

- 
- **Aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado**
 - **Percepción social sobre nanotecnología en Cuba**
 - **Nanomateriales magnéticos para la remoción de arsénico del agua para consumo humano**
 - **Nanotecnologías, tierras raras y ética: la defensa por un giro ético**



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

DIRECTORIO

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. José Narro Robles
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García
Secretario General

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
Coordinador de la Investigación Científica

Dra. Estela Morales Campos
Coordinadora de Humanidades

Mtro. Juan Manuel Romero Ortega
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

Editor Asociado

M. en C. Rogelio López Torres • mrlt@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@ingen.unam.mx
(Instituto de Ingeniería, UNAM. México)

Microscopía

Dr. Miguel José Yacamán • miguel.yacamán@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)

Dr. Pedro Serena Domingo, Instituto de Ciencia de Materiales
de Madrid-CSIC (España)

Ciencia, tecnología y sociedad

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

Dra. Sofía Liberman Shkolnikoff (Psicología-UNAM, México)

Ciencia, tecnología y género

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

Filosofía de la ciencia

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

Complejidad de las ciencias

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

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

Medio ambiente, ciencia y tecnología

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

Aspectos éticos, sociales y ambientales

de la nanociencia y la nanotecnología
Dra. Fern Wickson (Genøk Center for Biosafety
Tromsø, Noruega)

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)

Divulgación

Dra. Julia Tagueña Parga, CIE-UNAM (México)
Dr. Aquiles Negrete Yankelevich, CEIICH-UNAM (México)
Dr. Joaquín Tutor Sánchez, ETSI-ICAI, Universidad Pontificia
Comillas (España)

Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez

Número financiado parcialmente por el proyecto PAPIIME de la DGAPA-UNAM No. PE100313 y por el proyecto No. 190607 del CONACyT
www.mundonano.unam.mx



Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 6, No. 11, julio-diciembre 2013, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, 04510, D. F., a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ciudad Universitaria, Torre II de Humanidades, 4º piso, Circuito Interior, Delegación Coyoacán, México, 04510, D. F., correo-e: mundonanounam@gmail.com, editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos

y Noboru Takeuchi Tan. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-010713303600-102, ISSN 2007-5979, Certificado de Licitud de Título y Contenido: No. 15689, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Solar, Servicios Editoriales, S. A. de C. V., Calle 2 No. 21, Col. San Pedro de los Pinos, México, 03800, D. F. Este número se terminó de imprimir en offset en diciembre de 2013 con un tiraje de 500 ejemplares en papel couché de 90 g. para los interiores y de 300 g. para los forros.

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

CONTENIDO

4 EDITORIAL

5 NOTICIAS

- 5 Computadoras con nanotubos de carbono
- 6 'Colesterol bueno artificial'. Podrían tratar enfermedades cardiovasculares
- 7 Computación con ADN
- 8 Transporte eléctrico en campos eléctricos y temperaturas altas en grafeno suspendido
- 8 Contacto eléctrico unidimensional en un material bidimensional
- 9 Nueva arma contra las superbacterias
- 9 Vidrio de grosor atómico
- 10 Descubren nueva nanopartícula con forma de pelota puntiaguda
- 11 Extrayendo energía de la luz
- 11 Nanotecnología y la ciudad de conocimiento Yachay (Ecuador)
- 12 Base de datos sobre nanotoxicología de la Unión Europea

13 ARTÍCULOS

- 13 Nuevas aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado y sus composites
David Don López, Alessandro Polini, Antoni P. Tomsia
- 29 Observación de capas de grafeno mediante contraste óptico y dispersión Raman
Claudia Bautista Flores, Roberto Ysacc Sato Berrú, Doroteo Mendoza López
- 40 Influencia de las nanopartículas de sílice en polímeros termoplásticos
Dr. José Vega Baudrit, Dr. José Miguel Martín Martínez, Quim. Melissa Camacho Elizondo

- 52 Percepción social sobre nanotecnologías en Cuba: Realidades y desafíos
Ariannis Tomasa Alcazar Quiñones
- 76 Uso de nanomateriales magnéticos para la remoción de arsénico del agua para consumo humano
Barrientos J.E., Matutes A. J.
- 85 Nanotecnologías, tierras raras y ética: la defensa por un giro ético
Fanny Verrax

