de la siguiente manera:

Desde principios del siglo XX, las grandes compañías tendieron a hacer investigaciones en sus propios laboratorios: esto fue cierto, por ejemplo, en el caso de la industria química alemana y en los laboratorios Bell en Estados Unidos de América. En todo caso, esto está cambiando. Ahora los productos son tan complejos, que se requiere investigación en una gama de técnicas más amplia de las que cualquier compañía puede asumir. [...] En este entorno cambiante, las universidades son socios potencialmente muy atractivos para el mundo de los negocios. Los buenos investigadores universitarios funcionan en redes internacionales: saben en qué lugar del mundo se hacen trabajos punteros de su campo. [...] los laboratorios universitarios se refrescan continuamente con la llegada de nuevos investigadores inteligentes en forma de estudiantes posgraduados y profesores.¹²

Cuando una compañía transnacional tuvo interés en desarrollar un material magnético nanoestructurado, se acercó al grupo del Prof. Josef Fidler de la Universidad Técnica de Viena, que puso a su disposición las herramientas que habían desarrollado durante años de trabajo en nanomagnetismo para este proyecto tecnológico. Su experticia en temas de ciencia básica fue clave en lograr la meta en menos de seis meses de trabajo.¹³

¹¹ MicroParticle <<http://www.microparticles.de/micropartengl.html>>, 2009.

¹² Lambert Review of Business-University Collaboration: Final Report, 2003.

¹³ Comunicación privada con el Prof. Josef Fidler y colaboradores, 2009.

En un sentido más general, el conocimiento acumulado se torna un activo comercializable en forma de producto intangible. Las universidades se vuelven espacios universalizadores de cierto tipo de conocimiento que el sector productivo no puede prever ni mantener. A ella se recurre cuando se necesita de una experticia que puede desbordar un área particular; tiene la flexibilidad de lograr integrar en sus análisis investigadores muy diversos y dar un enfoque más completo. La ausencia por lo general de un entorno crispado por las presiones productivas y el balance de ganancia, les permite desarrollar herramientas más generales, pensar en contextos más amplios, buscar un conocimiento más estratégico y avizorar caminos más arriesgados de investigación.

6) *La apropiación legal del conocimiento logrado desde las etapas iniciales de la investigación va más allá de patentar procesos y productos, y alcanza la protección excluyente de conocimiento básico y fundamental.*

Esta realidad ha sido analizada desde diferentes puntos de vista.¹⁴ Las patentes de conocimiento básico abundan. En el caso de la nanotecnología, la explosión de ellas ya es una realidad. Un ejemplo de esta tendencia ya ha sido analizado: la capacidad de la salamandra de adherirse a superficies muy lisas es resultado de protuberancias nanométricas en las plantas de sus extremidades. Este resultado, esencialmente básico, ha sido protegido con varias patentes. Está lejos de ser el único ejemplo.

Que la transferencia de conocimiento básico constituye un activo altamente cotizado está siendo descubierto por las universidades. En julio del 2006, el Imperial College, del Reino Unido, fue la primera universidad en hacer pública su oficina de transferencia técnica de propiedad universitaria, cotizándose en más de 25 millones en bolsa tan sólo con el 14% de sus activos.¹⁵ De acuerdo con el analista J. Boone, del *Financial Times*, las compañías de comercialización de la propiedad intelectual están en competencia feroz por ver quienes firman acuerdos de exclusividad con las principales universidades británicas.¹⁶

En junio del 2007, la compañía nanoTerra compró los derechos de licencia de más de 50 patentes a la Universidad de Harvard.¹⁷ Las patentes cubren técnicas para el diseño de materiales que se autoensamblan, herramientas para elaborar circuitos en la nanoescala, lentes y dispositivos de memorias, entre otros. NanoTerra anunció que ya ha firmado acuerdos con el Departamento de Defensa de los EUA, la compañía alemana Merk y el gigante de la química 3M.

Que la selva de patentes ya constituye un obstáculo para el desarrollo de los nanos es una realidad. En el área de los nanotubos de carbono se estiman en unas 543, solamente en Estados Unidos y que cubren cada paso en el proceso de fabricación y utilización de estos materiales.

Fabricantes de productos de nanotubos de carbono, que no desean depender de suministradores externos para sus productos, se enfrentan a problemas de patentes en todas las etapas

¹⁴ Pérez, Patricia. 2006. "Patentes limitan uso de nanotecnología", *Science and Development Network*, <www.scidev.net/en/science-and-innovation-policy/education/news/patents-limit-use-of-nanotechnology.html>, 2006.

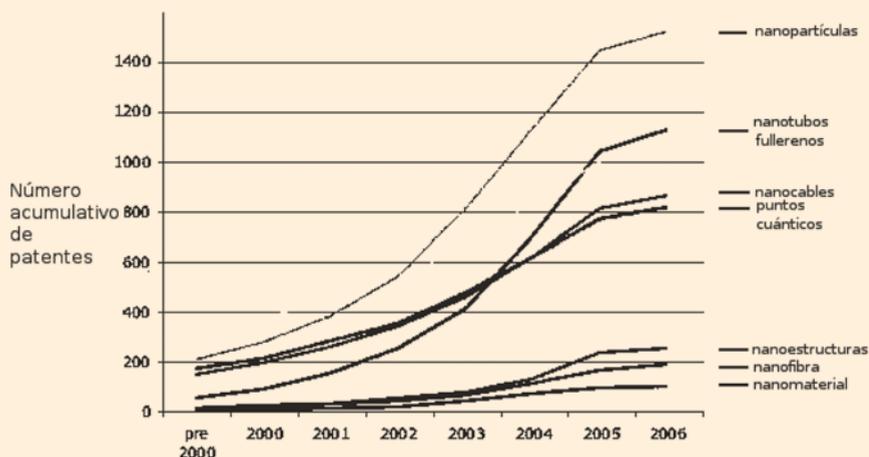
¹⁵ Boone, J. 2006. "University company sells stake for 25 million pounds". *Financial Times*.

¹⁶ Boone, J. 2006. "Most colleges set to sign technology transfer deals", *Financial Times*.

¹⁷ Bullis, K. 2007. "Key nanotech patents licensed". <<http://technologyreview.com/biomedicine/18829/page1/>>.

de sus síntesis: las técnicas de crecimiento (descarga de arco, deposición láser, deposición química en fase de vapor); las herramientas de procesamiento de los nanotubos (para la purificación, ordenamiento, dopaje, funcionalización, recubrimiento); las técnicas de manipulación para su deposición final o su integración en el producto.¹⁸

FIGURA 1. Número acumulativo de patentes en nanotecnologías otorgadas por el USPTO (modificado de: *The patent land grab in nanotechnology continues unabated, creating problems down the road.* <<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=386.php>>).



Pero el problema no se reduce a los nanotubos de carbono. El número de patentes nano crece a ritmo muy rápido anualmente como muestra la figura 1 y una buena parte de las otorgadas es sobre aspectos básicos como procesos de síntesis, manipulación, entre otros.

En el contexto de la apropiación del conocimiento, separar nanociencia y nanotecnología no es ya un mero error conceptual, es un error estratégico, pues se tiene la amenaza muy real de que no sólo los caminos a las aplicaciones se cierren, sino de que estas puertas cerradas también impidan el acceso a la búsqueda de conocimiento y a las rutas que de él parten.

La inseparabilidad de la ciencia y la tecnología en el área nano ha llevado a utilizar el término nanotecnología para englobar a ambas. No creemos afortunado tal uso y preferimos hablar de lo “nano” para sintetizar su carácter indisoluble.

AHORA SE INTRODUCEN OTRAS PREGUNTAS RESULTADO DE LA ANTERIOR Y SE JUSTIFICA QUE SON TAN IMPORTANTES COMO LA INTERROGANTE ORIGINAL

En algunos discursos públicos se intenta escamotear que surjan preguntas de fondo sobre el tema de cómo abordar el tema nano en las políticas científicas y de desarrollo de los países pobres. Partiendo de que la revolución nano se presenta como la

¹⁸ “Growing nanotechnology problems: navigating the patent labyrinth”. *Nanowerk*. <<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1367.php>>. 2007.

nueva piedra filosofal que resolverá todos los problemas de la sociedad se arguye que para lograr tal fin, los países subdesarrollados deben “integrar” sus iniciativas en este campo al de las potencias mundiales. Frente a este discurso hay que preguntarse qué peligros acechan detrás de estos aparentes llamados altruistas a la integración asimétrica, y qué dinámica deben seguir las iniciativas nano de los países en desarrollo.

La vinculación en el mundo subdesarrollado de los proyectos nano nacionales, universitarios o incluso individuales, con los centros de poder internacionales provoca que, en no pocas ocasiones, las investigaciones no tengan nada que ver con el contexto nacional donde se desarrollan. En el 2007, se desarrolló, en México, la reunión NanoforumEULA para tratar las investigaciones de nanomateriales en América Latina y en Europa. Como resultado de ello se decidió crear un fondo de 20 millones de euros para fomentar proyectos conjuntos de nanotecnologías México-UE. Uno de los objetivos declarados de la iniciativa es “apoyar a las empresas que usan las nanos dentro de sus procesos para mejorar su competitividad”¹⁹. Uno no puede menos que preguntarse, apoyar empresas de dónde, de México o de Europa? ¿La competitividad de quién, de México o de Europa? Estas dudas han sido abordadas por el investigador mexicano Guillermo Foladori, quien ha señalado que “el gobierno federal (mexicano) ha firmado acuerdos con centros de investigación, universidades extranjeras e industrias para promover el desarrollo de la ciencia diminuta, por lo cual todo producto quedará fuera del control del país”²⁰.

El problema no se reduce a los gobiernos. Como afirma Foladori “la opinión de los científicos que trabajan lo nano no necesariamente coincide con los caminos que la gente considera apropiados para satisfacer sus necesidades”²¹. La pretensión falsa de separar nanociencia de nanotecnología en ocasiones es utilizada para justificar el posicionamiento social del investigador.

Desde una aparente distinción de que se trata solamente de ciencia, sobre los actores individuales y colectivos inciden presiones, como la de publicar en revistas científicas internacionales (en su amplia mayoría pertenecientes a conglomerados editoriales transnacionales) para lograr reconocimiento, acceder a mejores salarios en sus universidades, o aspirar a categorías laborales superiores. Esta presión real, conlleva a emprender investigaciones en áreas calientes de las nano, en muchos casos calentadas precisamente desde el contexto primer mundista, para lograr publicar en revistas de alto prestigio, elevar el estatus frente a sus pares y lograr becas y subsidios del primer mundo. Poco importa si el tema de investigación, presentada exclusivamente como ciencia, termina siendo útil (como lo que realmente es, tecnociencia) para una empresa monopolista de cosméticos, en vez de tributar a la solución de un problema de salud local. Esta tendencia se ve reforzada por la estructura de estímulos implementados en muchas universidades del tercer mundo, que son copia mimética de los de las universidades europeas o norteamericanas.

Debe quedar claro que no se trata de invalidar emprendimientos en áreas punteras, aún si están lejos de la necesidad inmediata. Se trata de que estas investigaciones

¹⁹ “México y Europa colaborarán en nanotecnología”. *Milenio*. <<http://impreso.milenio.com/node/7110695>>. 2008.

²⁰ Laguna, Mauricio. 2007. “México, dependiente de nanotecnología”. *Revista Fortuna*. <http://revistafortuna.com.mx/opciones/archivo/2007/septiembre/htm/mexico_nanotecnologia.htm>.

²¹ Invernizzi, Noela y Guillermo Foladori. 2008. ¿Serán las nanotecnologías una solución a la pobreza en el mundo? Capítulo 1 en nanotecnología en la agricultura y la alimentación. CSEAM.

se enfocan con un fin de ventaja individual inmediata. El objetivo del proyecto de investigación termina siendo publicar bien y recoger los frutos de esa cosecha, sin insertar la investigación en un proyecto colectivo coherente, de mayor trascendencia para el contexto en que se viven y se desarrollan los actores de la investigación. Es el síndrome de investigar para *Nature*²² y para la IBM. Las consecuencias sociales de este fenómeno no pueden despreciarse. El actor científico se enajena de su realidad inmediata, conviviendo con sus connacionales pero sintiéndose que pertenece a otro colectivo, supranacional, exclusivo, de otros actores como él, que publican donde él publica, que lo entienden y a quienes en última instancia les debe lealtad. Toda una mentalidad colonial disfrazada de modernidad y globalización ideológica, sin percatarse que, como individuo, está siendo utilizado como una pieza desechable de una maquinaria perversa de reproducción social.

Tal actitud de alienación tiene también causas endógenas. Un investigador o colectivo mal comprendido, no reconocido o apoyado en su contexto, es un científico que se deja a merced del acecho de otros depredadores sociales. Tal es la causa en no pocas ocasiones, del actor que termina siendo financiado directa o indirectamente, sin vínculo efectivo local, por instituciones allende al patio y por tanto termina insertándose en las dinámicas de investigación+desarrollo+impacto social de otras geografías que no son las propias. Si bien la fuga de cerebros tiene como componente fundamental los cantos de sirenas de otras entidades con ofertas materiales más tentadoras, también es cierto que la falta local de canto alguno (perspectiva y proyecto de desarrollo local), el mal diseño de las políticas de investigación e innovación, la falta de reconocimiento, y ser relegado al pretérito cuando se habla de nuevas iniciativas, todas actúan como causas propias de este fenómeno global. En todo caso, el actor que localmente fue despreciado, resulta que si es apreciado en el mismo norte que aparentemente tiene menos necesidad de él, que el sur de donde se ha ido.

DÓNDE SE HACE UNA PAUSA REFLEXIVA PARA SEGUIR ARGUMENTANDO SOBRE EL CONTEXTO SOCIAL

Varias décadas antes de que lo nano se volviera un término popular, investigaciones que hoy clasificaríamos como tales, se realizaban en varios laboratorios del mundo. Lo que hoy se llama con soltura nanociencia y nanotecnología no está claramente delimitado y es incluso motivo de controversia. Para dar sentido a esta realidad hay que entender que lo que distingue el contexto actual es nuestra habilidad de hacer nanociencia en la escala nano con un impacto social masivo. Tecnociencia es un “recurso del lenguaje para denotar la íntima conexión entre ciencia y tecnología y el desdibujamiento de sus límites”²³

Richard W. Siegel, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de los EUA, lo explica del siguiente modo.²⁴

²² *Nature* es una de las dos revista de ciencias más prestigiosa del mundo perteneciente a la empresa editorial McMillian.

²³ Nuñez Jover, Jorge. 2002. “De la ciencia a la tecnociencia: pongamos los conceptos en orden”. Tomado de *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*, La Habana: Editorial Félix Varela.

²⁴ Siegel, R. W. 1999. *Nanostructure science and technology. A worldwide study*. Capítulo 1. National Science and Technology Council (NSTC).

Mientras muchos aspectos de este campo existían mucho antes de que la ciencia y la tecnología nanoestructurada se convirtieran en una entidad definible en la pasada década, sólo se ha convertido en un campo de empeño coherente a través de la confluencia de tres líneas tecnológicas importantes:

1. Un nuevo y mejor control del tamaño y manipulación en la nanoescala de los bloques constructivos fundamentales.
2. Una nueva y mejor caracterización (resolución espacial, sensibilidad química) de materiales en la nanoescala.
3. Un nuevo y mejor conocimiento de la relación entre nanoestructura y propiedades y cómo éstas pueden ser sintonizadas ingenierilmente.

La indivisibilidad de nanociencia y nanotecnología es una realidad históricamente condicionada. En el pasado reciente, las investigaciones en nanociencia no terminaban en nanotecnología, porque no existían las condiciones para ello en la sociedad. Hoy, estas condiciones existen o se están creando a un paso muy veloz. Es este análisis el que conduce a afirmar que en el contexto actual, con el avance científico y tecnológico alcanzado, con las interrelaciones globales de las organizaciones de investigación y de socialización de los resultados, se vuelve difícil, si no imposible, separar a las nano en ciencia y tecnología y por tanto esta realidad justifica su denominación como tecnociencia.

La creciente multidisciplinariedad de las nanos es otro factor que se agrega a los anteriores para reafirmar su indivisibilidad. En un reciente artículo este carácter multidisciplinario de las nano es analizado.²⁵ En el estudio, los autores enumeran las macrodisciplinas que contribuyen significativamente a las nanotecnologías (tabla 2). La

TABLA 2. Por ciento de artículos nano en el período enero-julio del 2008 publicados en revistas científicas, clasificados por macrodisciplinas. Los porcentos no suman 100 porque un artículo puede aparecer por varias áreas. Tabla modificada de "Where does nanotechnology belong in the map of science?" A. L. Porter y J. Youtie. *Nature Nanotechnology*, vol. 4, 2009.

Macrodisciplina	% de artículos nano en esta macrodisciplina	% de artículos nano citados en esta macrodisciplina
Ciencia de Materiales	50	85
Química	44	83
Física	11	57
Ciencias biomédicas	13	88
Ciencias ingenieras	7	51
Ciencias de la computación	3	21
Ciencia y tecnología del ambiente	2	11
Ciencias agrícolas	1	9
Geociencias	1	6

²⁵ Porter, A. L. y J. Youtie. 2009. Where does nanotechnology belong in the map of science? *Nature Nanotechnology*, vol. 4.

ciencia de materiales, una disciplina esencialmente tecnocientífica, clasifica asociada al 50% de las publicaciones en nano y estas publicaciones son, además, responsables del 85% de todas las citas que se realizan en el tema. De las 8 disciplinas que contribuyen a las nanotecnologías, 7 son esencialmente tecnológicas, o esconden dentro de ellas una buena parte que también es tecnología, como la física y la química. Mas aún, de las 171 áreas en las que el *Science Citation Index*²⁶ clasifica los tópicos científicos, de más de 6,000 revistas descubren que en 151 de ellas se reportan artículos nanos. 52 áreas temáticas tienen más de mil artículos nano publicados en un periodo de seis meses.

Ya en un estudio realizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de los EUA hace diez años, esta realidad se reflejaba de manera clara al apuntarse:

Existen dos descubrimientos importantes de este estudio:

Primero, está particularmente claro que ahora somos capaces de nanoestructurar materiales para un desempeño novedoso. Ése es el tema esencial de este campo: comportamiento novedoso a través de nanoestructuración. [...]

Segundo, existe una amplia gama de disciplinas contribuyendo al desarrollo en ciencia y tecnología nanoestructurada por todo el mundo. El incremento acelerado del nivel de interdisciplinariedad en la nanoestructuración es exitante y creciente en importancia, y la intersección entre varias disciplinas es donde radica lo novedoso de su actividad.²⁷

Separar artificialmente en lo nano ciencia de tecnología puede traer consecuencias desagradables a corto, mediano y largo plazo.

Como recientemente ha descubierto la oficina de propiedad industrial de Brasil,²⁸ la inversión en ciencias, aun si es multimillonaria, no garantiza la apropiación de la tecnología creada o en ciernes. Miguel Jorge, presidente del Instituto Nacional de Propiedad Industrial de ese país, ha expresado que “el número de patentes brasileñas presentadas en el exterior resulta muy bajo y no se presenta una expectativa de crecimiento en los próximos años”. Estamos hablando del país de América Latina que, con mucho, ha invertido más en ciencia en las últimas décadas y quien tiene el entramado científico más completo de la región. Brasil es el único país de América Latina con capacidad instrumental y facilidades científicas nacionales suficientemente actualizadas para plantearse un desarrollo autónomo en nanotecnología.²⁹ El país invierte alrededor de 7 millones de USD sólo en tres laboratorios considerados estratégicos, y a dos laboratorios nacionales de manera adicional le dedican 6 millones per cápita anuales. Sumando los distintos financiamientos la inversión pública total del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil fue de 57 millones de USD en el año 2008 y debe mantenerse para el 2009.³⁰

²⁶ *Science Citation Index* es el indicador de publicaciones científicas más reconocido internacionalmente.

²⁷ *Nanostructure science and technology. A worldwide study.* Resumen Ejecutivo. National Science and Technology Council (NSTC).

²⁸ Funcionarios de Brasil “perplejos” porque patentes no son promotores del comercio e innovación tecnológica. Observatorio Sudamericano de Patentes. Rebellion, <<http://www.rebellion.org/noticia.php?id=88191>>, 2009.

²⁹ Delgado Ramos, Gian C. 2008. “Entre la competencia y la dependencia tecnológica: la nanotecnología en el continente americano”. *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, v. 17, Madrid: 265-290.

³⁰ “Brasil investiga en grande la nanotecnología”. *El Mensaje*. <<http://www.mineduacion.gov.co/cvn/1665/article-157906Z>>, 2008.

Al mismo tiempo que el país celebra el crecimiento constante de su producción científica, que en 2007 alcanzó un 2.02% de los artículos publicados internacionalmente, también tiene que lamentarse de representar sólo el 0.06% del número de patentes registradas en el mundo [...] Por un lado, en Brasil, el desarrollo del conocimiento parece ir a toda máquina, obteniendo un lugar destacado entre los países de América Latina y asemejándose a países europeos, como Suiza (1.89%), Suecia (1.81%), Holanda (2.55%) y Rusia (2.66%). Pero, por otro, la producción tecnológica aún parece dejar mucho que desear en comparación con la de países como Corea del Sur (un 0.79%), Italia (un 1.31%), Francia (un 2.96%) y Japón (un 22.67%).³¹

Lo paradójico es que el planteamiento nano del gobierno de Brasil se ha diseñado vinculado a la producción industrial y a la competitividad económica. A pesar de ello, esta realidad tiene como corolario, que muchas de las investigaciones llevadas a cabo en instituciones brasileñas han terminado siendo, con alta probabilidad, tecnología en otros países del mundo.

La penetración de los desarrollos nano en las regiones pobres del mundo, por parte de los centros hegemónicos, tiene varias avenidas de entrada.

En los últimos años, han proliferado eventos científicos y comisiones de búsquedas organizadas desde el norte rico para analizar el impacto de las nanotecnologías en el desarrollo. En ese contexto visitan los países subdesarrollados para evaluar sus iniciativas nano y proponer caminos de colaboración “desinteresados”. Tales acciones permiten, además, conocer los actores individuales más prometedores en los distintos países. La extensión de los financiamientos, más allá de sus fronteras a investigaciones básicas, por parte de las agencias nacionales de ciencias de EUA y Europa, es un fenómeno nuevo, que tiende a crecer en áreas como la nano.

El interés manifiesto de instituciones del primer mundo en participar en los emprendimientos nanos de nuestras regiones, o de “sumar” a nuestros investigadores, e incluso laboratorios básicos, a sus proyectos en las etapas que ellos llaman precompetitivas es una realidad demostrable. A pesar de que la mayoría del tiempo esta labor se realiza de manera silenciosa, sin manifestar sus propósitos más allá de lo altruista, de vez en cuando algunos de sus artífices son más sinceros, Paul J. Herer en el reporte “Nanostructure science and technology: A worldwide study”, elaborado por el Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología de los Estados Unidos (WTEC) a pedido de la oficina del presidente de ese país aclara:

La información, sobre los desarrollos científicos e ingenieriles que están ocurriendo en los laboratorios alrededor del mundo es crítica para mantener la fortaleza económica y tecnológica de los Estados Unidos

[...]

El propósito de las actividades del NSTC/WTEC es valorar los esfuerzos de I+D en otros países, áreas específicas de la tecnología, comparar estos esfuerzos y sus resultados con las investigaciones en EUA en las mismas áreas, e identificar oportunidades para la colaboración internacional y la investigación precompetitiva

Está claro quien se lleva y se llevará la tajada del león en esta colaboración “precompetitiva”.

En ocasiones, separar lo básico de lo tecnológico de manera forzada se usa como argumento para facilitar tales penetraciones tanto a nivel colectivo como individual.

³¹ “Brasil sufre por la separación entre la universidad y la empresa”. <http://www.universia.edu.uy/index.php?option=com_content&task=view&id=5866>. 2008.

Ahora bien, que asumamos lo nano como un quehacer tecnocientífico no puede conducirnos a querer absolutizar sólo un aspecto de la relación entre conocimiento e innovación. Como señala Nuñez Jover “el término tecnociencia no necesariamente conduce a cancelar las identidades de la ciencia y la tecnología”.

Reducir todo a tecnología, minimizando las otras funciones sociales que cumple la ciencia tiene sentido en un sistema social capitalista que ve al científico y a la ciencia como meros catalizadores e incrementadores de su cuota de ganancia. El científico es un “obrero” altamente calificado y la tecnociencia es una herramienta maximizadora de las fuerzas productivas y a la vez de control ideológico y real sobre la sociedad. Las nano entran de lleno en esta lógica.

El Prof. Alex Callinicos, a quien ya nos hemos referido, ha analizado las consecuencias de la penetración neoliberal en las universidades británicas

las consecuencias fueron calamitosas. A los académicos y a otros miembros del personal universitario se les niega cada vez más la oportunidad de buscar el conocimiento por sí mismos y la oportunidad de atender las necesidades educativas y de otro tipo de los estudiantes. [...] Los estudiantes [...] son también víctimas de la subordinación de las universidades a las prioridades del mercado: El neoliberalismo en la educación superior significa que esta lógica de la competencia se interioriza profundamente en la manera de funcionar de las universidades.

Este cambio en la función social de las universidades se hace de manera explícita:

las universidades deberán convertirse no sólo en centros de enseñanza e investigación, sino en ejes de las redes de innovación en las economías locales, ayudando a lanzar empresas desde las universidades, por ejemplo. Las universidades deberían de ser minas a cielo abierto de la economía del conocimiento.³²

Como consecuencia de ello, los recursos a los centros de educación superior se asignan casi exclusivamente sobre la base de su aporte a la competitividad económica. Los gobiernos del primer mundo establecen esquemas de clasificación y financiamiento para sus universidades de acuerdo con esas líneas.

Reducir las investigaciones exclusivamente a su aspecto tecnológico en las ciencias como las nano es ahogar sus otras dimensiones igualmente imprescindibles a una sociedad.

Deberíamos defender lo que es valioso en las universidades existentes, contra la amenaza de destruir lo que representan por medio de la transformación neoliberal. Por ejemplo [...], es importante que las universidades sigan ofreciendo un espacio intelectual en el que se desarrolle el pensamiento crítico.

Debe ser una preocupación que estas “otras” actividades, que son también inherentes a la investigación científica natural, tengan espacio y recursos, garantizándoles un estado de salud adecuado que permita su crecimiento indetenido y su impacto efectivo en la sociedad.

La sociedad tecnocientífica absoluta es una pesadilla futurista condenada de antemano al fracaso; esta afirmación, que bien puede asimilarse de manera inmediata, es

³² Leadbeater. C. 2009. *Living on thin air*. Viking: 114.

en muchos casos mal comprendida a la hora de establecer políticas y tomar decisiones. La crisis actual de la contaminación ambiental es un buen ejemplo de hacia dónde nos puede conducir la absolutización tecnológica, la minimización de la necesidad del conocimiento básico y la matriz explosiva de la ambición humana.

En la época de la convergencia de las ciencias es difícil prever qué área del conocimiento mañana será relevante para la sustentabilidad de otras. Ése es el contexto tecnológico actual y no se puede eludir.

PORQUE YA VA SIENDO MUY LARGO EL DISCURSO ARGUMENTAL SE CONCLUYE PRETENDIENDO SINTETIZAR ALGUNAS IDEAS

¿Nanociencia o nanotecnología? es una pregunta que permite abordar un conjunto de problemas asociados a la revolución nano en el contexto actual. Como se ha pretendido argumentar, su respuesta, en términos de tecnociencia, no agota la disyuntiva y más bien conduce a realizar un enfoque del tema que rebase lo meramente tecnológico o científico para adentrarse en cuestiones sociales, económicas y políticas fundamentales que no pueden eludirse.

Una nanociencia que pretenda no estar unida de manera orgánica a un desarrollo nanotecnológico está condenada a abortar en un plazo no muy largo de tiempo. Esa realidad no es exclusiva de la región. Como afirma Richard W. Siegel, del Consejo Nacional de las Ciencias y las Tecnologías de los EUA:

Entre los retos que tenemos por delante están aquellos vinculados con realizar los avances necesarios en las tecnologías habilitantes que nos permitan un progreso rápido y continuo en este campo. Debemos aumentar nuestras capacidades de caracterización y visualización y análisis químico a escalas cada vez más pequeñas, y, eventualmente, incorporar recursos computacionales que nos permitan dirigirlos, si es que realmente queremos aprovechar totalmente las oportunidades.

En este empeño son muchas las amenazas externas que acechan. Ninguna iniciativa nano se desarrolla aislada en el mundo, sino que tiene en su universo de existencia en una competencia desenfrenada. En este contexto, buscar de manera inteligente alianzas estratégicas o tácticas es esencial, del mismo modo que lo es reconocer de manera rápida los peligros provenientes de otros actores.

En una estrategia nano no puede subestimarse el factor tiempo. La celeridad en el desarrollo de esta área y su creciente impacto hacen que cada día se cierren puertas y no se alcancen oportunidades. No llegar a tiempo significa en la práctica no llegar. Esa realidad obliga a los países pobres a aprovechar al máximo el margen de oportunidad que se les brinda —por estrecho que sea— para aprovechar los desarrollos alcanzados y potenciarlos.

Por otro lado, intentar absolutizar un sólo aspecto de la tecnociencia, en el caso de lo nano, trae el peligro de no ver las otras dimensiones del mismo fenómeno. Dimensiones que alcanzan tanto lo científico como lo social o lo ecológico. Absolutizar el aspecto tecnológico puede traer a la realidad la potencial pesadilla de un futuro disfuncional e inviable.

Con las nano, el futuro es incierto para cualquier proyecto de investigación. No está claro qué desarrollo conducirá a una innovación exitosa. Si bien esto es cierto para casi todas las ramas de las ciencias en algún que otro grado, esta realidad es

particularmente inevitable en las nano en su estado actual. Investigar e innovar pasa necesariamente por tomar decisiones arriesgadas, los países del primer mundo minimizan globalmente los riesgos al poder apoyar en mayor o menor medida toda la gama de posibilidades que se van abriendo, pero aun ellos necesitan de la colaboración internacional para lograr conjurar los peligros. Para los países pobres este reto es aún más gigantesco y su solución pasa por la integración (como manera más cabal de cooperación) de esfuerzos a nivel supranacional. La búsqueda de la integración con sujetos que comparten los mismos objetivos y la misma suerte, en caso de fracasar, es esencial para poder hacer frente a la invasión nano que nos viene del primer mundo.

A la hora de plantearse buscar solución a nuevos retos como el que nos plantean las nano, quizás valga citar lo que recientemente afirmara Alfredo Guevara: "La verdad no es absoluta. La verdad es siempre una aproximación, constantemente cambiante (...). El problema es que el cambio no puede ser un acto frívolo, pero el cambio es necesario constantemente. Ante nuevas situaciones, nuevas soluciones."³³

La revolución nano nos pone al día el reto de cambiar nuestra forma de abordar los fenómenos tecnocientíficos, hacerlo es un imperativo si no queremos fracasar en su implicación social, económica y política, hasta llegar a naufragar en su misma esencia de ciencia.

³³ El peor enemigo de la Revolución es la ignorancia. Alfredo Guevara entrevista de Leandro Estupiñan. <http://www.revistacaliban.cu/entrevista.php?numero=5>, 2009

Formación de nanoestructuras orgánicas unidimensionales en superficies semiconductoras*

NOBORU TAKEUCHI**

RESUMEN: La formación de nanoestructuras orgánicas autoensambladas (que se forman por sí mismas) sobre superficies de los materiales semiconductores como el silicio es un área de investigación en nanotecnología muy activa e importante. Su estudio es interesante, no sólo por las posibles aplicaciones, sino también desde el punto de vista fundamental. En la investigación básica el interés es motivado por la posibilidad de comprender fenómenos físicos interesantes que están relacionados con estos sistemas, tales como: la estabilidad de las superficies, su crecimiento y las propiedades de los sistemas de una sola dimensión, por mencionar sólo algunos. En cuanto a las aplicaciones tecnológicas, existe un gran interés en el diseño de nanoestructuras orgánicas que combinen las muchas propiedades interesantes de las moléculas orgánicas con la bien desarrollada tecnología del silicio. Esto es particularmente evidente en el campo de la nanoelectrónica, ya que siempre hay una búsqueda para crear circuitos cada vez más pequeños (en la actualidad menor a las decenas de nanómetros), más allá de las capacidades de la litografía normal.

PALABRAS CLAVE: Nanoestructuras unidimensionales, silicio, superficies, semiconductores

ABSTRACT: The formation of self-assembled organic nanostructures on silicon surfaces is an important and intensely investigated area of nanotechnology. Its study is interesting not only because of possible applications but also from a fundamental point of view. In basic research the interest is motivated by the possibility to understand interesting physical phenomena that are related to these systems, such as surface stability, growth, and the properties of one-dimensional systems, to mention only a few. For technological applications, there is a great interest in the design of organic nanostructures that combine the rich functionalities of organic molecules with the well-developed solid-state semiconductor technologies. This is particularly evident in the field of nanoelectronics, since there is always a search for ways of creating smaller circuits (in the lower tens of nanometers), beyond the capabilities of normal lithography.

INTRODUCCIÓN

Hay un reciente interés en el estudio de la adsorción de moléculas orgánicas en superficies semiconductoras, no solamente por sus posibles aplicaciones, sino también desde un punto de vista de investigación básica. La introducción de la química orgánica en los semiconductores puede traer nuevas aplicaciones, es por ello que es muy importante el estudio de las reacciones de moléculas orgánicas con las superficies de silicio (Si). La habilidad de este tipo de moléculas para adsorber y emitir luz a ciertas frecuencias, de detectar moléculas, o de reconocer muestras biológicas son ejemplos de algunas aplicaciones que se podrían extender a la tecnología del silicio [1-2].

* Agradecimientos: Los cálculos de este trabajo se realizaron en el Centro de Supercómputo de la DGSCA-UNAM. Este trabajo fue apoyado por los proyectos Conacyt 48549 y DGAPA-UNAM IN101809.

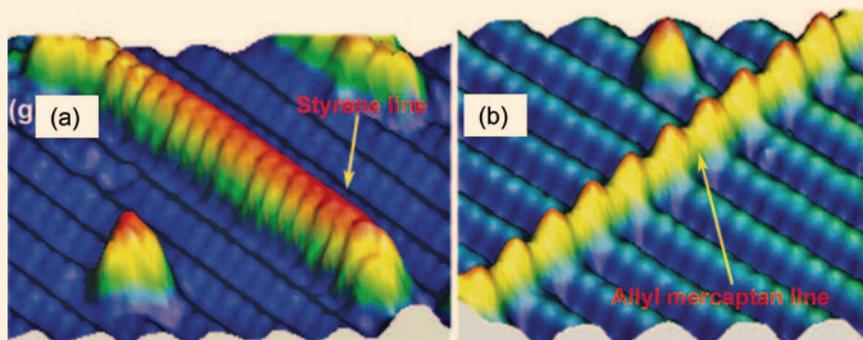
** Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ensenada, Baja California, México.

Nanoestructuras orgánicas autoensambladas (que se forman por sí mismas) sobre superficies de materiales semiconductores ya son usadas en aplicaciones prácticas reales, como en pantallas de televisión ultradelgadas y flexibles [3].

Se ha visto que el tipo de crecimiento de estas nanoestructuras puede ser controlado escogiendo cuidadosamente la superficie donde se forman y la molécula que se emplea. Por ejemplo, al usar la molécula de estireno, sobre la superficie hidrogenada de Si(111) resulta en un crecimiento en dos dimensiones [4-10].

En el caso de la superficie hidrogenada de Si(001) el depósito de estireno resulta en la formación de nanoestructuras en una dimensión, con una dirección específica (figura 1a). Si se cambia la molécula se puede cambiar la dirección de la formación de la nanoestructura, como se puede ver en la figura 1b al depositar moléculas de mercaptán [10].

FIGURA 1. Imágenes de microscopía de efecto túnel donde se muestra la formación de nanoestructuras unidimensionales de moléculas orgánicas en la superficie de Si(001) (a) estireno y (b) mercaptán. Nótese que dependiendo de la molécula, la orientación de la nanoestructura cambia. Imagen tomada de [10], cortesía de la Dra. Kawai.



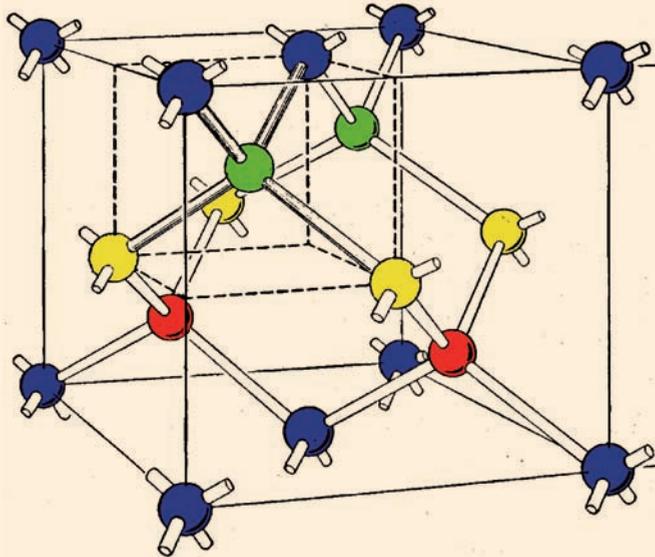
EL SILICIO

El silicio es el segundo elemento más abundante en el planeta después del oxígeno. Pertenece al grupo IV de la tabla periódica y está debajo del carbono. Tiene un total de 14 electrones y, de ellos, cuatro están en su última capa. Es un material semiconductor, con propiedades intermedias entre los metales y los aislantes [11].

Su estructura cristalina (cuando un sólido tiene una periodicidad en tres dimensiones se dice que es un cristal) es igual a la del diamante y como se puede ver en la figura 2, es cúbica. Como el silicio tiene cuatro electrones de valencia y forma enlaces covalentes, los átomos forman un arreglo tetragonal.

Este tipo de configuración es muy estable en los elementos del grupo cuatro, produciendo enlaces covalentes muy fuertes y es por esto que el diamante (formado por átomos de carbono) es el material más duro que existe en el mundo.

Figura 2. Estructura cristalina de silicio. Cada átomo de silicio forma tetraedros con sus cuatro vecinos más cercanos.

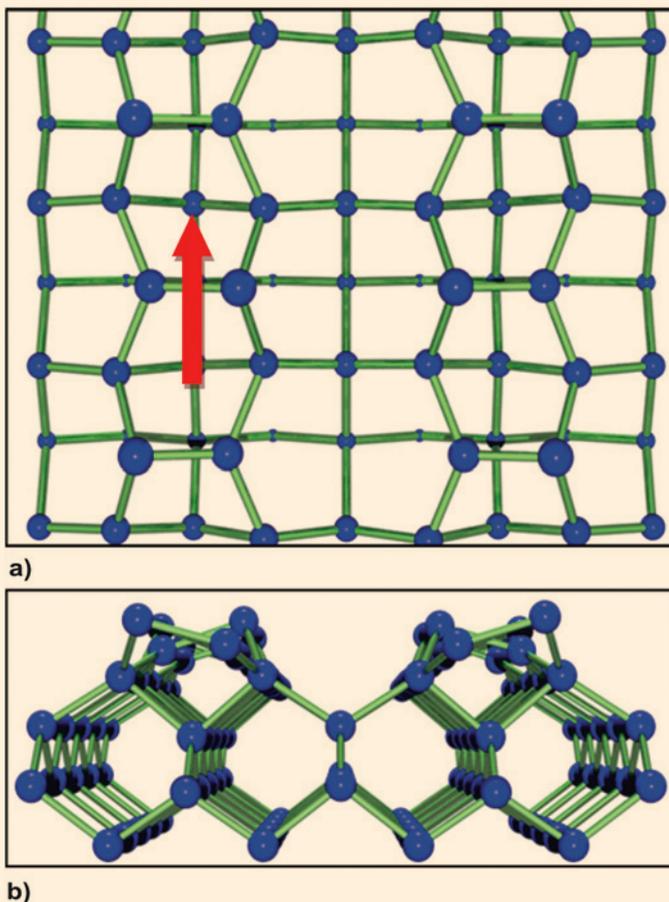


SUPERFICIES DE SILICIO

Una superficie tiene propiedades distintas a las del sólido cristalino debido a que los átomos en la superficie están en un ambiente diferente (en dos dimensiones) a los átomos del interior, lo que los hace buscar nuevas posiciones de equilibrio. Cuando se crea una superficie de un material como el silicio se forman “enlaces sueltos”, los cuales son enlaces químicos asociados a átomos en la capa superficial del sólido que no se une con un segundo átomo sino que se extiende hacia el exterior del sólido. Estos enlaces son energéticamente muy poco favorables y obliga a los átomos en la cercanía de la superficie a reacomodarse para tratar de eliminarlos.

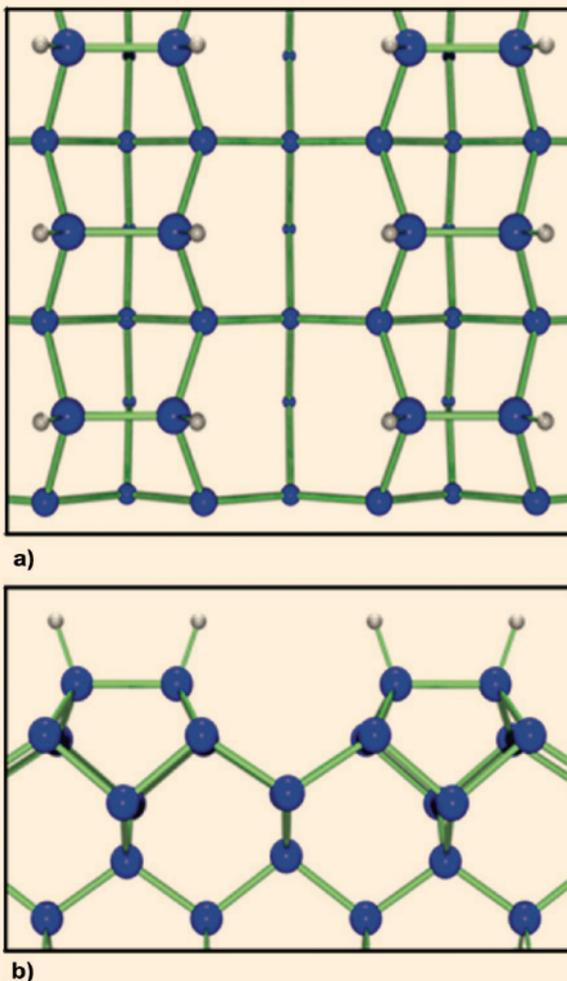
Se pueden obtener diferentes tipos de superficies dependiendo de la manera en que se preparan. Por ejemplo, la superficie formada por los átomos azules de la cara superior del cubo de la figura 2 la llamamos (001). Cada átomo de la superficie está enlazado con dos átomos vecinos de la siguiente capa (círculos verdes en la figura 2) y se queda con dos enlaces “sueños”. Sin embargo, esta situación no es estable energéticamente y los átomos se mueven hasta llegar a la configuración de la figura 3, la cual podemos caracterizar como una dimerización (es decir, la asociación en pares de átomos unidos entre sí) o formación de dímeros. La figura 3b muestra que los dos átomos que conforman un dímero no están a la misma altura vertical y decimos que el dímero es asimétrico. La flecha roja de la figura 3a nos indica una cadena de dímeros asimétricos, en donde podemos observar que la orientación de los dímeros se alterna.