96 LIBROS E INFORMES

- 96 *Ja nanociencia jits ja nanotecnología, Ja timy mutskpiäktä'äkyjänyimatyä'äky*. Takeuchi, Noboru; Gallardo Vázquez, Julio César y Díaz Robles, Tonantzin Indira. Ciencia Pumita. UNAM. México. 2013
- 97 *Nanotechnology: The Whole Story*. Rogers, Ben; Adams, Jess y Pennathur, Sumita. CRC Press. EUA. 2013
- 98 *Nanotechnology Safety*. Asmatulu, Ramazan. Elsevier. EUA. 2013
- 99 *Nanotechnology in the Agri-Food Sector*. Frewer, Lynn; Norde, Willem; Fischer, Arnout y Kampers, Frans. (eds.). Wiley. 2011
- 100 *Nanotechnology Risk Encyclopedia: Medical, Environmental, Ethical, Legal and Societal Implications of Nanomaterials*. Report of the National Nanotechnology Initiative Workshop. EPA/NIH/FDA. 2013

102 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

103 EVENTOS

Correspondencia:

Mundo Nano. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Torre II de Humanidades, 4° piso, Ciudad Universitaria, México, 04510, D. F., México.
Correo-e: mundonanounam@gmail.com

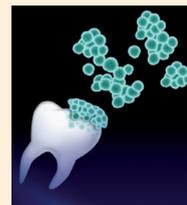


Ilustración de Angeles Alegre Schettino.

El número que cierra este año abarca una diversidad de temas que tratan desde la utilización de materiales nanoestructurados aplicados al campo de la odontología o la remoción de arsénico del agua de consumo humano, hasta cuestiones éticas y de percepción social acerca del uso de la nanotecnología.

En su artículo “Nuevas aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado y sus composites”, David Don López, Alessandro Polini, Hao Bai y Antoni P. Tomsia explican la utilización del vidrio bioactivo (BG, por sus siglas en inglés) para mejorar los tratamientos dentales, óseos y para diferentes padecimientos como la osteoporosis, el cáncer y en distintas infecciones. Los autores destacan el esfuerzo de los científicos por colaborar conjuntamente con médicos para diseñar y probar nuevos biomateriales para la regeneración del tejido perdido o dañado

Claudia Bautista Flores, Roberto Ysacc Sato Berrú y Doroteo Mendoza López nos muestran la técnica de contraste óptico como herramienta de identificación preliminar y sencilla de capas de grafeno, la cual es más simple en comparación con la propuesta de otros autores y es validada con espectroscopia Raman.

José Vega Baudrit, José Miguel Martín Martínez y Melissa Camacho Elizondo nos explican la forma en la que se preparan sílices con distinto grado de hidrofiliidad para reducir el grado de interacción con el poliuretano, y analizar las propiedades de los materiales compuestos obtenidos; en términos generales, la presencia de la sílice pirogénica mejora las propiedades térmicas, mecánicas, dinámicas y de adhesión de los adhesivos de poliuretano, propiedad debida a la interacción que se produce entre la sílice y las cadenas del poliuretano.

Por su parte, Ariamnis Tomasa Alcazar Quiñones aborda la percepción social de grupos sociales relevantes (GSR) que investigan el tema de las nanotecnologías en Cuba; el estudio de la percep-

ción social de conjunto, aunado a varias técnicas y métodos del campo de estudio sociales de ciencia y tecnología (ESCT), permite encontrar un mapa de los principales colectivos de investigación del tema en el país, así como de las etapas de investigación más relevantes por las que atraviesa esta tecnología en ese país.

En el artículo “Uso de nanomateriales magnéticos para la remoción de arsénico del agua para consumo humano”, de J.E. Barrientos y A. J. Matutes hacen explícita la forma en la que se obtuvieron nanomateriales magnéticos por medios físicos como el aerosol asistido por deposición de vapor (ACVD) y medios químicos (coprecipitación química), los cuales demostraron tener una excelente capacidad de remoción de arsénico (As) y otras impurezas contenidas en agua empleada para consumo humano. Esta opción de tratamiento de agua contaminada con As es una alternativa viable al ser comparada con otros métodos comerciales de tratamiento disponibles en el mercado.

Finalmente, Fanny Verrax en “Nanotecnologías, tierras raras y ética: la defensa por un giro ético” explora los vínculos entre las nanotecnologías y los elementos de tierras raras desde un punto de vista ético. Mientras el campo de la nanoética emerge como un área robusta con muchos estudios versados sobre aspectos éticos y sociales asociados con las nanotecnologías, los elementos de tierras raras han sido en cambio poco abordados por filósofos y eticistas. La autora sostiene que este tipo de dicotomía en términos de intereses investigativos ilustra una tendencia desafortunada hoy día en el campo de la ética aplicada que prefiere enfocarse en preguntas sobre “¿y si?” en lugar de aquellas sobre cuestiones del “aquí y el ahora”; de tal forma, se dibuja un paralelismo entre esta tendencia y la bien conocida dicotomía entre la filosofía moral y la moralidad, y la contextualización. Se propone esto último para apreciar los aspectos éticos de la tecnociencia.