FIGURA 3. Superficie de silicio (001). Círculos azules denotan átomos de silicio; a) vista superior; b) vista lateral.



Si a la superficie de silicio (001) se le agrega una capa completa (monocapa) de átomos de hidrógeno, se forma la configuración que se muestra en la figura 4. En esta configuración los dímeros de silicio se mantienen, pero ahora son simétricos. Cada uno de los átomos de la superficie de silicio forma un enlace con un átomo de hidrógeno, completando 4 enlaces: 2 con los átomos de la segunda capa, uno con el otro átomo del dímero y uno con el de hidrógeno. Es por esto que ésta es una configuración muy estable y la superficie no es reactiva. Sin embargo, si existe una vacancia de hidrógeno, se forma un enlace suelto que puede reaccionar fácilmente con moléculas incidentes. Es por esto que esta clase de superficies se usan para la fabricación de nanoestructuras unidimensionales como las de la figura 1. Experimentalmente, estas vacancias se pueden crear usando la punta de un microscopio de efecto túnel.

FIGURA 4. Superficie de silicio (001) con una monocapa de hidrógeno. Círculos azules (grises) denotan átomos de silicio (hidrógeno); a) vista superior; b) vista lateral.



LÍNEAS UNIDIMENSIONALES DE ESTIRENO

En esta sección vamos a estudiar la formación de nanoestructuras orgánicas unidimensionales sobre la superficie hidrogenada de Si (001). Usaremos como ejemplo el caso de la molécula de estireno; sin embargo, el método puede ser aplicado a cualquier otro tipo de molécula. Experimentalmente, se observa la formación de líneas de estireno paralelas a las cadenas de dímeros de silicio. También se sabe que el crecimiento inicia cuando existe una vacancia de hidrógeno. Actualmente, la única manera para estudiar los mecanismos de formación de estas nanoestructuras unidimensionales a nivel atómico es por medio de simulaciones por computadora.

Cálculos de primeros principios

Si al hacer una simulación de un material incluimos desde un inicio datos experimentales para mejorar la concordancia entre los resultados de la simulación y el experimento, estamos hablando de cálculos empíricos y semiempíricos. Otra línea de trabajo consiste en usar sólo la información básica de los átomos (su número y masa atómicas) y estamos hablando entonces de cálculos de primeros principios. Usar métodos empíricos en el estudio de materiales requiere de un menor tiempo de cómputo y se pueden hacer simulaciones con un número mayor de átomos o moléculas. Sin embargo, estos métodos en muchas ocasiones no funcionan, debido a que los parámetros experimentales que se introdujeron en el modelo inicial muchas veces no son muy buenos cuando el sistema que se estudia cambia de configuración.

Por otro lado, los cálculos de primeros principios, al usar solamente el número atómico de los elementos que participan en la simulación y no requerir de ningún tipo de parámetro adicional ni ajuste obtenido con base en resultados experimentales, son muy precisos, además de que pueden hacer predicciones de resultados que no se han obtenido experimentalmente. Sin embargo, tienen la desventaja de que requieren mucho tiempo de cómputo, debido a que usan las leyes de la mecánica cuántica para describir las interacciones de los átomos y los electrones de los materiales que se estudia.

En este trabajo, usaremos la teoría del funcional de densidad que ha sido empleada ampliamente para realizar cálculos de materiales de diferente clase: semiconductores, aislantes y metales. Este método ha mostrado con éxito que se puede transferir de átomos y moléculas individuales a sólidos, superficies y nanoestructuras. Se basa en un teorema que dice que la energía y demás propiedades de un sistema de electrones, en la presencia de un potencial externo, es un funcional único de la densidad de carga [12].

Usando este teorema, podemos optimizar estructuras cristalinas y calcular sus propiedades estructurales y electrónicas, además de su energía total. Esta última nos dice si los sistemas estudiados son estables y si pueden existir. También podemos estudiar las propiedades de sus superficies y en el problema que nos interesa, la reacción de moléculas en las superficies.

Simulación de una reacción química.

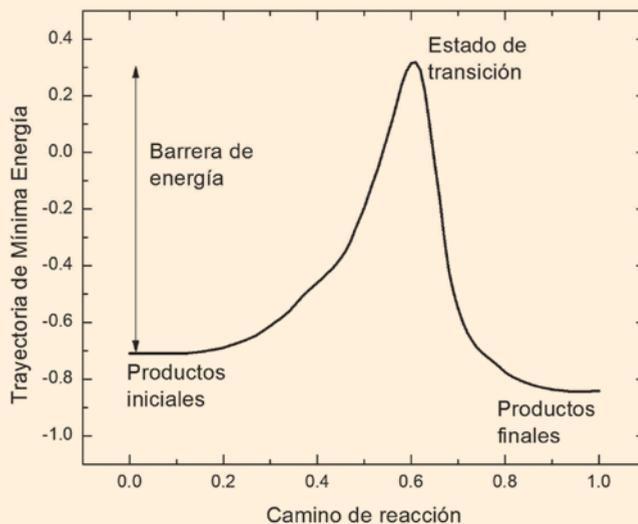
Las reacciones químicas suceden todo el tiempo y en todas partes: al oxidarse un clavo, quemarse un papel, o dentro de nuestro mismo cuerpo (por ejemplo, cuando respiramos).

Sin embargo, la investigación computacional de las reacciones químicas es difícil, ya que a nivel atómico se consideran como eventos “raros”: tardan mucho en ocurrir.

Uno de los métodos usados para estudiar computacionalmente una reacción química es la dinámica molecular, en la cual se permite que los átomos o las moléculas interactúen y se muevan por un periodo de tiempo obedeciendo la segunda ley de Newton (fuerza = masa x aceleración). Aunque en la dinámica molecular las fuerzas de interacción pueden obtenerse empíricamente o por medio de primeros principios, en el estudio de las reacciones químicas es necesario usar estos últimos, ya que una

reacción química involucra la formación y destrucción de enlaces. El procedimiento para estudiar una reacción por medio de una simulación de dinámica molecular puede sonar muy sencillo: se inicia con los reactantes y se espera un tiempo hasta que reaccionen y se obtengan, finalmente, los productos. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, a nivel atómico las reacciones químicas tardan mucho en ocurrir y para la mayoría de reacciones necesitaríamos tiempos extremadamente largos de simulación.

FIGURA 5. Trayectoria de mínima energía de una reacción química en la que los productos iniciales se transforman en los finales.

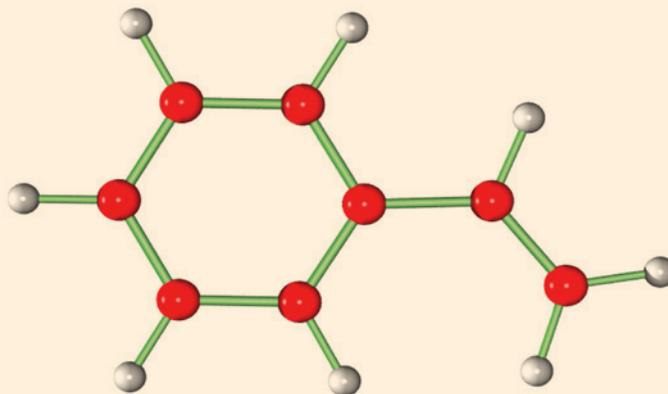


Otro método usado es la teoría del estado de transición. En ella se parte de un estado inicial de los reactantes y se calcula la trayectoria de mínima energía (TME) para llegar a los productos, como se muestra en la figura 4. El estado de transición en una reacción química es una configuración particular a lo largo de la TME que corresponde al máximo de energía. En este punto se asume que las especies reactantes conducirán siempre a la formación de los productos. La diferencia de energías entre los estados de transición e inicial es la barrera de energía que se debe de vencer para que la reacción se pueda completar. Dependiendo del tamaño de las barreras de energía, podemos saber si una ruta de reacción es posible o no.

Molécula de estireno

El estireno (figura 6) es una molécula orgánica con fórmula $C_6H_5CH=CH_2$, también se conoce como vinil benceno porque está formado por un benceno pegado a un grupo vinilo (con un doble enlace C-C).

FIGURA. 6. Molécula de estireno. Círculos rojos y grises representan átomos de carbono e hidrógeno, respectivamente.



Adsorción de una molécula de estireno sobre la superficie hidrogenada

El proceso de la reacción de la molécula de estireno con la superficie hidrogenada de Si(001) se puede ver en la figura 7. Inicialmente, la molécula de estireno se pega a la superficie de silicio en la vacancia de hidrógeno, saturando el enlace suelto de silicio (figura 7a). En ese estado, el estireno forma lo que en química se conoce como radical. No es una molécula estable, porque se rompe parcialmente el enlace doble de C-C. Debido a que en esta situación queda un electrón sin aparear, este radical es muy reactivo y trata de “robar” un átomo de hidrógeno de algún sitio vecino.

Hay dos posibilidades: que el hidrógeno provenga de la misma cadena de dímeros de silicio, o que sea tomado de la cadena vecina. En el primer caso se tiene la formación de una nanoestructura paralela a las cadenas de silicio, mientras que en el segundo caso es perpendicular. Los cálculos de las trayectorias de mínima energía para estos procesos indican que la barrera de energía para completar este proceso (la figura 7b muestra la geometría en la cima de la barrera, o sea, el estado de transición) es más pequeña en el primer caso, indicando que el crecimiento de las nanoestructuras es paralelo a las cadenas de silicio como se observa en el experimento. La curva azul en la figura 7 muestra la trayectoria de mínima energía cuando el átomo de hidrógeno se transfiere de un sitio en la misma cadena de dímeros de silicio.

Una vez que se tiene esta transferencia del átomo de hidrógeno, la molécula se vuelve estable y además se tiene un nuevo enlace suelto en el átomo de silicio vecino como se observa en la figura 6c (el enlace suelto se muestra como un óvalo azul). Los siguientes procesos de la reacción son dos rotaciones sucesivas mostradas en las figuras 7d y 7e. Al final de este proceso se tiene una molécula estable adsorbida en la vacancia de hidrógeno original, mientras se forma una nueva vacancia de hidrógeno en el sitio vecino, donde se puede pegar una nueva molécula de estireno y repetir el proceso descrito anteriormente hasta formar cadenas muy largas de estireno sobre la superficie de Si (001) como se muestra en la figura 8.

FIGURA 7. Vista lateral de los pasos en la reacción de la molécula de estireno con la superficie de Silicio (001) con una monocapa de hidrógeno. Círculos azules, grises y rojos denotan átomos de silicio, hidrógeno y carbono, respectivamente.

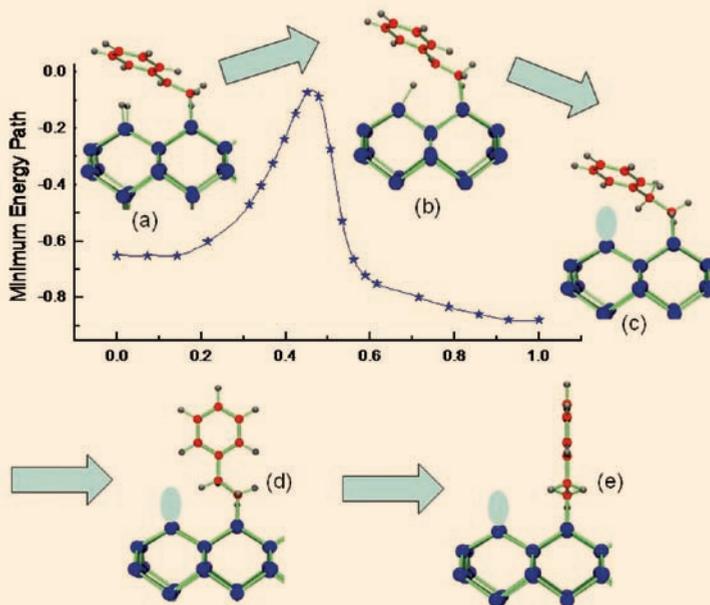
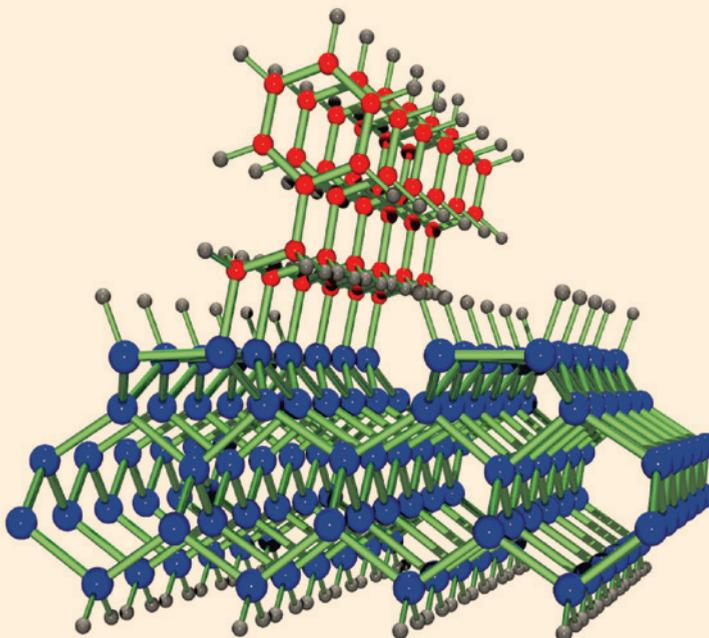


FIGURA 8. Nanoestructura unidimensional formada por el estireno en la superficie de Silicio (001).



RESUMEN

Moléculas orgánicas pueden formar nanoestructuras autoensambladas en las superficies de silicio. Estos estudios son importantes por razones tanto prácticas como de investigación básica. En el primer caso, se buscan combinar las propiedades de la química orgánica con la tecnología del silicio, para aumentar así, las posibles aplicaciones de este importante material semiconductor. Desde el punto de vista de la investigación básica nos permite entender fenómenos físicoquímicos interesantes que ocurren en sistemas de dos y una dimensión. En particular, mostramos que el estireno forma nanoestructuras unidimensionales sobre la superficie (001) de silicio con una monocapa de hidrógeno. La reacción química comienza en una vacancia de hidrógeno, y las nanoestructuras se forman paralelamente a las cadenas de dímeros de silicio.

REFERENCIAS

- [1] Buriak, J. M. 2002. *Chemical Reviews*, 102: 1271-1308.
- [2] Bent, S. F. 2002. *Surface Science*, 500: 879-903.
- [3] Moller, S.; Pelov, C.; Jackson, W.; Taussig, C.; and Forrest, S.R. 2003. *Nature*, 426: 166.
- [4] Cicero, R.L.; Chidsey, C.E.D.; Lopinsky, G.P.; Wayner, D.D.M.; Wolkow, R.A. 2002. *Langmuir*, 18, 305.
- [5] Takeuchi, N; Kanai Y; Selloni A. 2004. *Journal of the American Chemical Society*, 126, 15890.
- [6] Tong, X.; DiLabio G. A.; Wolkow, R.A. 2004. *NanoLetters* 4: 979.
- [7] Lopinsky, G.P.; Wayner, D.D.M.; Wolkow, R.A. 2000. *Nature*, 2000, 406: 48-51.
- [8] Takeuchi, N; Selloni, A. 2005. *Journal of Physical Chemistry B*, 109 11967.
- [9] Takeuchi, N; Selloni, A. 2010. *Journal of Physical Chemistry C*, 114, 3981.
- [10] Hossain MZ, Kato HS, Kawai M. 2005. *Journal of the American Chemical Society*, 127, 15030.
- [11] Herrera-Zaldívar M, Valenzuela-Benavides J. 2008. *Mundo Nano*, 1, 13.
- [12] Takeuchi, N. 1998. *Ciencia y Desarrollo*, 24, 18.

Desarrollo de la nanotecnología en Brasil 2001-2009

PAULO ROBERTO MARTINS*

INTRODUCCIÓN

Toda periodización utilizada para determinar cuando algo surge en la ciencia y tecnología (CyT) de un país es problemática por tratarse de un recorte de la historia. Siempre es posible identificar que el origen de un evento se remonta a un periodo anterior al que generalmente se admite.

Aunque puedan ser constatadas inversiones del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) en equipamientos para técnicas de crecimiento epitaxial de semiconductores, realizadas en 1987,¹ así como tesis en el campo de la nanociencia y la nanotecnología, como, por ejemplo, las defendidas en la Universidad Estatal de Campinas (Unicamp) desde 1992,² indicando que los investigadores individuales o el mismo grupo de investigación existían y producían nanociencia y nanotecnología en Brasil anteriormente al año 2001, es preciso resaltar también que, cuando se presenta el desarrollo de un determinado sector económico o de una determinada área de CyT poco fundamentada en fuentes oficiales, ciertamente se presenta una parte del todo, es decir, aquella parte que apenas refleja la visión oficial sobre el proceso de desarrollo en cuestión.³

En Brasil, el principal órgano gubernamental responsable del desarrollo de la nanociencia y nanotecnología es el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT). Dentro del MCT la definición de políticas y programas de investigación y desarrollo de nanotecnología es de competencia de la Secretaría de Políticas y Programas de Investigación y Desarrollo (SEPED). Esta Secretaría tiene un Comité Consultivo para Nanotecnología, formado por investigadores de renombre internacional en el área de nanotecnología. Cuenta también con un Comité Ejecutivo de la Política de Desarrollo Productivo, formado por representantes de diversos órganos gubernamentales, que trabajan con nanotecnología.

* Sociólogo, maestro en desarrollo agrícola, doctor en ciencias sociales, investigador del Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Estado de Sao Paulo - IPT, coordinador de la Red Brasileña de Investigaciones en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente - RENANOSOMA, coordinador del Proyecto de Involucramiento Público en Nanotecnología (Engajamento Público), presidente de Sociólogos sin Fronteras Latino América.

¹ Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Edicto CNPq Nano n° 01/2001, Brasilia, 2001. Disponible en: <<http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm>>. Acceso el 11 de enero de 2007.

² Documento de la Unicamp con la relación de las tesis defendidas entre 1992 y 2005, se encuentran disponibles en: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/33353.html>>. Acceso el 12 de sept. de 2006.

³ Esta parte está disponible en el sitio del Ministerio de Ciencia y Tecnología: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/727.html>>, materializada en varios informes, proclamaciones, decretos, y por ello no será el objetivo central en este documento.

La más reciente noción de la organización de las actividades en ciencia y tecnología en Brasil fue expresada en el documento Programa Institutos Nacionales de CyT, de julio de 2008

La organización del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, objeto de reflexiones y discusiones durante la elaboración del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, debe tener como base: el conjunto de grupos de investigación en todas las áreas del conocimiento, distribuidos por el territorio nacional; institutos formados por grupos de mayor experiencia y competencia científica, predominantemente en universidades públicas federales y estatales; e institutos de investigación científica y/o tecnológica, no universitarios, vinculados al gobierno federal o a los gobiernos estatales, como también aquellos de carácter privado. Este sistema de ciencia y tecnología es financiado principalmente con recursos públicos federales y estatales; sobresalen los recursos derivados de la CNPq, FINEP, CAPES, Petrobrás, BNDES, Ministerio de Salud, y fundaciones estatales de apoyo a la investigación, entre otros.⁴

Hechos los esclarecimientos antes citados, se subraya aquí que lo histórico adoptado en este trabajo para caracterizar el desarrollo reciente de la nanociencia y la nanotecnología en Brasil ha iniciado en el siglo XXI.

LAS TRES PRINCIPALES ACCIONES DEL GOBIERNO BRASILEÑO DIRIGIDAS AL DESARROLLO DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA⁵

Este tópico será presentado en forma de análisis crítico, fundamentado en los datos oficiales del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) y del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq), y también hará referencias a números, datos, hechos que no están retratados en las fuentes oficiales. Es lo que podemos denominar la historia de la nanotecnología “no contada”, oculta y muchas veces ignorada a propósito como forma de materializar la disputa existente entre las diversas áreas del conocimiento (exactas, biológicas y humanas) sobre lo que es el desarrollo de la nanotecnología en Brasil y quiénes son sus protagonistas.

Las cuatro redes oficiales de investigación en nanotecnología⁶

Ciertamente, este marco en el desarrollo de la nanotecnología en Brasil es el más importante en términos de articular recursos humanos y financieros. El Edicto CNPq Nano n° 1/2001 se transformó en la primera acción del Estado brasileño centrada en la organización de esta actividad con recursos financieros de R\$ 3 millones de reales. Su objetivo era fomentar la constitución y consolidación de Redes Cooperativas Integradas de Investigación Básica y Aplicada en Nanociencias y Nanotecnologías, orga-

⁴ Brasil. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Programa Institutos Nacionales de C&T. Capturado el 12/12/09 en URL: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25736.pdf>.

⁵ Otras acciones gubernamentales existieron a lo largo del periodo 2001-2009, como, por ejemplo, el apoyo a incubación de empresas, subvención económica a empresas, infraestructura de laboratorios, acuerdos internacionales; sin embargo, estas acciones no tuvieron el carácter estructurante de las redes de investigación en la producción de conocimientos sobre nanotecnología.

⁶ El sentido de la expresión redes oficiales es registrar el hecho de que éstas contaron con recursos financieros del sistema nacional de ciencia y tecnología.

nizadas como centros virtuales de carácter multidisciplinar y cobertura nacional, a partir de ahora denominadas Redes, a través del apoyo a proyectos de investigación científica o de desarrollo tecnológico, en temas seleccionados en las líneas de investigación en nanociencias y nanotecnologías para 2001-2002.⁷

Las cuatro redes aprobadas en el Edicto CNPq 1/2001 fueron las siguientes:

1. Red de Nanobiotecnología.
2. Red de Nanodispositivos, Semiconductores y Materiales Nanoestructurados (NanoSemiMat).
3. Red Nacional de Materiales Nanoestructurados; coordinador: Israel Baumvol.
4. Red de Nanotecnología Molecular y de Interfases (Renami).

Es preciso aclarar que el carácter multidisciplinar atribuido a la nanociencia y a la nanotecnología nunca incorporó a las ciencias humanas, y que aquéllas siempre fueron entendidas y practicadas como una exclusión del área de humanidades.

Por medio de estas redes, el Estado brasileño pretendía:

- i) Iniciar un proceso de creación y consolidación de competencias nacionales.
- ii) Identificar grupos o instituciones de investigación que desarrollen o puedan orientarse a la generación de proyectos relacionados con el área de nanociencias y nanotecnologías.
- iii) Estimular las articulaciones de dichos grupos e instituciones con empresas potencialmente interesadas o activas en el sector, más allá de su intercambio con centros de reconocida competencia en el país y en el exterior.⁸

También es preciso recalcar que, de 2001 a 2005, estas redes recibieron R\$ 3 millones, en consecuencia del Edicto CNPq Nano n° 01/2001, que las creó. Dos términos adicionales fueron firmados. El primero de ellos en 2003, con un valor de R\$ 5 millones, y el segundo en 2004, con el monto de R\$ 1,800,000.00. Por lo tanto, de 2001 a 2005 las cuatro redes de investigación recibieron un total de R\$ 9,800,000.00.⁹

De forma desagregada por red, el cuadro 1 indica los resultados obtenidos por cada una de ellas:

CUADRO 1. Resultados por red de investigaciones

Red	Investigaciones	Instituciones	Empresas	Artículos	Patentes
Nanobiotecnología	92	19	9	674	25
NanoSemiMat	55	18	1	970	15
Nanoestructurados	150	23	*	225	*
Renami	61	17	3	450	57
Total	358	77	13	2,319	97

Fuente: los autores, con base en Brasil (2006b: 12).

⁷ Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Edicto CNPq Nano n° 01/2001, Brasilia, 2001. Disponible en: <<http://www.memoria.cnpq.br/servicos/editais/ct/nanociencia.htm>>. Acceso el 11 de enero de 2007.

⁸ *Ibidem*.

⁹ *Ibidem*. (2006b: 8-9).

Las diez redes oficiales de investigación en nanotecnología

La continuidad de la acción gubernamental en este campo de fomento y constitución de redes de investigación cooperativas en nanociencia y nanotecnología se da mediante el edicto MCT/CNPq n° 29/2005. Según el informe de la Coordinación de Nanotecnología del MCT,¹⁰ en 2005 el Edicto MCT/CNPq n° 29/2005 creó diez redes (Programa Red BrasilNano), que presentaron una demanda de R\$ 27.2 millones en cuatro años. Los recursos procedieron de fondos sectoriales y de acción presupuestaria (PPA 2004-2007) de Apoyo a Redes y Laboratorios de Nanotecnología.

A continuación se presenta el objetivo y las líneas de apoyo/temas del Edicto CNPQ 29/05.¹¹

Objetivo

Dar continuidad al proceso de expansión y consolidación de competencias nacionales en nanociencia y nanotecnología, apoyando la formación de redes cooperativas integradas de investigación básica y aplicada.

Líneas de apoyo / temas

Las redes tendrán como foco uno o más de los siguientes objetivos:

- La solución de problemas específicos de investigación básica.
- El desarrollo de productos y procesos innovadores, basados en nanociencia, nanotecnología o nanobiotecnología, buscando su inserción en el mercado consumidor como la consecuente sustitución de productos importados.
- Estudios de impactos sociales, éticos, ambientales.
- Educación y divulgación de nanociencia y de nanotecnología.

Por medio de las redes a ser formadas, se contempla como objetivos:

- Fomentar el desarrollo de investigación cooperativa, multi e interdisciplinar en el país, elevando el nivel de competitividad internacional de la ciencia y tecnología brasileñas.
- Estimular la investigación básica de frontera, promoviendo la cooperación entre teoría y experimento, y fomentando proyectos de alto riesgo, mas de alto potencial de ganancia.
- Acelerar el proceso de desarrollo cooperativo y de comercialización de nuevos productos y procesos basados en nanotecnología, por medio de la articulación entre instituciones científicas y tecnológicas, y empresas;
- Promover una cooperación internacional equilibrada.

¹⁰ Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología. Datos sobre las redes del Programa NanoBrasil, Brasilia, ago. 2006a. Disponible en: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/730.html>>. Acceso el (P) Edicto CNPQ 29/05 disponible en URL: <<http://www.cnpq.br/editais/ct/2005/encerrados05.htm>>.

¹¹ Edicto CNPQ 29/05 disponible en URL: <<http://www.cnpq.br/editais/ct/2005/encerrados05.htm>>.

- Examinar los riesgos potenciales de nuevas tecnologías basadas en nanociencia.
- Elevar el nivel de conocimiento de los jóvenes estudiantes, formadores de opinión, formuladores de políticas públicas, inversionistas y de la población en general, sobre la nanociencia, sus beneficios y sus límites, mediante programas innovadores de educación y divulgación científica.

Las redes deberán articular los esfuerzos de los diferentes actores y agentes públicos y privados capaces de contribuir a la identificación, calificación y solución de problemas relevantes en nanociencia, nanotecnología o nanobiotecnología para el desarrollo socioeconómico y científico de Brasil. Por lo tanto, este edicto ofrece, de manera integral, el conjunto de instrumentos operados por el CNPq. Tendrán prioridad las propuestas que presenten programas de trabajo claramente definidos, objetivos enfocados, metas a ser atendidas y soluciones innovadoras desde el punto de vista del acuerdo institucional.

En el ámbito de este edicto, tratándose de redes focalizadas a la innovación, serán apoyados prioritariamente, proyectos relacionados con las aplicaciones de nanotecnología:

- En la cadena productiva del agronegocio.
- En el sector de energía.
- En los sectores químico y petroquímico.
- En el sector de pigmentos y tintas.
- En el saneamiento básico y recursos hídricos.
- En los sectores de salud (humana y animal), incluyendo la exploración sustentable de la biodiversidad.
- En la siderurgia, vidrios y cerámicos.
- En el sector textil.
- En el sector de cosméticos.

Las diez redes contempladas se enumeran a continuación:

1. Red de Nanofotónica.
2. Red de Investigación en Nanobiotecnología y Sistemas Nanoestructurados.
3. Red de Nanotecnología Molecular y de Interfases.
4. Red de Nanotubos de Carbono: Ciencia y Aplicaciones.
5. Red de Nanocosméticos: del Concepto a las Aplicaciones Tecnológicas
6. Red de Microscopía de Varredura Electrónica – Software y Hardware Abiertos.
7. Red de Investigación en Simulación y Modelaje de Nanoestructuras.
8. Red Cooperativa de Investigación en Revestimientos Nanoestructurados.
9. Red de Investigación Nanoglicobiotecnológica.
10. Red de Nanobiomagnetismo.

En la fase inicial de ejecución sus actividades se concentrarán en la adquisición de equipamiento, eventos de integración e implementación de la infraestructura adecuada. Por lo tanto, hasta el primer semestre de 2006, no hubo resultados concretos en las redes, como productos, procesos de patentes o servicios.

Según el edicto 29/2005, las redes serían sometidas a las disposiciones del Decreto MCT n° 614, del 1 de diciembre de 2004, que instituyó la Red BrasilNano.

Debido a que estas 10 redes de investigación cerraron sus actividades en octubre de 2009, no hay información disponible al público relacionada con la producción de cada una de ellas. Tenemos sólo la información de que un comité —independiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología— realizó una evaluación de estas redes, concluyendo dicho trabajo en diciembre de 2009. La regla general es no hacer divulgación pública de las evaluaciones realizadas sobre los desempeños de las redes oficiales de investigación.

Institutos nacionales de ciencia y tecnología

Los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (INCT) son considerados como los *locus* “top de línea”, estratégicos en la producción de ciencia y tecnología en Brasil, tanto por sus características de tener un foco temático en un área de conocimiento, para desarrollo a largo plazo, como por la complejidad mayor de su organización e importancia del financiamiento.

Dos son los documentos llave para el entendimiento de cómo se dio la acción del gobierno brasileño en la construcción de los INCTs. El primero de ellos se titula Programa Institutos Nacionales de CyT. Documento de Orientación Aprobado por el Comité de Coordinación el 29 de Julio de 2008 (capturado el 12/12/09 en el url <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74706.html>>). El segundo documento se trata del Edicto N° 15/2008 – MCT/CNPq/FNDCT/CAPEs/FAPEMIG/FAPERI/FA-PESP —Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (capturado el 12/12/09 en el URL <<http://www.cnpq.br/editais/ct/2008/015.htm>>).

La noción generada por estas INCTs entiende que:

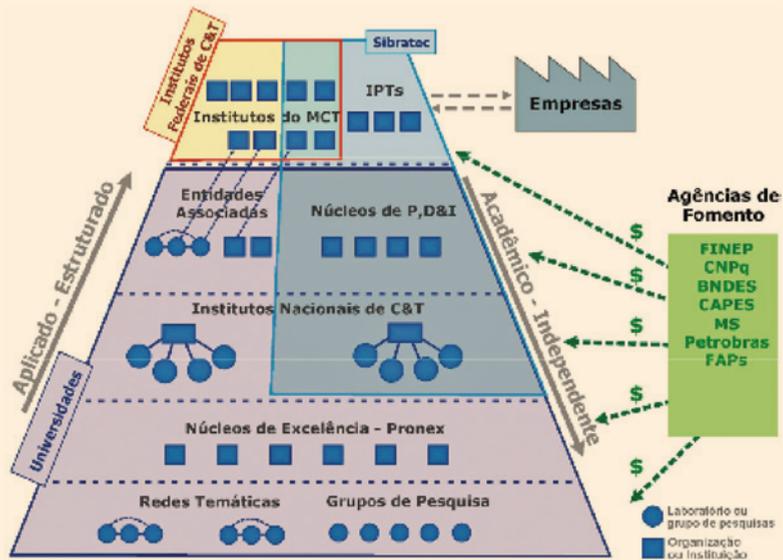
La complejidad de la ciencia y la actual dimensión del Sistema Nacional de C, T&I requieren que sean adoptados esquemas flexibles de financiamiento a la investigación, a semejanza de lo observado en otros países, donde pueda ser identificado un verdadero árbol jerárquico de unidades de investigación, como ilustra la figura 1. Este documento se refiere sólo a un programa dirigido al nivel más complejo de organización institucional, denominado Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología.¹²

Las exigencias para la constitución de los INCTs fueron delineadas de la siguiente manera:

Cada instituto deberá tener un tema o un área de actuación claramente definidos. Estos deben estar fundamentados en un programa bien estructurado de investigación científica o tecnológica que permita avances científicos sustanciales o desarrollo tecnológico innovador, y no únicamente en un proyecto de investigación o en un conjunto de proyectos de investigación, ya sean similares o vinculados. Cada Instituto será constituido por una entidad sede y por una red de grupos de investigación organizados regional o nacionalmente. La entidad sede deberá demostrar que tiene capacidad de sufragar recursos de otras fuentes así

¹² Brasil, “Programa Institutos Nacionales de C&T. Documento de Orientación Aprobado por el Comité de Coordinación el 29 de Julio de 2008” (capturado el 12/12/09 en el URL <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/74706.html>>): 2.

Figura 1. Ilustración del modelo de organización del sistema C, T&I.



como de disponer de espacio físico e infraestructura que posibiliten una caracterización visible del Instituto Nacional.¹³

Los institutos tendrán programas vinculados a temas *inducidos* o temas *de escuela espontánea* de los postulantes. Los temas inducidos se vinculan con los objetivos de desarrollo científico o tecnológico de interés estratégico nacional, alineados al Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación que contempla a la Nanotecnología.

El programa tendrá una duración de 5 años, siendo inicialmente asegurado su financiamiento para los primeros 3 años; tras validación, se decidirá la continuidad de apoyo por 2 años adicionales.

Objetivos del Programa de Institutos Nacionales: éste es un punto importante a ser resaltado, aquí se explicita lo que se espera de la actuación de dichos institutos. Por lo tanto:

El MCT se propone ahora dar una nueva dimensión a la iniciativa, por medio del programa de los Institutos Nacionales. El programa, globalmente, tiene metas más ambiciosas y terminadas en términos nacionales, destacando:

1. Movilizar y agregar de forma articulada con actuación en redes, los mejores grupos de investigación en áreas de frontera de la ciencia y en áreas estratégicas para el desarrollo sustentable del país, como están definidas en el PACTI.
2. Impulsar la investigación científica básica y fundamental competitiva internacionalmente.

¹³ *Ibidem*: 2.

3. Desarrollar investigación científica y tecnológica de punta asociada a aplicaciones, promoviendo la innovación y el espíritu emprendedor, en estrecha articulación con empresas innovadoras, en las áreas del Sistema Brasileño de Tecnología (SIBRATEC).
4. Promover el avance de la competencia nacional en su área de actuación, creando ambientes atrayentes y estimulantes para alumnos talentosos de diversos niveles, de enseñanza media a posgrado, y responsabilizándose directamente de la formación de jóvenes investigadores.
5. Apoyar la instalación y el funcionamiento de laboratorios en instituciones de enseñanza e investigación y empresas, en temas de frontera de la ciencia y de la tecnología, promoviendo la competitividad internacional del país, la mejor distribución nacional de investigación científicotecnológica, y la calificación del país en áreas prioritarias para su desarrollo regional y nacional.

Para su inclusión, no se espera que cada instituto alcance cada una de las cinco metas indicadas arriba, pero sí la mayor parte de ellas.¹⁴

Los recursos previstos para estos INCTs fueron estimados en R\$ 270 millones de reales en tres años, procedentes del gobierno federal (CNPQ y FNDCT).

MCT. Recursos del CNPq y del FNDCT, sumando R\$ 270 millones para aplicación en tres años

Fuente	2008	2009	2010	Total
CNPq	30	40	40	110
FNDCT	40	60	60	160
TOTL	70	100	100	270

Fuentes de los recursos (en R\$ millones).

Además de esto, las Fundaciones de Apoyo a la Investigación pertenecientes a gobiernos estatales de la región sureste (estados de Sao Paulo, Minas Gerais, Río de Janeiro) deberán aportar R\$ 135 millones de reales más para aplicar en los respectivos estados, distribuidos de la siguiente manera:

- R\$ 30 millones para el de Minas Gerais;
- R\$ 30 millones para el de Río de Janeiro;
- R\$ 75 millones para el de Sao Paulo.

Distribución regional de los recursos del MCT:

Considerando la sede del instituto, deberá atenderse la siguiente distribución regional para los recursos de la tabla anteriormente citada:

- Norte + noreste + centro-oeste + estado de ES: de la orden del 35% de los recursos.
- Sur: de la orden del 15% de los recursos.
- Sureste: de la orden del 50% de los recursos.

¹⁴ Ibidem: 3.

Con el reportaje de la Agencia Fapesp¹⁵ abajo reproducida, tenemos una síntesis del resultado de este proceso de constitución de los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología:

101 nuevos institutos
28/11/2008

Agencia FAPESP – El Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) divulgó en este jueves (27/11) la relación final de los proyectos que constituirán los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (INCT).

Los proyectos presentados fueron validados por una comisión formada por investigadores brasileños y extranjeros y recibieron recursos públicos con un monto de R\$ 600 millones.

Participan del programa la FAPESP y las fundaciones estatales de apoyo a la investigación del Amazonas (Fapeam), Pará (Fapespa), Minas Gerais (Fapemig), Río de Janeiro (Faperj) y Santa Catarina (Fapesc).

Además del Ministerio de Ciencia y Tecnología, por medio del CNPq, integran la iniciativa el Ministerio de Educación, por medio de la Coordinación del Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (CAPES), el Ministerio de Salud, la Petrobras y el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES).

Fueron seleccionados 101 proyectos, de las 261 propuestas enviadas a partir del lanzamiento del edicto del CNPq el 4 de agosto. Los institutos nacionales de ciencia y tecnología seleccionados comenzarán a funcionar desde este año. En el norte tendrán sedes en ocho institutos, que recibirán R\$ 42 millones; en el noreste, 14 institutos tendrán R\$ 59 millones; en el centro-oeste, tres instituciones tendrán recursos por R\$ 18 millones; en la región sur los 13 institutos seleccionados recibirán R\$ 53 millones y, en el sureste, donde se encuentran 63 unidades —el mayor número de sedes— el aporte llega a los R\$ 319 millones.

De los proyectos aprobados, 35 son del estado de Sao Paulo (confiere la relación). Por medio del término de cooperación firmado entre la FAPESP y el CNPq, serán invertidos en los institutos nacionales de ciencia y tecnología a ser sedes en Sao Paulo R\$ 187,166,343.00, divididos igualmente entre las dos instituciones para apoyar los 35 proyectos seleccionados.

El apoyo de la FAPESP permitió la duplicación de los recursos federales invertidos en Sao Paulo para la creación de institutos en el estado. La Fundación también propuso que las dos instituciones aprobaran cifras adicionales de R\$ 25 millones a razón de la alta calidad de las propuestas revisadas durante el proceso de análisis.

Los proyectos aprobados tienen las características de los proyectos temáticos de la FAPESP, modalidad que se destina para apoyar propuestas de investigación con objetivos suficientemente ambiciosos, que justifiquen mayor duración y menor número de investigadores participantes.

La lista de los 101 proyectos aprobados está disponible en el sitio del CNPq, en <www.cnpq.br/resultados/2008/015.htm>.

Cabe añadir que dadas las presiones realizadas por diversas instituciones y coordinadores de proyectos no aprobados junto con las instituciones federales que coor-

¹⁵ Agencia Fapesp “101 nuevos institutos” Sao Paulo, 28/11/2008.

dinaban el edicto público referente a la constitución de dichos INCT, terminaron por conseguir la aprobación de más de 22 proyectos, y con esto al final, Brasil pasó a tener 123 institutos nacionales de ciencia y tecnología.

Este proceso consolidó el *stablishment* de la ciencia brasileña, puesto que el edicto 15/08 exigía que los coordinadores de estos INCT fueran investigadores I-A y I-B en la clasificación de los científicos brasileños efectuada por el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq). Supuestamente, estos investigadores son los más calificados y experimentados en sus áreas de investigación.

Esto puede ser cierto para las áreas del conocimiento que tienen decenas de años de producción científica, como, por ejemplo, la física nuclear o la sociología urbana. Sin embargo, esto no es verdad para las áreas de frontera, como las nanotecnologías y más claramente aún para los impactos sociales, ambientales, económicos y éticos de las nanotecnologías. Esta exigencia eliminaba la posibilidad de que quien trabajara, produjera en esa área de frontera (aquella que va a consolidarse en el futuro) se pudiera colocar como coordinador de proyecto. Necesariamente, tenía que pasar esta función (y sus atribuciones de poder) a quien nunca produjo nada en esta área de frontera, pero haya sido elegido por sus colegas para ser investigador I-A o I-B del CNPQ. Con esto, se consolidó la estructura de poder en la ciencia brasileña, incluso en el segmento que corresponde al desarrollo de la nanotecnología en Brasil.

RED INDEPENDIENTE DE INVESTIGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y MEDIO AMBIENTE (RENANOSOMA)¹⁶

Constituida por iniciativa del Dr. Paulo Roberto Martins la RENANOSOMA es constituida por profesionales de diferentes áreas del conocimiento interesados en analizar otros aspectos de la nanotecnología, además de los puramente tecnocientíficos, como sus dimensiones económicas, políticas, sociales, ambientales y éticas.

Esta Red tiene por objetivo hacer que la nanotecnología también sea un objeto de investigación de las ciencias humanas. La nanotecnología ha sido estudiada principal y prioritariamente por las ciencias exactas y biológicas. Se trata entonces de hacer que las ciencias humanas se incorporen a esta producción de conocimientos para que podamos tener una visión completa sobre la nanotecnología. En nuestro caso, estamos interesados en estudiar cuáles son los efectos, los impactos de la introducción de esta tecnología en la sociedad y en el medio ambiente. Creemos que la nanotecnología tendrá un impacto muy importante. Por lo tanto, es preciso que sepamos de manera anticipada cuáles serán los problemas que se deparan, derivados de la adopción de la nanotecnología.¹⁷

Las cuestiones que hacen parte del propósito de la Renanosoma vienen, poco a poco, despertando la atención: en 2004, la Red contaba con 10 investigadores de 10 instituciones y, en 2010, ya contaba con 35 miembros de 25 instituciones. La Red se creó durante el I Seminario Internacional Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente (Seminanosoma), realizado los días 18 y 19 de octubre de 2004, en la Casa de la

¹⁶ El sentido de la expresión red independiente es registrar el hecho de que esta red no contó con recursos financieros del sistema nacional de ciencia y tecnología.