▼ 25 de septiembre 2013

Computadoras con nanotubos de carbono

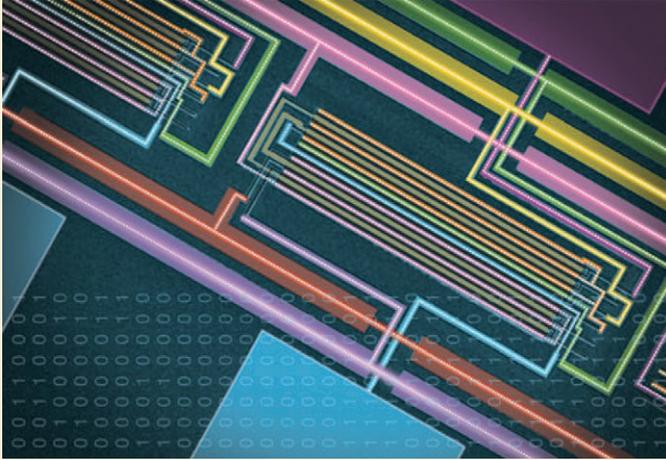


Imagen de microscopio de una sección del computador de nanotubos. | B. Colyear

La miniaturización de los dispositivos electrónicos ha sido el principal motor de la industria de los semiconductores, dando lugar a importantes mejoras en la capacidad de cómputo y la eficiencia energética. Aunque los avances en la electrónica basada en silicio se están explorando tecnologías alternativas. Los circuitos digitales basados en transistores fabricados a partir de nanotubos de carbono (CNTs) tienen el potencial de superar al silicio al

mejorar la energía-retardo del producto, una medida de la eficiencia energética, en más de un orden de magnitud. Por lo tanto, los nanotubos de carbono son un interesante complemento a las tecnologías existentes de semiconductores. Debido a las imperfecciones fundamentales inherentes de los CNTs, sólo se había podido demostrar los bloques de circuitos más básicos. En un trabajo publicado en la revista *Nature*, se muestra cómo se pueden superar esas imper-

fecciones, y se presenta la primera computadora construida enteramente con transistores basados en CNTs. La computadora de CNTs ejecuta un sistema operativo que es capaz de realizar múltiples tareas: como muestra, se realiza simultáneamente el recuento y el ordenamiento de números enteros. Además, se implementaron 20 instrucciones diferentes del conjunto de instrucciones comercial MIPS para demostrar la generalidad del computador de CNTs. Esta demostración experimental es el sistema electrónico más complejo basado en nanotubos de carbono hasta ahora. Es un avance considerable, debido a que los CNTs son importantes, entre una variedad de tecnologías emergentes que están siendo consideradas para la próxima generación de sistemas electrónicos de alta eficiencia energética.

§

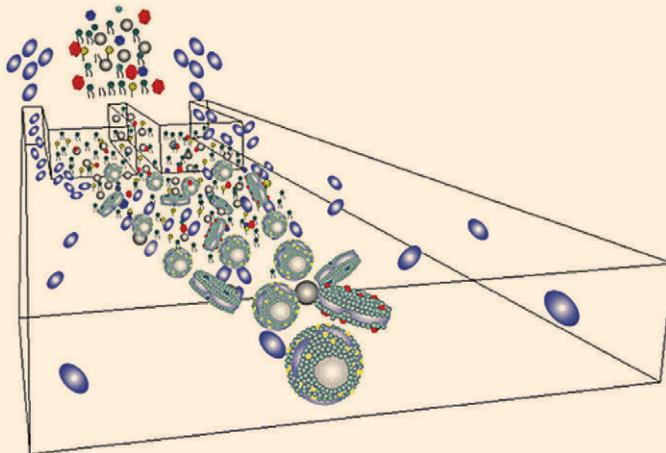
Fuente
Nature

<<http://www.nature.com/nature/journal/v501/n7468/full/nature12502.html>>.