¹⁷ Martins, Paulo Roberto. "Nanotecnología, sociedad y medio ambiente". Bate-papo Programado/ IPT, 22/02/2006: <www.ciencia.sp.gov.br/atividades/servicos/chat>.

Cultura Japonesa de la Universidad de Sao Paulo (USP). La conclusión del I Seminanosoma, en las palabras de Dalcomuni, directora del Centro de Ciencias Jurídicas y Económicas de la Universidad Federal de Espíritu Santo (UFES), fue la siguiente:

Orientamos nuestros argumentos [...] en torno a la pregunta: 'En cuanto sociedades brasileña y mundial, ¿estamos preparados para la emergencia, en curso, de un nuevo paradigma pautado en el desarrollo integrado en las áreas de nanotecnología, biotecnología y tecnologías de la información?' Las ricas discusiones de aquel encuentro explicitaron que la respuesta a la inquietante cuestión es que ni la sociedad mundial y aún menos la sociedad brasileña están preparadas para una participación activa y para el direccionamiento de dichos desarrollos tecnológicos.¹⁸

Según la economista, las investigaciones en nanotecnología en Brasil están aisladas y concentradas en las áreas de física, química y biología. De tal forma implicaciones económicas, sociales, legales y éticas, aunque significativas, son desconocidas. Como solución, la investigadora apunta al desarrollo de la nanotecnología de forma multidisciplinaria y con el compromiso del público en los debates sobre oportunidades y riesgos.

Desde 2004, anualmente la Renanosoma viene realizando el Seminanosoma. Ya han sido realizados seis de ellos. El VII Seminanosoma será en la ciudad de Río de Janeiro, del 10 al 12 de noviembre de 2010, en la Fundación Oswaldo Cruz, importante institución de enseñanza e investigación en el área de salud.

Las líneas de investigación de la Renanosoma son las siguientes: impactos de la nanotecnología en la sociedad; economía y medio ambiente; ética y nanotecnología; nanotecnología, sociedad y agricultura, y, comunicación y nanotecnología.

Es importante resaltar que la Renanosoma participó en el edicto CNPQ 29/05 y no tiene aprobado su proyecto. Aunque las razones de dicha decisión presentadas por el CNPQ fueran frágiles y hayan sido plenamente contestadas,¹⁹ no hubo reconsideración por parte de la CNPQ. Este hecho marca el proceso de exclusión de los temas tratados por la Renanosoma. Lo cual significa que edictos públicos que fueron presentados sobre nanotecnología no contemplan la producción de conocimientos en el campo de los impactos sociales, económicos, ambientales y éticos producidos por el desarrollo de la nanotecnología en Brasil. Tampoco los recursos o edictos para la producción de conocimientos sobre nanotoxicología y econanotoxicología.

La exclusión de financiamiento procedente del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología en las actividades de la Renanosoma no se da sólo en el campo de producción de conocimientos. Se da también en el campo de la producción de encuentros/seminarios. De 2005 a 2009 la Renanosoma no recibió ningún tipo de apoyo financiero o no financiero para la realización del Seminanosoma que se lleva a cabo anualmente. Estos seminarios han sido realizados gracias a la colaboración del Ministerio de Desarrollo Agrario (MDA), órgano del gobierno federal brasileño.

¹⁸ Dalcomuni, Sonia María. "Interrelaciones fundamentales para el desarrollo sustentable". En: Martins, Paulo Roberto. *Nanotecnología, sociedad y medio ambiente*. Trabajos presentados en el Segundo Seminario Internacional (II Seminanosoma). Sao Paulo: Xamã; 2006: 49-68.

¹⁹ Estos hechos están narrados a detalle en Martins, Paulo R. (coord.) *Revolución invisible. Desarrollo reciente de la nanotecnología en Brasil*. Sao Paulo: Xamã Editora, 2007: 34-37.

La Renanosoma y el involucramiento público en nanotecnología en Brasil

El Edicto MCT/CNPq n° 12/2006 —Selección Pública de Proyectos para Apoyo de Proyectos de Difusión y Popularización de Ciencia y Tecnología— tiene como objetivo:

apoyar actividades que propicien la difusión y popularización de la ciencia y la tecnología en conjunto con la sociedad brasileña, la instalación y el fortalecimiento institucional de museos y centros de ciencias y otras iniciativas que tengan como objetivo promover la divulgación científica y la mejora en la calidad de la enseñanza informal de las ciencias.

Uno de los proyectos aprobados en ese edicto fue el Involucramiento Público en Nanotecnología, coordinado por Paulo Roberto Martins, del Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Estado de Sao Paulo (IPT), cuya propuesta consiste en informar y discutir nanotecnología con el público no especialista. Los resultados alcanzados por este proyecto pueden ser divididos en tres categorías: divulgación científica vía internet; producción audiovisual, y, actividades presenciales.

Divulgación científica vía internet

En la década de los años noventa, Internet dejó de ser una provincia 'habitada' por un pequeño grupo de fanáticos de computadora para transformarse en un recurso de consumo masivo de 10 millones de americanos. Además de esto, Internet evolucionó de un simple canal de texto, a distribuir servicios digitalizados de impresos, voz y video. En el proceso, ha representado un desafío a la forma en cómo todo el sector de medios de comunicación produce y comercializa sus productos (...) La pregunta decisiva es cómo todas esas posibilidades pueden beneficiarnos en una democracia post-industrial.²⁰

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (Cepal), es creciente el número de brasileños que usan internet: en 2001, 4 millones de domicilios brasileños (8.5%) tenían conexión y, en 2007, ese número subía a 11.4 millones (20.1%). Además de esto, en enero de 2009, los brasileños eran un pueblo que pasaba más tiempo navegando en internet, con el promedio mensual de 24 horas y 49 minutos (Veja.com, 2009). Sin embargo, entre los países de América Latina y del Caribe, Brasil también lidera la desigualdad en el acceso a internet: entre los más ricos, el uso es de 52%, mientras, entre los más pobres, es del 1.7% (Agencia Brasil, 2009). A pesar de esta limitación, no se puede ignorar el potencial de internet para la divulgación científica y, en este sentido, las estrategias del proyecto Involucramiento Público aquí vertidas representan contribuciones experimentales para la diseminación de una visión crítica acerca de la nanotecnología. La divulgación científica vía internet en el proyecto Involucramiento Público incluye el sitio de Renanosoma <www.nanotecnologia.iv.fapesp.br>, chats y el programa Nanotecnología al Revés (Nanotecnologia do Avesso).

El sitio de Renanosoma es hospedado en la Incubadora Fapesp, que, en mayo de 2009, reunía 420 sitios académicos. Entre todos los sitios hospedados por la Incubadora Fapesp, el de Renanosoma era el de la posición 71, el que más acceso había tenido en septiembre de 2007 y subió a la posición 36 del ranking en mayo de 2009. Por

²⁰ Dizard, Vilson. *A nova mídia: a comunicação de massa na era da informação*. Río de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000: 14-15.

medio del software Google Analytics, fue posible verificar que el número de visitas del sitio de Renanosoma aumentó de 793 en octubre de 2007 a 2,504 en octubre de 2008. De octubre de 2007 a abril de 2009, hubo un total de 29,604 visitantes únicos, la gran mayoría de ellos de Brasil (27,307), pero también de otros 66 países, especialmente Portugal (1,195), Estados Unidos (251) y Francia (101). Sólo en el año 2009 hubo 18,675 visitantes únicos.

Además del sitio de Renanosoma, otra forma de utilizar internet para divulgar la nanotecnología fue la realización de salas de conferencia virtuales (chats). El proyecto Involucramiento Público produjo 164 chats de abril de 2007 a noviembre de 2008. En cada sala de conferencia, un entrevistado —investigador u otra persona cuyo trabajo estuviera relacionado a la nanotecnología— conversaba con los internautas sobre la nano de manera general o sobre un aspecto específico referente al tema, como nanotecnología y alimentos; nanotecnología y trabajadores; nanotecnología y ciencias humanas; nanotecnología y cosméticos; nanotecnología y tuberculosis; nanotecnología en los medios, etc. El día, el horario, el perfil del entrevistado y las instrucciones para entrar al chat eran divulgados por medio de boca-a-boca, envío de e-mails o publicación de noticias. El promedio de participantes en las salas de conferencia a lo largo del periodo fue de 8.3 (aunque hubiera visitantes más asiduos, los participantes de los chats no eran siempre los mismos internautas, éstos variaban). El récord de participación ocurrió el 17 de octubre de 2007, con el invitado Nilton Morimoto, del Departamento de Ingeniería de Sistemas Electrónicos de la Universidad de Sao Paulo (USP), cuando participaron 24 personas. Ese récord fue obtenido, especialmente, debido a la divulgación del chat en el boletín de la Agencia Fapesp, el día anterior.

En marzo de 2008, se realizó una encuesta, en la que participaron cerca de 30 internautas, con el objetivo de evaluar la estrategia de divulgación de la nanotecnología por medio de chats. La mayoría encontraba los chats efectivos, pero preferían otros medios, como reportajes o videos.

El proyecto Involucramiento Público, entonces, buscó nuevos medios para divulgar la nano, especialmente la producción de Nanotecnología al Revés, un programa de TV por internet, distribuido por allTV <www.alltv.com.br>, emisora que exhibe otros 76 programas vía web. La Nanotecnología al Revés, que se transmite los lunes, de las 16:00 a las 17:00 hrs en vivo, está entre los de mayor audiencia en allTV. En promedio, cada programa es seguido por 1,800 internautas. Éste comenzó a ser producido el 12 de enero de 2009, resultando que al final de dicho año fueron producidos 48 programas con un auditorio de 60,000 internautas conectados.

En cada programa, un investigador es entrevistado para hablar sobre su trabajo. Los internautas pueden enviar sus preguntas al estudio, en tiempo real. Después de la exhibición, los videos quedan disponibles para su descarga en el URL: <<http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br/portal/programas-de-tv-online>>.

Producción audiovisual

Fueron producidos cuatro DVDs, dos de los cuales con recursos del edicto, titulados “Nanotecnología y los trabajadores” y “Para entender las nanotecnologías” dirigidos, respectivamente, a los trabajadores en general y a los estudiantes de educación media. Básicamente, los DVDs tienen informaciones, testimonios, explicaciones y opiniones de investigadores y de otras personas relacionadas con el tema. Éstos están

disponibles para descarga gratuita en el sitio de Renanosoma <www.nanotecnologia.iv.fapesp.br> invitando a que sean examinados y copiados, alcanzando así el mayor público posible. Centenas de copias ya han sido distribuidas en actividades presenciales del proyecto Involucramiento Público. La Red tiene, aún, dos títulos más en DVD: “Nanotecnología: el futuro es ahora” y “Reflexiones sobre nanotecnología”, gracias a la colaboración del *videomaker* Alexandre Quaresma.

Actividades presenciales

Éstas fueron realizadas en 74 ocasiones en el país y en el exterior; muchas, desarrolladas con la importante sociedad Fundación Jorge Duprat Figueiredo (Fundacentro), órgano de investigación del Ministerio de Trabajo y Empleo. Las capitales donde hubo actividades presenciales fueron Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, Sao Paulo, Río de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Salvador, Recife, Joao Pessoa, Natal, Fortaleza, Belém, Brasilia, Cuiabá y Campo Grande. También hubo actividades en ciudades como Sao Leopoldo, Itajaí, Blumenau, Cascavel, Marília, Campinas y Volta Redonda.

Las actividades presenciales del proyecto Involucramiento Público pueden ser comprendidas como momentos de encuentro con el público no especialista para presentar y discutir sobre la nanotecnología o aprovechar dichas ocasiones para, entre investigadores de las ciencias exactas y biomédicas, ubicar la nanotecnología en la perspectiva de las ciencias humanas. Entre las actividades realizadas, se destacan tres ciclos de formación en nanotecnología para profesores de enseñanza media del estado de Sao Paulo, desarrollados en colaboración con el Sindicato de Profesores de Educación Oficial del Estado de Sao Paulo (Apeoesp). El cuarto ciclo de formación será realizado en el periodo que va de abril a junio de 2010.

El primer ciclo de formación tuvo lugar los días 7, 14, 21 y 28 de junio de 2008, en donde cerca de 100 profesores pudieron informarse y debatir sobre la nanotecnología en el ámbito de grandes áreas temáticas como educación, medio ambiente, química, ética, física, sociología y mundo de trabajo, con la participación de seis conferencistas de la USP, uno del IIEP (Intercambio, Informaciones, Estudios e Investigaciones) y el coordinador de la Renanosoma. Ésta fue, sin duda, una de las principales actividades del proyecto Involucramiento Público: por primera vez en el país se realizó un ciclo de formación en nanotecnología para profesores de educación media de la red pública, posibilitando que la información científica sobre la nanotecnología llegase a ellos y, por medio de éstos, a los alumnos.

El segundo ciclo de formación ocurrió en noviembre de 2008 y se realizó bajo el esquema del primero, incluyendo temas como salud y seguridad del trabajador, procesos productivos, mercado de trabajo y formación profesional, agricultura y geografía, con la participación de profesionales del estado de Sao Paulo (IEA/SAA), además de la USP, del IIEP y del coordinador de la Renanosoma. Más de 45 profesores, incluyendo algunos de varias ciudades al interior del estado, tomaron conocimiento del tema de nanotecnología por primera vez, convirtiéndose en divulgadores de información en sus escuelas.

El tercer ciclo, en marzo de 2009, tuvo 63 profesores inscritos. Las actividades de formación se realizaron los sábados, en periodo integral, lo cual revela un gran interés de los profesores quienes recibieron información sobre nanotecnología y debatieron con los conferencistas. La expectativa, por lo tanto, es que el tema de na-

notecnología sea insertado en las aulas de los profesores de diferentes disciplinas. Algunos demostraron la intención de elaborar con sus alumnos proyectos de investigación sobre nanotecnología. Entre la diversidad del tercer ciclo, se puede citar la inclusión de una profesora de la Escuela Técnica Martin Luther King. Ella se inscribió para participar en el primer ciclo de formación, cuando al conocerlo, se hizo colaboradora del proyecto Involucramiento Público. En el tercer ciclo, se le pidió realizar una presentación sobre física y nanotecnología. Asimismo, invitó a Renanosoma a dar una conferencia en su escuela y contribuyó con el DVD "Para entender las nanotecnologías".

CONCLUSIONES

DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA EN BRASIL:

VISIÓN HEGEMÓNICA Y ALTERNATIVA

Aunque los recursos sean públicos, diversos edictos indican que las redes de investigación deberían de articular a los diferentes actores y agentes públicos y privados relevantes para el desarrollo del área de nanociencias y nanotecnologías en Brasil:

Esas redes deberán articular los diferentes actores y agentes públicos y privados capaces de contribuir a la identificación, calificación y solución de problemas relevantes al desarrollo del área de nanociencias y nanotecnologías en Brasil. Por lo tanto, esta llamada pone a disposición de manera integrada el conjunto de instrumentos operados por el CNPq. Deberán tener prioridad de atención las propuestas que presenten soluciones innovadoras desde el punto de vista de los acuerdos institucionales propuestos para, entre otros objetivos, iniciar un proceso de consolidación de los grupos ya actuantes en el tema, estimulándolos a ejercer un papel de relevancia en la formación y capacitación de recursos humanos especializados en todos los niveles y en apoyo a grupos emergentes o en formación.²¹

Lo mismo ocurre con los Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología, los cuales, a partir de 2009, son los proyectos más importantes de ciencia brasileña. También aquí registramos esta concepción.

Transferencia de conocimiento para el sector empresarial o para el gobierno: para aquellos giros aplicados a la ciencia, tecnología e innovación debe haber mecanismos para la interacción y sinergia con el sector empresarial, preparación de investigadores y técnicos que puedan actuar en las empresas, e iniciativas que faciliten el desarrollo en conjunto de conocimientos, productos y procesos. Debe hacerse énfasis en todo el ciclo del conocimiento: del desarrollo de ideas a productos comerciales. Siempre que sea pertinente a su temática, debe presentar en su propuesta organizacional acciones más allá de la academia con énfasis en PyD y transferencia de tecnología, así como procurar interactuar con el Sistema Brasileño de Tecnología (Sibratec). Alternativamente, el Instituto podrá presentar una propuesta que contribuya a la formulación de políticas públicas de interés del estado o del gobierno.²²

²¹ Brasil, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Programa Institutos Nacionales de C&T. Capturado el 12/12/09 en el <URL:http://www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25736.pdf>.

²² Edicto N° 15/2008 - MCT/CNPq/FNDCT/CAPES/FAPEMIG/FAPERJ/FAPESP - Institutos Nacionales de Ciencia y Tecnología (capturado el 12/12/09 en el URL <http://www.cnpq.br/editais/ct/2008/015.htm>.

En lo referente a beneficios a la sociedad obtenidos de estos institutos nacionales de ciencia y tecnología el único punto que hace referencia a la transferencia de conocimientos es entendido de la siguiente forma:

Transferencia de conocimiento a la sociedad, utilizando otros instrumentos además de publicaciones científicas. El centro debe tener un programa ambicioso de educación en ciencia y difusión de conocimiento, conducido por sus investigadores y por los becarios a él vinculados, focalizado en el fortalecimiento de enseñanza media o en la educación científica de la población en general.²³

Éste es un punto importantísimo a ser resaltado, pues explicita una concepción dominante en todo el proceso de desarrollo de nanociencia y nanotecnología en Brasil hasta finales de 2009, cuando se da la redacción final del presente trabajo. La concepción hegemónica encontrada en todas las acciones relativas al desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en Brasil a partir del Edicto CNPq Nano n° 01/2001 es la de que quien es capaz de contribuir para la identificación, calificación y solución de los problemas relevantes a este desarrollo son aquellos que están en la academia haciendo nanociencia y nanotecnología, aquellos que están haciendo políticas públicas en nanociencia y nanotecnología en el ámbito del Estado brasileño y el sector empresarial (el socio que siempre se busca), sea en términos de asociaciones representativas de segmentos del sector o específicamente representantes de empresas.

Aunque los recursos públicos aplicados en el desarrollo de la nanociencia y nanotecnología provengan de impuestos pagados por la sociedad, los actores y agentes que contribuyen y deciden los rumbos del desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología en Brasil no abarcan los actores y agentes sociales tales como entidades de defensa del interés de difusión a la sociedad (medio ambiente, salud, consumo), entidades representativas de los trabajadores (como centrales sindicales, sindicatos y sus órganos de asesoría), entidades de defensa de los derechos humanos, entidades relacionadas al derecho a la salud, entidades de defensa de la participación popular, entidades religiosas, entre muchas otras.

El desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología en Brasil, por lo tanto, nació y permaneció hasta nuestros días sobre la égida de que no debe haber control social sobre él. Quienes deben decidir son los “especialistas en el asunto”, el Estado —especialmente el MCT— y segmentos empresariales que consiguen acceso a concejos o decisiones ministeriales.²⁴ Ésta es la concepción de desarrollo de nanociencia y nanotecnología en Brasil que se inicia con el Edicto CNPq Nano n° 01/2001 y persiste en los demás edictos dirigidos al área hasta finales de 2009.

Siete ideas están siempre presentes en los diversos edictos que compusieron este proceso de desarrollo de nanociencia y nanotecnología, en términos de objetivos a ser alcanzados. Son los siguientes:

1) Incrementar el desarrollo científico y tecnológico.

²³ *Loc. cit.*

²⁴ En lo que se refiere al ritmo, acciones y recursos para nanociencia y nanotecnología, hay un intenso descompás entre el MCT y los demás ministerios; esto implica que la política del gobierno federal para nanociencia y nanotecnología sea la del MCT, “esté exactamente después del advenimiento de la política industrial y comercio exterior, instrumento que define las acciones gubernamentales en el campo de la industrialización y del comercio exterior.

- 2) Incrementar la competitividad internacional de la ciencia, tecnología e innovación brasileña.
- 3) Desarrollo regional equitativo.
- 4) Integrar la investigación realizada por el sector público (universidades, centros de investigaciones), privado y empresas.
- 5) Creación de empleos calificados.
- 6) Incrementar el nivel tecnológico de las empresas brasileñas.
- 7) Incrementar el desarrollo económico brasileño.

La síntesis de estos objetivos puede ser representada así: las nuevas tecnologías conllevan innovaciones, éstas necesariamente implican un aumento de la competitividad de empresas, industrias, países; lo cual, a su vez, asegura el crecimiento económico, que redundará en más bienestar social. Por lo tanto, la visión hegemónica atribuye una causalidad lineal entre las variables, configurando el llamado modelo lineal de innovación:

Nuevas tecnologías=> innovación=> más competitividad=> más crecimiento=>
más calidad de vida.

Siendo así, una política de CyT o de nanociencia y nanotecnología acaba por ser entendida como una política social. Ésta es la segunda concepción que permea toda la visión del desarrollo en nanociencia y nanotecnología en Brasil presente en diversos edictos.

Finalmente, cabe resaltar una tercera percepción incrustada en estos edictos, referente a la inexorabilidad como un hecho del desarrollo de la nanotecnología, y es que Brasil no puede “perder el tren de la historia”. No hay cuestionamientos a esta trayectoria tecnológica admitida *a priori* como la más eficiente, enfrentada como *one best way* (el mejor camino).

En resumen, el desarrollo reciente de la nanociencia y la nanotecnología en Brasil se caracteriza por concebirse en los siguientes términos:

- Exclusión de participación y control social.
- Nuevas tecnologías, innovación, competitividad, crecimiento económico llevan necesariamente a un mayor bienestar social.
- No se puede “perder el tren de la historia” de la nanotecnología o cuestionar esta trayectoria tecnológica.

La Renanosoma ha sido la voz alternativa a esta visión hegemónica arriba explicada. Por esto ha sido excluida de los financiamientos públicos del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología destinados a investigación y realización de eventos. Esto se da porque la Renanosoma tiene contemplado que el tamaño de la nano partícula importa, dado que:

Las nano partículas son afectadas por efectos cuánticos. Estos efectos cambian el comportamiento óptico, eléctrico, magnético, y de resistencia. Las nano partículas pueden ser más reactivas. Algunos materiales dejan de ser inertes en nano escala.

La Renanosoma ha apuntado la necesidad de producir conocimientos en el campo de la toxicología de los nanomateriales para responder las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles materiales son tóxicos en función de su composición y tamaño?
- ¿Cuál es la toxicidad de estos materiales?
- ¿Pueden ser agrupados materiales semejantes relacionados a su bioactividad?
- ¿Cuál es la dosis respuesta de estos materiales?
- ¿Cuáles son los métodos apropiados para ensayos?
- ¿Cuál es el mecanismo?
- ¿Qué efecto podría ocurrir en una población humana expuesta a las nano partículas?
- ¿A través de qué medios estos materiales penetran en el ambiente?
- ¿Cuáles son los modos de dispersión de estos materiales en el ambiente?

¿Estos materiales son transformados en el ambiente?

La Renanosoma da especial atención al universo de producción de las nanopartículas. Por esto, las siguientes cuestiones deben ser respondidas mediante la producción de investigaciones:

- ¿Cuánto y en qué grado los humanos están sujetos a este tipo de exposición en el ambiente?
- ¿Hay subpoblaciones más sensibles?

Así, esta red brasileña de investigaciones en nanotecnología, sociedad y medio ambiente viene indicando que los problemas están relacionados con:

- Naturaleza de las nanopartículas.
- Características de los productos producidos.
- Procesos de fabricación involucrados.
- Cuáles materiales son utilizados.
- Qué rechazo se produce.
- ¿Son utilizados productos tóxicos en la producción de productos nano?
- ¿Qué acontece cuando las partículas o los productos llegan al aire, suelo, agua o a la biota?

Pero lo que más diferencia la visión hegemónica relativa al desarrollo de la nanotecnología en Brasil de la concepción sobre este proceso expresado por la Renanosoma está en el análisis realizado en el campo de la política, cuando es propuesta la necesaria confrontación social con esta nueva tecnología. Por lo tanto:

- Debemos aprender del pasado, como ha sido el caso de los alimentos transgénicos.
- Romper con el ciclo en términos de: propaganda, secreto, falta de transparencia, miedo, conflicto.
- Tener en consideración desde un inicio las preocupaciones sociales, ambientales y éticas.
- Lograr la participación del público en el proceso de producción y adopción de esta tecnología.

Resalta la Renanosoma que la nanopartícula está relacionada con la macropolítica. Es preciso:

- Saber cómo conducir el debate público sobre la nanotecnología.
- Extraer las lecciones del evento “transgénicos”.
- Explicitar cómo aumentar la “inteligencia social” sobre nanotecnología y cómo esto enriquece la toma de decisiones que lleven visiones y valores públicos.
- El debate debe permitir al público formar y reconsiderar posiciones sobre la nanotecnología. Son conocidos varios métodos que llevan a este objetivo.
- El debate debe informar la prioridad de la investigación.
- Revisión permanente en función del desarrollo de la nanotecnología, la cual debe tener en cuenta el debate público precedente.

Concluyendo, el punto de mayor discordancia entre las dos concepciones acerca del desarrollo de la nanotecnología en Brasil aquí presentadas se encuentra primero en la elaboración de las preguntas abajo formuladas y, más adelante, en las respuestas a las mismas:

- ¿Para qué sirve esta nanotecnología?
- ¿Quién será su propietario o se aprovechará de ella?
- ¿Quién se hará responsable si las cosas no resultan bien?
- ¿En quién podemos confiar?
- ¿Quiénes serán incluidos y quiénes excluidos?

Esta discusión en el campo de la política no es aceptada por la visión hegemónica que con esto quiere tornar “natural” el proceso que ha ido ocurriendo en el desarrollo de la nanotecnología en Brasil.

La Renanosoma, por el contrario, propone que este debate político sea realizado, por lo cual viene realizando el proyecto Involucramiento Público descrito en este artículo, donde su objetivo es contribuir a la democratización de la nanotecnología, esto significa no sólo que más personas tengan acceso al tema, sino también que logren una comprensión global del asunto, de los posibles beneficios y los riesgos, de los avances en la química, física, ingeniería y medicina, y de los potenciales prejuicios al medio ambiente, a la salud y a la seguridad de los trabajadores, del movimiento económico las implicaciones éticas y sociales.

Nanoética y nanomedicina. Apuntes para una nueva ética de la medicina

FERNANDO SANCÉN CONTRERAS*

Parece novedoso hablar de nanoética y de nanomedicina. No lo es, sin embargo, hablar de ética, o de medicina, a secas. También es común hablar de la ética referida a la medicina. Al añadir el prefijo nano a la ética y a la medicina, queremos expresar su necesaria vinculación con la más reciente rama de la innovación científica y tecnológica. Nos referimos a la manipulación de la materia a nivel atómico, lo cual está generando una nueva forma de explicar la realidad, y una nueva forma de manejar los fenómenos físicos y vivientes. Nos referimos a las nanociencias y a las nanotecnologías (NyN). Actualmente, éstas expresan, en general, el estudio y la manipulación de la materia a escala nanométrica.

La importancia del trabajo científico y tecnológico a esta escala consiste en que en ella cambian las propiedades normales de los materiales físicos elementales, lo cual hace posible obtener nuevos productos con características y propiedades diferentes que se traducen en ahorro de energía, ahorro de materias primas, nuevos materiales, y nuevos insumos industriales, entre otras cosas. En el campo de la medicina, las NyN han aportado recientemente nuevas formas de administrar y construir fármacos, más eficientes equipos de diagnóstico y, en general, nuevas formas de influir en el cuidado de la salud de los individuos.

Por otra parte, desde una perspectiva ética, las NyN han desatado nuevos aspectos a considerar derivados de la obtención de nuevos materiales curativos y de nuevos aparatos que están modificando la vida de los seres humanos y los valores que a ella han sido vinculados. Así, por ejemplo, se plantea con urgencia el problema de precisar el ámbito terapéutico de lo que corresponde al mejoramiento o potenciación de las facultades del ser humano, especialmente en lo que se refiere a las actividades del cerebro. Las investigaciones neuronales, potenciadas por el trabajo a nanoescala están favoreciendo la construcción de dispositivos que permitirán dirigir las operaciones mentales de los individuos. ¿Dónde ubicar el límite, se cuestiona, entre la recuperación de las actividades normales interrumpidas por alguna enfermedad, y el mejoramiento de dichas facultades sin que hayan sido menguadas?

Esto, entre otros aspectos del reciente desarrollo de la ciencia y la tecnología, específicamente de las NyN, ha hecho patente la necesidad de revisar el concepto mismo de ética, y el carácter absoluto que generalmente se atribuye a las normas que pretenden orientar las actividades de los individuos. En efecto, muchos de los adelantos recientes de los cuales disfrutamos nos ponen en contextos nuevos que requieren una mayor profundización y quizá de una nueva forma de considerar a la ética misma.

* Profesor en el Departamento de Política y Cultura de la Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco.
Email: fsancen@correo.xoc.uam.mx

En este breve trabajo pretendemos presentar el terreno —nuevo sin duda— que se abre en la ciencia y tecnología actuales para la medicina con los aportes de las NyN; hablaremos también de los retos que plantean las NyN en el terreno de la acción humana tanto a los médicos e investigadores, como a la sociedad en general. Desde esta perspectiva la investigación y el desarrollo (I+D) que realizan la ciencia y la tecnología forman un campo prioritario para el trabajo de la ética, en la medida en que constituyen uno de los motores más poderosos del cambio para la humanidad en los tiempos actuales. Vale la pena, por tanto, preguntarse hacia dónde dirigir a la I+D para obtener los satisfactores que requiere la humanidad y lograr así una existencia plena para cada individuo. Postulamos abandonar aquella forma de ver a la ciencia y a la tecnología como neutras y sujetas a la reflexión ética sólo después de que ya estaban sus resultados circulando por la sociedad. Proponemos la conveniencia de construir una ética que vaya antes de la I+D para que les sirva de guía, y no como una simple reflexión acerca de la manera en que los resultados de la ciencia y la tecnología deben ser utilizados. Las NyN ofrecen la oportunidad, por su actual trascendencia respecto de la sociedad, para iniciar esta labor que se antoja importante y trascendente. Los límites de este trabajo sólo nos permitirán avanzar algunas ideas que seguramente cuestionarán otras posiciones y llevarán a un análisis más cuidadoso de la relación entre la sociedad actual y el desarrollo de las tecnologías emergentes.

LAS NANOCIENCIAS Y LAS NANOTECNOLOGÍAS

Por su reciente actualidad, consideramos útil para nuestro propósito precisar el concepto y alcances de las NyN. Se utiliza el prefijo nano para hacer referencia a una medida: el nanómetro, que equivale a una mil millonésima parte de un metro, es decir, 10^{-9} de un metro. Para tener una idea de estas dimensiones, consideremos que un cabello humano tiene un diámetro de alrededor de 80,000 nanómetros, y que un hilo de DNA mide alrededor de 2 nanómetros de ancho. Se dice, por otra parte, que la escala nanométrica se ubica en el rango comprendido entre uno y cien nanómetros; es decir, que los científicos al trabajar en las NyN lo hacen en dicho rango.

La importancia del trabajo a escala nanométrica consiste en que en esas dimensiones es posible controlar o cambiar las características fundamentales de un material cualquiera, incluyendo su punto de fusión, sus propiedades magnéticas, su resistencia, su conductividad, su porosidad, corrosividad, color, etc., y —lo más importante en algunos casos para la medicina— su biocompatibilidad, y todo esto sin cambiar la composición química del material con el que se trabaja a dicha escala.

En relación con lo anterior, se habla de nanociencia para expresar la rama de estudio acerca de las propiedades de los materiales y de su manipulación a escala atómica, molecular y macromolecular, donde las propiedades difieren significativamente de aquellas que tienen en la escala macro. En consecuencia, la nanociencia es el estudio y manipulación de la materia a escala nanométrica.¹

¹ En este trabajo asumimos la definición ofrecida en primera instancia por la Real Sociedad y la Academia de Ingeniería en julio del 2004, utilizada por el Grupo Europeo sobre Ética en la Ciencia y las Nuevas Tecnologías de la Comisión Europea. Ver “The European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission”, *Opinion on the ethical aspects of nanomedicine*, Opinión N°21, 17 de enero del 2007. A lo largo de este trabajo nos servimos de los conceptos ahí expuestos.

El término nanotecnología se utiliza para significar el desarrollo y la aplicación práctica de estructuras y dispositivos a escala nanométrica en diversos campos, incluida la medicina. La nanotecnología se propone explotar en los diferentes materiales sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales, con frecuencia, difieren de las que se conocen en los tamaños a los cuales estamos acostumbrados.

Hoy las NyN están desarrollando innovaciones especialmente en tres campos, que interactúan permanentemente entre sí debido a la escala en que trabajan:

- Controles nuevos y mejorados con los que se mide y manipula a la materia en la escala nanométrica. Con estos controles es posible construir bloques y nanoaparatos.
- Caracterización nueva y mejorada de materiales a escala nanométrica.
- Nueva y mejor comprensión de las relaciones entre nanoestructuras y sus propiedades en vistas a conseguir su manipulación de manera eficiente.

Por su parte, la nanomedicina denota a la ciencia y a la tecnología que se ocupan de diagnosticar, tratar y prevenir enfermedades y lesiones traumáticas mediante la aplicación de los resultados obtenidos en las NyN. Con los dispositivos, estructuras, medicamentos, compuestos, etc., utilizándolos como herramientas moleculares, la nanomedicina busca aliviar el dolor o preservar y mejorar la salud humana. También constituye un campo abierto al conocimiento más amplio de la dimensión molecular del ser humano. Generalmente, se considera que la nanomedicina abarca cinco subdisciplinas principales que en numerosas ocasiones se entrecruzan y sobreponen: a) herramientas de análisis; b) nano-imagen; c) nanomateriales y nanodispositivos; (d) nuevos sistemas terapéuticos y suministro de medicamentos y, e) los aspectos clínicos, regulatorios y toxicológicos. Con todo este potencial cuyo poder de velocidad y de precisión aumenta con las NyN, la nanomedicina se yergue como un factor que cambiará la práctica de la medicina acarreado cambios significativos en la concepción misma de la medicina y en su aplicación para el mejoramiento de la existencia del ser humano. Problemas como la distinción entre curación y mejoramiento (*enhancement*), el acceso de toda la población a los nuevos tratamientos quirúrgicos, la manipulación de la información genética no sólo para la construcción de nuevos seres humanos, sino para la obtención de tejidos en el mismo organismo con propiedades diversas, traen necesariamente a discusión el problema de la ética para la práctica de la medicina, ahora con las nuevas potencialidades obtenidas por las NyN. Todo esto abre un campo de reflexión originado en la medicina, pero que toca aspectos universales del ser humano y que tradicionalmente se trata en el ámbito de la ética. Ahora bien, dado que estos cambios provienen de las NyN, empieza a ser utilizado el término de 'nanoética' para referirse a los problemas derivados de la incorporación en la sociedad de los resultados obtenidos por las NyN.

LA NANOMEDICINA

De acuerdo con lo anterior, y conforme al campo donde se practica la medicina humana, es posible conformar un campo de significado propio, la nanomedicina, el cual incorpora los aportes de las nanotecnologías al menos en los rubros que señalamos a continuación.

Técnicas de diagnóstico: las actuales pruebas de diagnóstico basadas en nanodispositivos están haciendo que el diagnóstico sea realizado en la etapa presintomática de cualquier posible enfermedad. Esto permitirá la introducción de medidas terapéuticas previas sin necesidad de utilizar métodos curativos o de extracción, tal como sucede en la actualidad. En efecto, los sistemas de diagnóstico basados en las nanotecnologías tendrán mayor eficiencia en términos de resolución, sensibilidad, especificidad, confiabilidad, reproducibilidad e integración, además de su disposición casi inmediata y permanente. Estas técnicas de diagnóstico ya están disponibles.² En un futuro, quizás aún distante, los dispositivos miniaturizados y biocompatibles de los que se ocupan las NyN permanecerán en el cuerpo para monitorear y reportar permanentemente determinadas enfermedades como el cáncer, o enfermedades cardiovasculares, entre otras.

Imagen: las nuevas técnicas de diagnóstico basadas en las nanotecnologías que utilizan la imagenología proporcionan información más precisa que las actuales vinculadas con la imagen del organismo para detectar enfermedades. En efecto, la imagenología derivada de la nanotecnología ofrece mejores resultados que la tomografía, la resonancia magnética, o el ultrasonido, etc., actualmente en uso. Se sabe, por ejemplo, que los óxidos de acero súper-paramagnéticos con un diámetro menor a 5 nanómetros, permite obtener imágenes nítidas su utilización ha sido exitosa para detectar metástasis en su etapa inicial.

Biomateriales: las nanotecnologías aplicadas a los biomateriales mejoran los resultados actuales obtenidos con base en aleaciones metálicas, cerámicas, polímeros, y compuestos. Los nanobiomateriales permiten comprender e imitar las estructuras y rutas bioquímicas que guían a la cicatrización natural, para inducir y apoyar la cicatrización más allá de las capacidades normales. Se trabaja también para obtener mejores propiedades mecánicas y compatibilidad biológica en las prótesis e implantes dentales, catéteres, vendajes, y en todo el instrumental médico.

Desarrollo y suministro de fármacos: el suministro de fármacos es y será una de las más importantes aplicaciones de las nanotecnologías a la medicina. Los fármacos incorporados a nanotransportadores permiten mejorar su especificidad y su eficacia. Los nanofármacos se caracterizan por su complejidad, y pueden hacer llegar moléculas curativas específicamente al sitio donde se requieren atravesando las barreras biológicas que todo organismo posee. Al mismo tiempo, pueden contener reactivos específicos, como anticuerpos que alcanzan objetivos predefinidos como moléculas cancerígenas o células inflamadas y, una vez alcanzado su objetivo, se desintegran ahí mismo. Esto hará posible también otras formas de terapia, como la termoterapia que consiste en dotar de dispositivos a las nanopartículas para que ellas mismas se alojen en células malignas y luego sean calentadas localmente mediante radiaciones dirigidas especialmente a esos dispositivos para obtener efectos particulares en la quimioterapia o la radiación.

Medicina regenerativa: además de las terapias antes y después del diagnóstico que actualmente se desarrollan en las NyN, se trabaja en la medicina regenerativa mediante la activación de genes que estimulan la regeneración de tejidos, con la producción de nanomembranas biocompatibles; mediante el mejoramiento en el funcionamiento y duración de prótesis neuronales, y mediante la creación de un nuevo linfocito que

² Ver "The European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission", *Opinion on the ethical aspects of nanomedicine*, Opinión N°21, 17 de enero del 2007: 17.

restablece la respuesta inmune normal en el paciente. Además de esto, la manipulación de las relaciones biológicas a escala nanométrica incrementará sensiblemente la funcionalidad y longevidad de tejidos implantados.

También las nanotecnologías se están desarrollando en el campo de la terapia con células madre y esto ofrece posibilidades alentadoras para la regeneración de tejidos dañados.

Una aplicación nanotecnológica en el caso de los implantes es la utilización de nanodispositivos electrónicos. Específicamente en el campo de la visión, se están utilizando dichos dispositivos en el ojo en forma de nanovideocámara cuyas señales serán procesadas por una microcomputadora que a su vez transmitirá la señal a una red de electrodos ubicados en el ojo. Con esto se logrará restaurar la visión en los invidentes. Lo mismo se está desarrollando para el caso de la audición.

Aplicaciones cosméticas: aunque las aplicaciones de la nanotecnología en los cosméticos puede no ser considerada como parte de la nanomedicina, es importante señalar que los avances logrados por la nanotecnología en esta rama tienen aplicaciones en la terapia de la piel. Muchos de estos productos están ya en el mercado y su crecimiento se estima en un 10% anual.

Nanomedicina y toxicología: la medicina no es la única forma en que se utilizan los avances obtenidos por las NyN. Sus resultados se emplean en una amplia gama de aplicaciones que van desde la industria automotriz hasta los textiles y cosméticos, pasando por los aparatos de la electrónica, con frecuencia utilizados para diferentes diagnósticos y mediciones. Aunque la mayor parte de las aplicaciones de las NyN no se ubican en la medicina, el uso de los nanomateriales puede traer consecuencias a la salud si se dispersan en el entorno. En estudios realizados en animales para detectar la presencia y la fuerza de las nanopartículas en células, se ha demostrado la presencia de algunos efectos tóxicos derivados de la presencia de nanopartículas en las células. Se sabe también que los efectos de las nanopartículas en el cuerpo humano provenientes del entorno, pueden tener efectos diferentes a las partículas normales que se encuentran en el medio ambiente. En consecuencia, las repercusiones tóxicas de la nanotecnología proyectan la necesidad de ser contemplada como parte de la nanomedicina, y dado que esto entraña la responsabilidad para cuidar, normar y desarrollar condiciones que la controlen, la toxicología es un punto de unión de la nanomedicina con la ética.

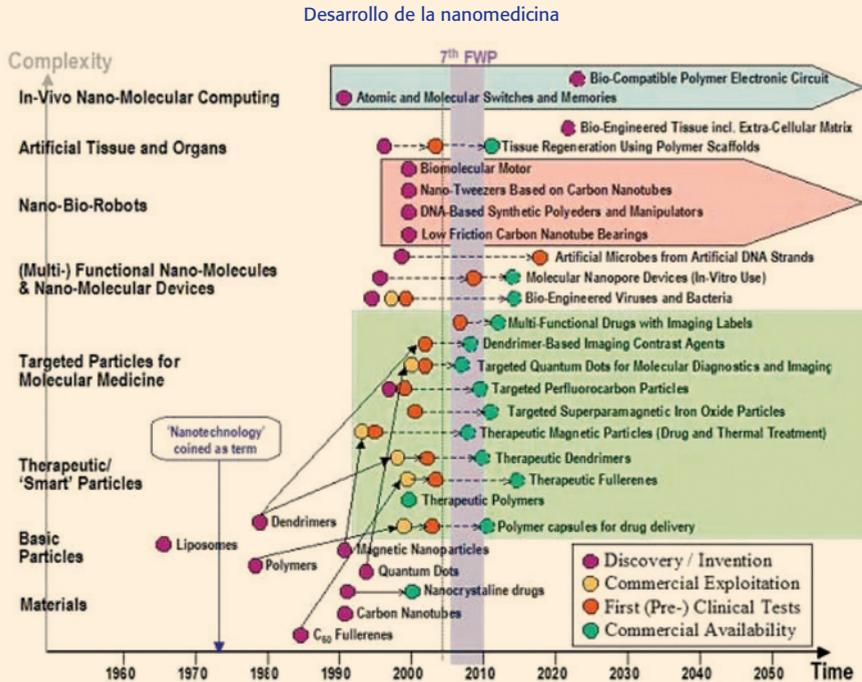
Todos estos rubros forman parte de la nanomedicina, que a su vez conforma una novedad constante en el trabajo de atención a la salud de los seres humanos. Sin embargo, la nanomedicina, sin bien es ya una realidad, es aún incipiente. Su desarrollo se puede ubicar en periodos de tiempo que van desde lo ya logrado y que está en uso, hasta las previsiones más difíciles siquiera de imaginar, pero en cuya dirección ya se está trabajando. Así, se habla comúnmente de las siguientes etapas del desarrollo de la nanomedicina:

- 1) Hasta el año 2000, se ubica la primera generación de productos que consiste en nanoestructuras pasivas, tales como:
 - Nanoestructuras dispersas y de contacto, como aerosoles, coloides.
 - Productos que incorporan nanoestructuras compuestas; metales nanoestructurados, polímeros, cerámicas, como revestimientos y nanopartículas reforzadas.

2) Hasta el año 2005, nanoestructuras activas:

- Nanoestructuras bioactivas, con efectos en la salud, como medicamentos dirigidos y biodispositivos.
 - Estructuras físicoquímicas activas y adaptativas, como transistores en 3D, amplificadores.
- 3) Para el año 2010 se espera la obtención de sistemas de nanosistemas, como montajes guiados, redes tridimensionales y nuevas arquitecturas jerárquicas, robótica y biosistemas evolutivos.
- 4) Para los años 2015 a 2020 será posible contar con nanosistemas moleculares, como dispositivos moleculares ‘por diseño’, diseño atómico, funciones emergentes.

El diagrama siguiente ilustra lo anterior:



Fuente: Philips Medical Systems (7th FWP refers to the European Union’s Seventh Framework Program) en la página <www.nanowerk.com/spotlight/id3938.jpg>. Consultada el 01/01/2009.

Con lo dicho hasta ahora contamos ya con la información más relevante acerca de la naturaleza y características actuales de la nanomedicina. Su importancia consiste en el alcance y desarrollo futuro que traerán cambios determinantes en la práctica médica y, en general en la vida cotidiana de los seres humanos. Esta influencia determinante de las nanociencias y las nanotecnologías en la medicina plantea preguntas

pertinentes acerca de la dimensión ética de la práctica médica. El cambio que se está realizando, y los cambios que esperamos en el futuro próximo y remoto, influirán determinante y necesariamente no sólo en la forma de vida y la salud de los individuos, sino también cambiarán la actual forma de organización social, la manera en que cada individuo desempeña su propio trabajo, los valores vinculados con toda la vida desde su concepto mismo, hasta la forma de vivirla y la longevidad; afectará necesariamente las costumbres de los individuos, los valores sociales, y también el entorno biofísico, especialmente por la forma en que se estará trabajando sobre la materia y sobre las entidades vivientes, desde las células, hasta los más complejos organismos, como el cerebro humano. Las NyN y, concretamente, la nanomedicina plantean, en consecuencia, problemas a la concepción tradicional de la ética, es decir, a la manera de comprender y de normar la acción individual, la forma de organización social que se asegura a sí misma a través de normas, en la medida en que las tecnologías emergentes están introduciendo cambios radicales que determinan dicha acción y organización.

ÉTICA Y NANOMEDICINA

A la ética se la relaciona comúnmente con la moral, es decir, con la determinación de lo que es bueno o malo. Generalmente se piensa acerca de la ética en términos de una norma o regla que permite medir la bondad o no de un determinado acto humano. Veremos que esta forma de ver la ética está cambiando en función de los cambios sociales derivados en gran medida por los avances de la CyT.

De manera más técnica, la ética, también llamada filosofía moral, es la disciplina que se ocupa del estudio de la moralidad; ésta constituye su materia de estudio u objeto. Se ocupa de los temas fundamentales acerca de la toma de decisiones para actuar, sobre todo del valor y de las normas desde las que se juzga que una acción es buena o mala. En consecuencia, la ética se refiere a todo sistema o teoría de valores morales o principios que guían a la acción humana, valores que son creación de los individuos para beneficiarse de su convivencia social.

Considerada como una rama de la filosofía, se vincula a la ética con otros campos de la acción del hombre, tales como la antropología, la economía, la política, o la sociología. Pero de manera más abstracta o profunda, la ética encuentra su explicación última en la ontología y la epistemología, dado que toda acción humana, cuyo estudio es lo propio de la ética, versa sobre el mundo, el cual requiere ser explicado (ontología), y conocido (epistemología). Generalmente se la divide en tres principales ramas: la metaética, la ética normativa, y la ética aplicada.

El estudio de los problemas vinculados con la naturaleza de los conceptos o juicios morales se considera que pertenece a la metaética. Esta disciplina pretende dar respuestas a preguntas tales como si un juicio moral es objetivo, es decir, independiente del sujeto que actúa, o subjetivo; si es absoluto o relativo.

La ética normativa se ocupa sobre todo del establecimiento de normas para la conducta humana, y se la asocia comúnmente con teorías generales sobre cómo se debe llevar la vida, siempre en un contexto cultural determinado. Una de las cuestiones centrales de la ética normativa es aquella que busca definir si la acción humana es buena o mala utilizando como criterio para ello las consecuencias derivadas de dicha acción. La ética normativa ve las normas, y la ética como teleológica o deontológica, es decir, en función de su conformidad con una norma o principio al que se le atribuye un valor absoluto. En esta perspectiva podría ser ubicada la filosofía moral de I. Kant.

La ética aplicada, como su nombre lo dice, consiste en la aplicación de teorías normativas a problemas prácticos como igualdad racial y sexual, los derechos humanos, la justicia, la ecología, y aquellos problemas relacionados con el valor de la vida humana, que se hacen presentes, por ejemplo, en el análisis de la conveniencia de legalizar el aborto, o en lo relativo a la eutanasia. En relación con esta forma de considerar la ética, tenemos implicaciones éticas también en la medicina y en las ciencias biológicas, tales como la fecundación *in vitro*, el banco de espermias, la utilización de las células madre, la manipulación genética, entre otros.

Más allá de la clasificación de la ética, queremos avanzar algunas reflexiones sobre la ética en general, y su vinculación con la medicina. La relación de la medicina con la ética cobra hoy nuevas características, derivadas de la incorporación de las NyN a la investigación y práctica médicas, como lo señalamos. Aunque es común que al hablar de ética se piense en un conjunto de normas de validez universal casi absoluta que todo ser humano tiene la obligación de observar en el curso de su vida, una visión retrospectiva al pasado de la humanidad hace ver que las normas, algunas de las cuales hoy son consideradas inmutables y absolutas, no existían anteriormente. Tal es el caso, por ejemplo, de la libertad individual, que no se consideraba un valor absoluto vinculado a todo sujeto racional, puesto que antiguamente la esclavitud gozaba en aquellas antiguas sociedades de una justificación teórica y práctica. En culturas diversas, aún hoy, las normas que son válidas en una no lo son necesariamente en otra. Así, lo que consideramos como una norma absoluta e inmutable en nuestra sociedad, no lo es necesariamente en otra sociedad diferente en el tiempo y en el espacio. Por otra parte, en nuestra experiencia vemos que algunas instituciones y normas se han modificado en los últimos años como resultado de la introducción de nuevos aparatos, novedosos fármacos, etc., en nuestra vida diaria. Parecería, por tanto, que es necesario ver a la ética como el resultado de un conjunto de costumbres aceptadas por un determinado grupo social, y vinculadas con la necesidad de permanecer en la existencia mediante el intercambio constante con los miembros de dicho grupo social, y con su entorno físico y biológico. Esta forma de ver la ética cobra sentido y valor en el seno de la acción individual, es decir, en el ejercicio de la libertad de cada ser humano, y es investida de obligatoriedad en la medida en que mediante la observancia de las normas, derivadas de las costumbres, cada sujeto obtiene su propio bien en armonía con su entorno. En otras palabras, conforme a esta nueva visión de la ética, el quehacer humano no tiene otro objeto que el bien de quien actúa, con la certeza de que dicho bien proviene del entorno, hacia el cual obtiene, en consecuencia, una responsabilidad existencial, porque de éste depende la existencia, es decir, el bien de cada sujeto. De acuerdo con esto, podemos decir que la ética, además de analizar la pertinencia, validez y obligatoriedad de las normas en las condiciones históricas vigentes, se ocupa de la construcción del futuro del ser humano apuntando hacia nuevas formas de vida, a partir de su interacción con su propio entorno.

Esta breve descripción de la ética, tal como se presenta al hombre actual desde una perspectiva práctica, remite a la necesidad de dibujar una ética dinámica, impregnada de creatividad, en la medida en que toda acción humana es considerada como conformante y vuelta hacia el futuro de toda sociedad y de su entorno biofísico; se ve a la acción humana, y en consecuencia a su estudio, la ética, como responsable de dicho futuro que abarca al Universo mismo en la medida en que la existencia de la humanidad se desprende históricamente de dicho Universo.

Desde esta perspectiva podemos contextualizar a la nanoética, que si bien comprende las normas derivadas de la filosofía moral en la medida en que incorpora en la práctica los principios fundamentales referidos a la existencia del ser humano, cuando la estudiamos ante la nueva realidad que nos presentan las NyN, surgen de inmediato cuestiones que sacuden la validez universal de dichas normas y obligan a la reflexión para asumir las nuevas cuestiones en el contexto del bien individual. Algunas de las cuestiones que las NyN plantean en el marco de la ética podrían formularse como sigue: ¿Cómo proteger el derecho fundamental a la salud de los ciudadanos cuando pueden ser expuestos a nanopartículas libres en el entorno? ¿Cómo promover el uso responsable de los dispositivos elaborados a escala nanométrica para proteger la vida humana y conducirla? ¿Cómo servirse de las NyN para contar con instituciones más justas? ¿Cómo conseguir con ellas superar la lacerante separación que se da entre los seres humanos; entre quienes tienen y aquellos que carecen prácticamente de todo? Estas preguntas llevan a analizar la manera de servirse de las NyN para la construcción de mejores condiciones de vida para el ser humano. La nanoética, por tanto, se refiere al futuro, aún inexistente, con la certeza de que la CyT son elementos de construcción de mejores condiciones para la existencia del hombre y el mejoramiento de su entorno. Al mencionar el futuro, nos situamos necesariamente en el tiempo. Pensar una ética vuelta hacia el futuro implica la incorporación del tiempo en su misma conceptualización, y éste lleva necesariamente al pasado, al presente, y al mismo futuro. En otras palabras, estamos ante una visión histórica tanto del hombre, como de las normas que éste se da para guiar su propia acción en el seno de la sociedad en la que transcurre su existencia.

La ética, en efecto, se nutre de la visión del hombre y del Universo en el que éste existe y se desenvuelve mediante sus acciones. En este sentido, podemos sostener que todas las acciones que cualquier individuo realiza están originadas y motivadas por el bien que considera obtener a través de su propia acción. El momento histórico de cada acción individual comprende todos los elementos que en ese momento se le presentan de manera consciente o bien inconscientemente. Ahí actúa su pasado como dato que en el momento presente ejerce un peso sobre su decisión; ahí actúa también la interpretación que realiza acerca de su situación actual, y actúa también el futuro hecho concreto en el bien que persigue; todo esto constituye un elemento actuante en la toma de decisión primero, y en la acción concreta después. Desde esta perspectiva que expresa un contexto dinámico, presentamos una visión de la ética vuelta hacia el futuro, y en tal sentido crítica, acerca de la existencia previa de normas absolutas, y propiciando un análisis constante de la validez del juicio moral que asume cada individuo en su actuar concreto. Presentamos una ética histórica, necesariamente vinculada con el futuro de cada individuo y también con el porvenir de su entorno tanto inmediato como mediato.

Esto, sin embargo, no puede ignorar los principios morales actualmente vigentes, en la medida en que ellos expresan el universo de validez que la sociedad se ha dado en determinado momento al considerar que con ellos cada individuo está en posibilidad de conseguir su propio bien.

Por otra parte, dichos principios morales se hacen concretos en cualquier sociedad a través del conjunto de reglas, normas, costumbres, etc., que generalmente se organizan, modifican y estudian en disciplinas del saber humano; nos referimos al derecho, a la política, a la economía, a la psicología, entre otras.

Por lo anterior, el análisis de la nanoética comprende todos estos campos que se desprenden del reconocimiento del individuo como el centro de toda reflexión ética.

En efecto, del valor central que representa la existencia de cada individuo derivan sus derechos acerca de la dignidad humana, derechos que se expresan como protección, también llamados negativos en la medida en que expresan negaciones o limitaciones, pero también aquellos derechos, los positivos, que orientan hacia nuevas realidades.

Llevada al terreno de la nanomedicina, la nanoética se centra primero en la preservación de la dignidad e integridad del ser humano a través de la reflexión sociológica, la política, la economía y la antropología. Todos estos aspectos, si bien se tratan con frecuencia de manera aislada, en la realidad constituyen un todo interrelacionado, sobre todo cuando se habla de la nanomedicina. Ésta, desde una perspectiva ética, ha de ocuparse, en general, de que sean protegidos los derechos y aspiraciones del ser humano en la atención de su salud. De esta forma, la seguridad de los individuos constituye un punto central para la nanomedicina, y su contraparte, el riesgo del uso de nanomateriales en la medicina o fuera de ella es un tema propio de la nanomedicina. La valoración del riesgo se concibe como un factor vinculado con la protección de la dignidad humana de las personas y su autonomía, involucrada directamente a través de las aplicaciones médicas, o indirectamente por la posible exposición de las personas a las nanopartículas libres.

Para esto, se acepta comúnmente el llamado “principio precautorio”, por el que se guía la práctica de la nanomedicina, y en general el uso de las nanotecnologías. En la práctica, el principio precautorio se aplica ahí donde una preliminar evaluación científicamente objetiva indica que existen fundamentos razonables para ver que los efectos potencialmente peligrosos para el medio ambiente, la salud humana, animal o de plantas, pueden ser inconsistentes con el nivel de protección elegido para la Comunidad.³

La relación entre nanoética y nanomedicina se nutre de los aspectos de la ética aplicados a la medicina. Algunos de ellos pueden señalarse de esta manera:

- a) Derivado del valor fundamental que constituye la existencia de cada sujeto racional, la ética, en la práctica médica, asume la forma de protección de cada individuo. Esto se traduce en la obligación de proporcionar la información médica a la sociedad acerca del frecuente vacío de conocimiento y la incertidumbre de los resultados que se esperan en la atención médica a cada individuo. De la misma manera, la información médica predictiva, basada en los actuales desarrollos tecnológicos, constituye una obligación derivada de la protección hacia el individuo, a la que estamos todos obligados, especialmente las personas vinculadas con la atención a la salud.
- b) El diagnóstico basado en los avances de la nanotecnología y el uso posterior de herramientas terapéuticas, también basadas en la nanotecnología, requieren necesariamente del consentimiento informado del paciente. Esto, a su vez, exige que se le proporcione una información comprensible para que valore adecuadamente los riesgos y la incertidumbre que contiene toda investigación médica general, y aquella que se realiza para cada paciente en particular.
- c) Dado que la nanomedicina ofrece posibilidades de nuevos diagnósticos obtenidos con rapidez y precisión a nivel molecular, se da el caso de que no se

³ Ver “The European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission”, *Opinion on the ethical aspects of nanomedicine*, Opinión N°21, 17 de enero del 2007: 39.

cuenta todavía con la capacidad para hacer una adecuada interpretación de dichos diagnósticos y, más aún, que sean descubiertas nuevas enfermedades. Esta complejidad en el diagnóstico y la responsabilidad personal tanto del médico como del paciente son un campo propio para la decisión ética donde la información y la libertad son dos criterios fundamentales para asumir la responsabilidad ante la posible angustia derivada de las circunstancias mencionadas.

- d) La información diagnóstica cada vez más rápida y precisa gracias a la nanotecnología, puede ser interceptada o proporcionada a terceros. Este riesgo constituye un terreno propio de la responsabilidad ética del personal de atención a la salud que obtiene los datos de aquellos equipos y procedimientos que son utilizados para elaborar el diagnóstico.
- e) Otro rubro de la nanoética en la nanomedicina lo constituye la tenue distinción entre la utilización médica de químicos, fármacos y dispositivos, y la utilización para el mejoramiento del rendimiento físico y mental de las personas. No está suficientemente claro si un tratamiento determinado a una persona se considera como 'mejoramiento' (*enhancement*) o como tratamiento para superar un problema de salud. En todo caso, la precisión de esta distinción y su aplicación, caen dentro de la ética, específicamente de la nanoética, porque numerosos dispositivos están siendo pensados específicamente para mejorar el rendimiento de las facultades naturales de los individuos; tal es el caso de las neurociencias en la escala nanométrica.
- f) Un gran reto para la ética en la nanomedicina, que no es exclusivo, lo constituye el posible acceso a las innovaciones derivadas de la nanomedicina debido a los costos que representan. Aunque todo individuo luchará por acceder a dichas innovaciones, habrá quien no pueda pagar su alto costo y quedará al margen, constituyendo seguramente un conjunto mayoritario de ciudadanos de segunda clase. También a nivel individual, la nanoética podrá precisar cómo los individuos lograrán disponer, o no, para su vida personal y familiar, los aportes determinantes de la nanomedicina una vez que cuenten con la información adecuada.
- g) La ética se ve afectada por los avances de la nanomedicina también respecto a la responsabilidad de quienes trabajan en I+D de todo lo relacionado con la atención a la salud con dispositivos a escala nanométrica; son los investigadores los primeros que deben tener conciencia de la importancia de su labor para obtener dispositivos adecuados al medio ambiente, controlando la toxicidad y adecuados para la salud de los individuos. Además, los grupos de investigación y el personal médico pueden verse afectados por las nanopartículas desprendidas de dispositivos y medicamentos nanotecnológicos bien sea por una afectación directa en su salud, o bien sea por hacerse inmunes a los nanomedicamentos. El trabajo en el laboratorio nanométrico y la aplicación de la nanomedicina para la atención a la salud cobran así una dimensión ética para cuidar de la integración y salud de dicho personal.

Aparte de estos aspectos que vinculan la práctica de la nanomedicina con la ética, existen los temas sociales para la ética, donde se plantean cuestionamientos en el campo de lo económico, lo social, lo político y, sobre todo, en lo que se refiere al gobierno y las instituciones vinculadas con la práctica y el análisis de los resultados de

la nanomedicina. Estos aspectos no los tocamos en este trabajo, como tampoco tratamos el uso militar que puede darse a la nanomedicina, o lo referente a la propiedad intelectual de las innovaciones de las nanotecnologías llevadas al terreno de la medicina. Sin embargo, son aspectos fundamentales para el estudio de las NyN y sus implicaciones en la sociedad actual.

CONCLUSIÓN

De lo anterior podemos concluir que tanto la ética como la medicina se encuentran en un contexto totalmente innovador y dinámico conformado por los resultados obtenidos hasta hoy y los que seguramente se obtendrán en el futuro gracias al trabajo a nanoescala de las NyN.

La nanomedicina tiene un interés legítimo por aplicar dichos resultados para cuidar y reparar la salud humana. Por su parte, la nanoética propone desarrollar las aportaciones de las NyN imprimiéndoles una orientación fundamental que consiste en asumir como guía tanto de las instituciones que financian proyectos, como de los investigadores que los implementan, aquello que favorece la plena y digna existencia del hombre.

Este criterio o valor fundamental —el sujeto— deberá guiar toda innovación y toda investigación científica y tecnológica, especialmente aquella que está orientada al cuidado y mejoramiento del ser humano. Se trata de un criterio basado en el presente, pero orientado al futuro de la sociedad vista como el entorno que debe favorecer siempre el desarrollo pleno de cada uno de sus miembros. No está por demás citar que la sociedad de hoy es una sociedad globalizada, y que nos referimos al ser humano de cualquier latitud, cultura, religión o inclinaciones personales. En efecto, gracias a la interrelación global en que existe el hombre de hoy, cualquier acción individual cobra rasgos de universalidad. De ahí la trascendencia y actualidad de la reflexión ética desde una perspectiva histórica como hemos tratado de señalar.

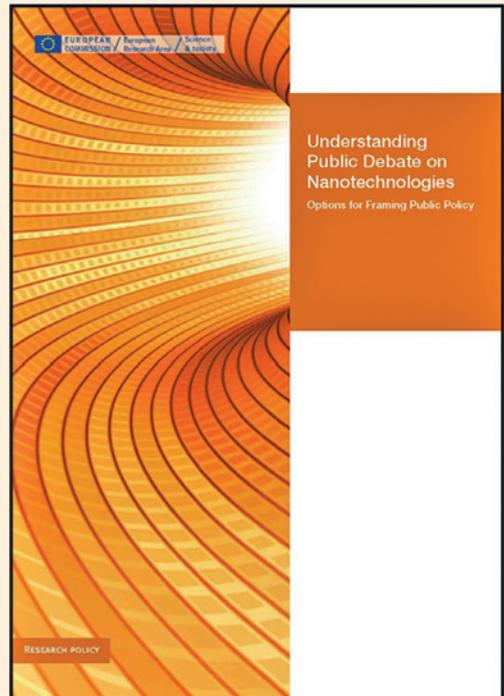
LIBROS E INFORMES

VON SCHOMBERG, RENÉ Y DAVIS, SARAH
ENTENDIENDO EL DEBATE PÚBLICO SOBRE NANOTECNOLOGÍA
(UNDERSTANDING PUBLIC DEBATE ON NANOTECHNOLOGIES)
COMISIÓN EUROPEA. BÉLGICA, 2010

La publicación aborda la naturaleza del debate público en nanociencias y nanotecnologías así como las formas en que los acercamientos deliberativos podrían resultar en una mejor administración de esas tecnologías.

Se asume que la formación de la opinión pública sobre nuevas tecnologías no es un proceso histórico y geográficamente aislado; está inevitablemente vinculado con debates previos en temas similares a nivel nacional e internacional. Es importante para los autores revisar cómo los diversos actores involucrados se comportaron en casos previos, con el objeto de aprender para mejorar el manejo de la nanotecnología. Uno de tales aspectos es el involucramiento temprano de los actores en un debate público y amplio para avanzar en la investigación, encontrar respuestas regulatorias y abordar aspectos éticos, no sólo a nivel local sino internacional.

El asunto es complejo pues el desarrollo de una política pública implica moverse en una línea muy delgada entre responder demasiado pronto y, por tanto, inadecuadamente, ante el desarrollo de una tecnología nueva, y responder demasiado tarde y, en consecuencia perdiendo la posibilidad de intervenir de modo efectivo. En tal sentido, una política flexible es clave. La filosofía detrás del código de conducta de la Comisión Europea es el apoyo y promoción de una gobernanza y comunicación pública activa e incluyente. Promueve responsabilidades para los actores más allá de los gobiernos, y promueve el involucramiento de éstos desde un conjunto bá-



sico de principios compartidos sobre gobernanza y ética.

§

Disponible en: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/understanding-public-debate-on-nanotechnologies_en.pdf.

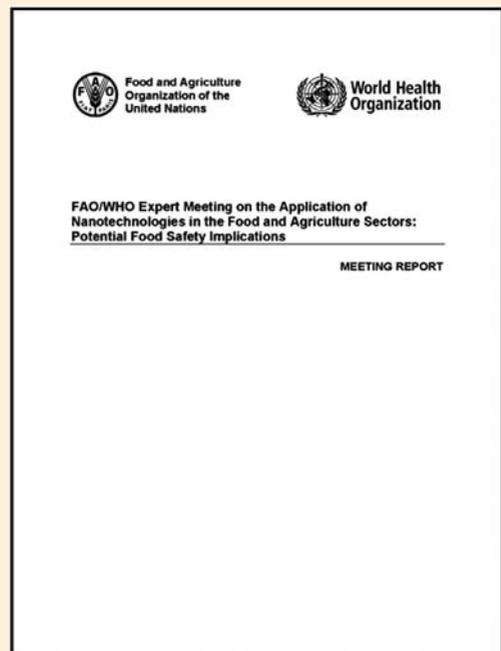
**FAO/WHO EXPERT MEETING ON THE APPLICATION OF NANOTECHNOLOGIES
IN THE FOOD AND AGRICULTURE SECTORS: POTENCIAL FOOD SAFETY IMPLICATIONS
(REUNIÓN DE EXPERTOS DE LA FAO Y LA OMS SOBRE LA APLICACIÓN
DE NANOTECNOLOGÍAS EN LOS SECTORES DE ALIMENTOS Y AGRICULTURA:
IMPLICACIONES POTENCIALES EN LA SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS)
MEETING REPORT. SUIZA, 2009.**

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE ALIMENTOS Y AGRICULTURA (FAO) /
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (WHO)**

Ante el creciente interés por desarrollar aplicaciones nanotecnológicas en el campo de la alimentación y la agricultura, la FAO y la OMS conformaron una reunión de expertos con el objeto de identificar el trabajo que se requiere para asumir el tema a nivel mundial. Diecisiete expertos se reunieron en junio de 2009 para abordar cuestiones como el uso de la nanotecnología en la producción y procesamiento de alimentos, los potenciales riesgos a la salud humana asociados con su uso; los elementos de un diálogo transparente y constructivo sobre nanotecnología entre los diversos actores involucrados. En la reunión se acordó la necesidad de definiciones claras y armonizadas a nivel internacional en lo que respecta a la aplicación de nanotecnologías en la cadena de alimentos y el desarrollo de procedimientos para clasificar las nanoestructuras que requieren asistencia de administración de riesgo. Asimismo, llama a identificar lagunas en los procedimientos de implementación de estándares en la industria agroalimentaria, en especial en la Comisión del *Codex Alimentarius*.

Lo anterior se debe a la posibilidad de que las nanoestructuras utilizadas reaccionen con otras sustancias presentes en los alimentos, tales como proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos. Igualmente, el informe apunta la necesidad de considerar aspectos del ciclo de vida de los nanomateriales en tanto su destino en el ambiente.

El informe cubre temas que van, desde el tipo de aplicaciones nanotecnológicas en los alimentos y la agricultura, hasta las perspectivas futuras, en especial de los nanotubos de carbono y composites poliméricos, así como de nanoma-



teriales de próxima generación para empacquetamiento. Aborda también la cuestión de los riesgos a la salud humana, particularmente los efectos toxicológicos y la caracterización del peligro. Finaliza con una amplia sección sobre la necesidad de un diálogo constructivo entre las partes involucradas y cómo visualizarlo.

§

Disponible en: www.fao.org/ag/agn/agns/files/FAO_WHO_Nano_Expert_Meeting_Report_Final.pdf

LA NANOTECNOLOGÍA EN IBEROAMERICA. SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS OBSERVATORIO IBEROAMERICANO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DE LA OEI

El informe ofrece un panorama de la IyD en nanotecnología a nivel iberoamericano y su inserción en la comunidad internacional en esta materia. Recupera y analiza la información contenida en bases de datos de publicaciones científicas y de patentes de invención, bajo la supervisión y el asesoramiento de expertos regionales.

Entre las evidencias obtenidas se destaca el crecimiento de la investigación en esta temática en Iberoamérica, reflejada en el aumento de las publicaciones científicas de nivel internacional. Se presenta también como un rasgo claro la consolidación de redes entre los países iberoamericanos, que ofrecen un espacio fértil para el crecimiento de los grupos de investigación, sobretudo en los países de desarrollo medio de la región. Se identifican los países con mayor actividad en nanotecnología, sus relaciones y sus instituciones clave.

El panorama es mucho menos alentador en términos de patentamiento. La dinámica de los países iberoamericanos, medida a través de los registros en las principales oficinas de patentes del mundo, con excepción de España, está muy lejos de la de los países más industrializados. Esto puede estar relacionado, en buena medida, con la desconexión de la investigación hacia el sector empresarial en Iberoamérica, más orientado hacia los productos primarios que a los de mayor contenido tecnológico. Se observa, sin embargo, una presencia mucho mayor de iberoamericanos entre los inventores que entre los titulares de patentes; dando cuenta de que existen capacidades en la formación de recursos humanos pero ciertas fallas en el tejido empresarial e institución al para convertir esas capacidades en desarrollos que finalicen en la explotación industrial del conocimiento.

El trabajo ofrece un panorama de los potenciales de la IyD nanotecnológica para el de-



desarrollo de nuevos productos y procesos de alto impacto económico y social, así como de los esfuerzos que se están realizando para fortalecer este campo a nivel regional. Se presentan datos de la producción científica en nanotecnología en el mundo en general y en la región iberoamericana en particular, las dinámicas de la colaboración internacional, la estructura temática de la investigación en este campo y su mapa institucional regional. Asimismo, se ofrecen detalles de la situación actual del patentamiento en nanotecnología en el mundo y en Iberoamérica, revisando su evolución, la relación entre los titulares y los inventores en diferentes casos estudiados, los campos de aplicación tecnológica implicados y las interrelaciones entre ellos, así como las principales articulaciones institucionales presentes en materia de desarrollo tecnológico en este campo.

§

Disponible en: www.oei.es/salactsi/nano.pdf.

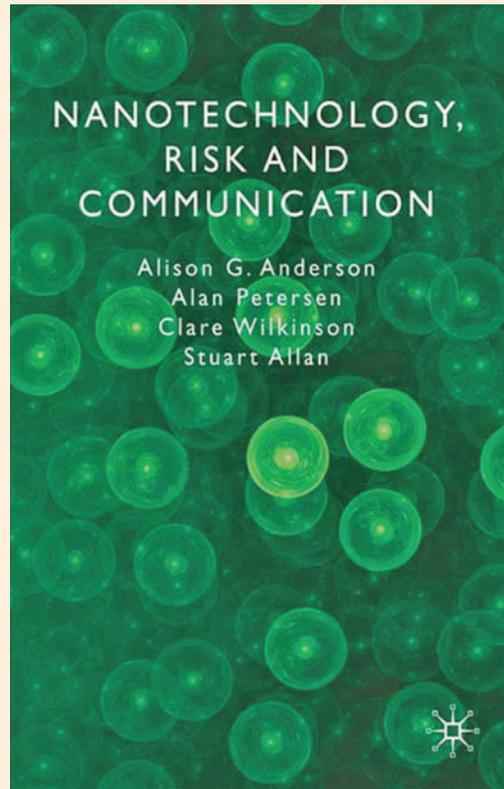
ALISON ANDERSON; ALAN PETERSEN; CLARE WILKINSON Y STUART ALLAN
NANOTECHNOLOGY, RISK AND COMMUNICATION
(NANOTECNOLOGÍA, RIESGO Y COMUNICACIÓN)
PALGRAVE MACMILLAN. 2009

Es uno de los estudios recientes más completos de cómo los medios de comunicación han cubierto el tema de la nanotecnología, de la forma en que se han generado los debates de política pública y cómo se han construido las percepciones públicas de lo nano.

Da cuenta del rol que han tenido y que tienen los medios de comunicación en delimitar el debate sobre los potenciales beneficios y riesgos de las nanotecnologías. Pero no sólo esto, sino también de los procesos de comercialización de lo “nano” en productos que son o no resultado del avance tecnológico en dicha área.

La lectura se hace con la experiencia previa de los organismos genéticamente modificados y se enfoca, entre otros aspectos, a indagar cómo las representaciones de los científicos y los hacedores de política tienen un fuerte peso en el modelamiento de políticas implementadas a través de su influencia en los medios de comunicación. Lo que se denomina “vinculación del público” es clave, pues lo que significa en la práctica no necesariamente da cuenta, por un lado, de la ignorancia o desinterés, sino también de la diversidad y complejidad de perspectivas que tiene la gente sobre la ciencia y la tecnología. Es un contexto en el que se aprecia cómo las respuestas públicas en sí mismas se han convertido en un riesgo que ha de ser manejado y, consecuentemente, la vinculación temprana con el público, o el *upstream public engagement* se coloca como el aspecto central de la gobernanza tecnológica.

Es claro que hay mucho por aprender todavía en cuanto a la mediación de la ciencia, la producción social del riesgo y la representación públi-



ca de la ciencia cuando se analizan los discursos públicos acerca de la nanotecnología, sus aplicaciones, beneficios y riesgos. Qué hechos, qué valores, qué expectativas (positivas o negativas) se comunican y cómo ello se hace, ciertamente dará forma al futuro de la comunicación, no sólo de la nanotecnología, sino de la ciencia misma.

INSTRUCTIVO PARA AUTORES

Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología invita a enviar colaboraciones para su siguiente número.

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

Artículos de divulgación sobre aspectos científicos y tecnológicos, político-económicos, éticos, sociales y ambientales de las nanociencias y la nanotecnología. Deben plantear aspectos actuales del tema escogido y dar toda la información necesaria para que un lector no especialista en el tema lo pueda entender. Se deberá hacer hincapié en las contribuciones de los autores y mantener una alta calidad de contenido y análisis.

RESEÑAS DE LIBROS

Reseñas sobre libros publicados recientemente en el área de nanociencia y nanotecnología.

IMÁGENES

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

MECANISMO EDITORIAL

- ▼ **I** Toda contribución será evaluada por expertos en la materia. Los criterios que se aplicarán para decidir sobre la publicación del manuscrito serán la calidad científica del trabajo, la precisión de la información, el interés general del tema y el lenguaje claro y comprensible utilizado en la redacción. Los trabajos aceptados serán revisados por un editor de estilo. La versión final del artículo deberá ser aprobada por el autor, sólo en caso de haber cambios sustanciales. Los artículos deberán ser enviados por correo electrónico a ambos editores con copia al editor asociado de la revista más afín al tema del artículo y con copia a mundon@cny.unam.mx.

▼ **II** LOS MANUSCRITOS CUMPLIRÁN CON LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS:

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

EVENTOS

▼ 1 a 3 de noviembre

Rusnanotech. Foro Internacional de Nanotecnología



Moscú, Rusia.
WWW.RUSNANOFORUM.COM

▼ 8 y 9 de noviembre de 2010

NanoIsrael 2010-09-05. Segunda Conferencia y Exhibición Internacional de Nanotecnología



TEMAS CENTRALES: NANOMATERIALES, NANOLECTRÓNICA, NANOFOTÓNICA, NANOBIO, NANOMEDICINA, ENERGÍA, AGUA Y MEDIO AMBIENTE, EQUIPO E INSTRUMENTAL NANO, INVERSIONES Y SERVICIOS FINANCIEROS PARA LA INDUSTRIA.

TEL AVIV, ISRAEL:
WWW2.KENES.COM/NANO/PAGES/HOME.ASPX

▼ 10 a 12 de noviembre de 2010

7mo Seminario Internacional de Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente



EL SEMINARIO PRETENDE SER ESPACIO DE INTERCAMBIO, DIÁLOGO E INFORMACIÓN DE LAS INNOVACIONES EN EL ÁREA DE LAS NANOTECNOLOGÍAS Y AL MISMO TIEMPO PLATAFORMA PARA INCENTIVAR EL CONOCIMIENTO DE SUS POTENCIALES IMPACTOS SOCIALES, A LA SALUD Y DE REGULACIÓN.

RÍO DE JANEIRO
WWW.NANOSEMINAR.COM.BR/

▼ 8 a 10 de diciembre de 2010

Cumbre sobre Innovación Nanotecnológica



DECEMBER 8-10, 2010
GAYLORD CONVENTION CENTER
WASHINGTON, DC

UNO DE LOS ENCUENTROS MÁS GRANDES DE NANOTECNOLOGÍA EN EL MUNDO, ENFOCADO EN AVANCES DE INVESTIGACIÓN DE ALTA CALIDAD POR PARTE DE LA ACADEMIA, INDUSTRIA Y GOBIERNO. LA PRIMERA EDICIÓN SE REALIZÓ EN 1998, CON UN GRUPO DE 250 CIENTÍFICOS. HOY DÍA REUNE A MÁS DE 3,500 ASISTENTES. WASHINGTON, D.C.
WWW.NSTI.ORG/EVENTS/NNI/

▼ 13 a 14 de septiembre de 2011

Nanopolímeros 2011



ORGANIZADO POR ISMITHERS, ES EL TERCER ENCUENTRO REALIZADO EN EL CAMPO DE LOS NANOPOLÍMEROS, E INCLUYE TEMAS COMO COMPONENTES Y PELÍCULAS POLIMÉRICAS, NANOBIOPOLÍMEROS, NANOCOMPOSITES, E IMPLICACIONES Y RIESGOS AMBIENTALES, ENTRE OTROS. DÜSSELDORF, ALEMANIA
WWW.ISMITHERS.NET/CONFERENCES/XNAN11/NANOPOLYMERS-2011

▼ 28 de noviembre al 2 de diciembre de 2011

ZingConference



CONFERENCIA EN NANOMATERIALES 2011
PUERTO MORELOS, MÉXICO.
WWW.ZINGCONFERENCES.COM/INDEX.CFM?PAGE=CONFERENCE&INTCONFERENCEID=62&TYPE=CONFERENCE



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



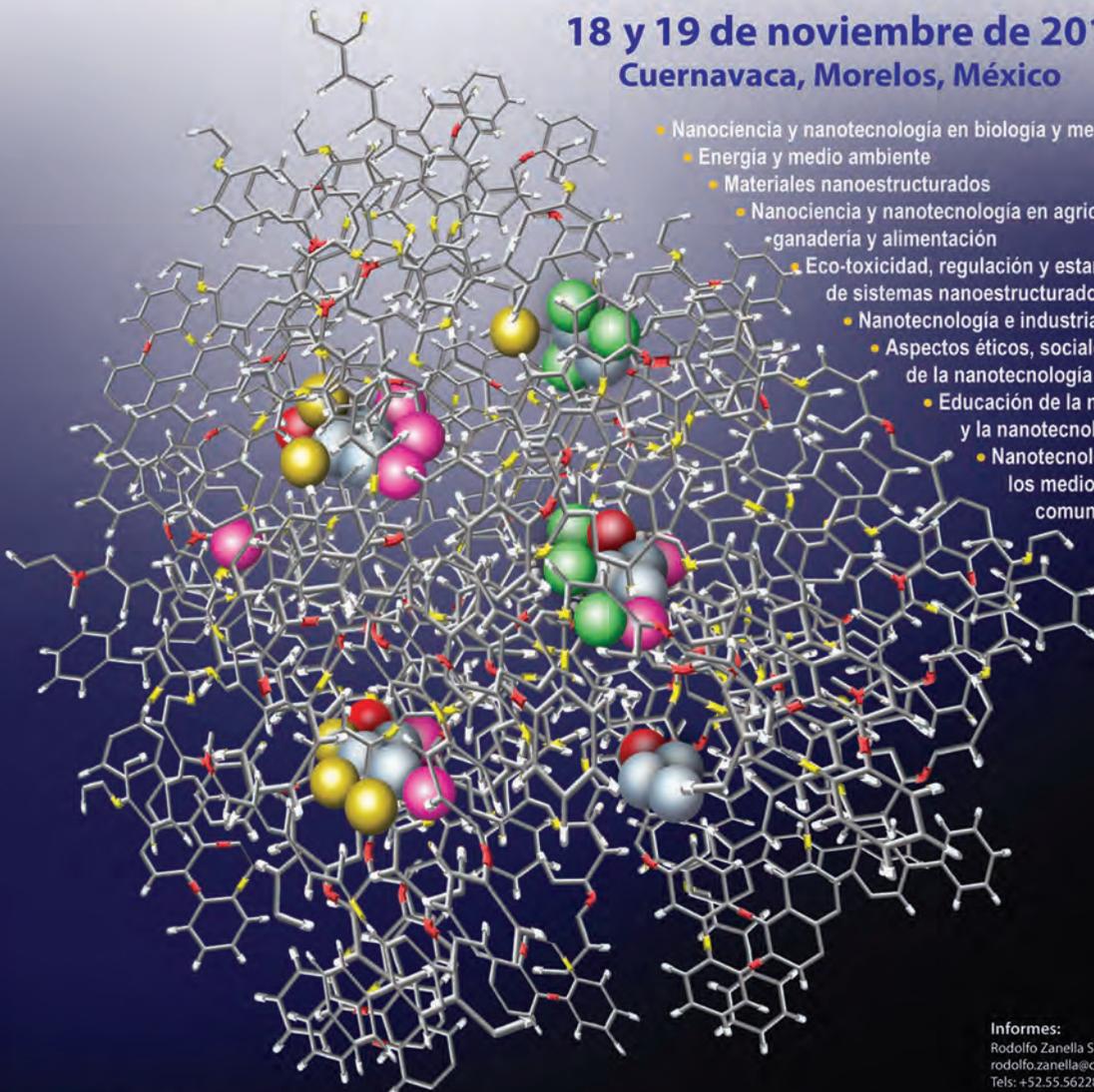
nanomex'10

Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología

Gian Carlo Delgado Ramos, Noboru Takeuchi, América Vázquez Olmos, Rodolfo Zanella Specia y Hailin Zhao Hu (coordinadores)

18 y 19 de noviembre de 2010
Cuernavaca, Morelos, México

- Nanociencia y nanotecnología en biología y medicina
- Energía y medio ambiente
- Materiales nanoestructurados
 - Nanociencia y nanotecnología en agricultura, ganadería y alimentación
- Eco-toxicidad, regulación y estandarización de sistemas nanoestructurados
- Nanotecnología e industria
 - Aspectos éticos, sociales y legales de la nanotecnología
 - Educación de la nanociencia y la nanotecnología
 - Nanotecnología y los medios de comunicación



10 de mayo - apertura de registro en línea
15 de agosto - cierre de aceptación de propuestas
20 de septiembre - inicio de aviso de propuestas aceptadas
hasta el 15 de octubre - inscripciones con costo reducido

<http://www.ceiich.unam.mx/nanomex2010>

Sede:
 Hotel Racquet, Av. Francisco Villa 100
 Fraccionamiento Rancho Cortés 62120
 Cuernavaca, Morelos
 Tel. (777) 1010350

Informes:
 Rodolfo Zanella Specia
 rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx
 Tels: +52.55.56228602 Ext 1261

América Vázquez Olmos
 america.vazquez@ccadet.unam.mx
 Tels: +52.55.56228602 Ext 1264

Dr. Gian Carlo Delgado
 giancarlo@unam.mx
 Tels: +52.55.56230222 Ext 42777

DISEÑO E ILUSTRACIÓN: ANGÉLES ALFONSO GONZÁLEZ/UNAM