▼ 30 septiembre 2013

'Colesterol bueno artificial'. Podrían tratar enfermedades cardiovasculares

Lipoproteína de alta densidad (HDL) es una nanopartícula natural que transporta el colesterol periférico al hígado. La lipoproteína de alta densidad reconstituida (rHDL) presenta propiedades que están siendo consideradas como un tratamiento natural para las enfermedades cardiovasculares. Además, se han creado plataformas de nanopartículas de HDL para la administración dirigida de agentes terapéuticos y de diagnóstico. Los métodos actuales para la reconstitución HDL implican largos procedimientos que son difíciles de escala. Una necesidad central en la síntesis de rHDL y de los nanomateriales multifuncionales, en general, es poder establecer la producción a gran escala de material reproducible y homogéneo de una manera sencilla y eficiente. En un artículo publicado en la revista *ACS Nano* científicos presentaron un método de fabricación a gran escala basado en microfluidos en la síntesis de un solo paso de nanomateriales que imitan la HDL (μ HDL). Se demuestra



que la μ HDL tiene las mismas propiedades (por ejemplo, el tamaño, la morfología, la bioactividad) del HDL reconstituido en forma convencional y del HDL original. Además, fueron capaces de incorporar simvastatina (un fármaco hidrófobo) en μ HDL, así como oro, óxido de hierro, nanocristales de puntos cuánticos o fluoróforos para permitir su detección por tomografía computarizada (TC), imágenes de resonancia magnética (MRI), o microscopía de fluorescencia, respectivamente. Este enfoque puede contribuir al desarrollo y la optimización efectiva de las lipoproteínas de nanomateriales que pueden ser usados en marcadores médicos y en la administración de fármacos.

que la μ HDL tiene las mismas propiedades (por ejemplo, el tamaño, la morfología, la bioactividad) del HDL reconstituido en forma convencional y del HDL original. Además, fueron capaces de incorporar simvastatina (un fármaco hidrófobo) en μ HDL, así como oro, óxido de hierro, nanocristales de puntos cuánticos o fluoróforos para permitir su detección por tomografía computarizada (TC), imágenes de resonancia magnética (MRI), o microscopía de fluorescencia, respectivamente. Este enfoque puede contribuir al desarrollo y la optimización efectiva de las lipoproteínas de nanomateriales que pueden ser usados en marcadores médicos y en la administración de fármacos.

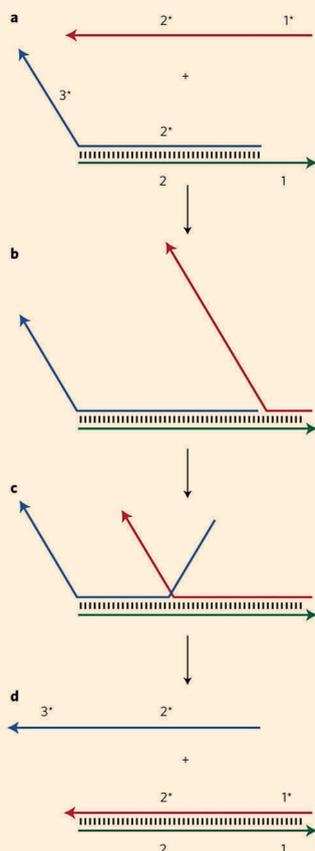
§

Fuente:
ACS Nano
<<http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/nn4039063>>.

▼ Octubre 2013

Computación con ADN

Se pueden programar moléculas de ADN para ejecutar cualquier proceso dinámico de la cinética química y se puede también implementar un algoritmo para lograr el consenso entre múltiples agentes



La intersección de la informática y la biología molecular es un campo fértil para ciencia nueva y emocionante. Dos notables ejemplos de esto son la computación molecular y la programación molecular. La computación molecular es el uso de moléculas (típicamente moléculas biológicas) para crear dispositivos computacionales programables autónomos. La programación molecular es el uso de lenguajes de programación para describir, simular, analizar e incluso diseñar el comportamiento de sistemas moleculares, generalmente estos sistemas son hechos de moléculas biológicas. Científicos de la Universidad de Washington, Microsoft Research en Cambridge, el Instituto de Tecnología de California y la Universidad de California, San Francisco han demostrado que los campos de la informática y la programación molecular pueden unir sus fuerzas para crear controladores programables químicos hechos de ADN, que pueden ser programadas para llegar a un consenso.

Los científicos emplearon el método de desplazamiento de cadena de ADN, en el que una cadena de ADN está programada para desplazar a otra

dentro de una molécula de ADN de doble cadena.

Basándose en la programación molecular, han utilizado redes de reacciones químicas, un lenguaje matemático, para describir las reacciones químicas que se producen en soluciones bien mezcladas. Las redes de reacción química se utilizan aquí como el lenguaje de programación para el diseño de los sistemas de desplazamiento de cadena de ADN. También basándose en el campo de la programación molecular, los investigadores hacen uso de *software* de cálculo de desplazamiento de la cadena para simular, analizar y depurar estos sistemas moleculares complejos.

Una molécula de ADN de cadena sencilla (rojo) se puede programar para desplazar a otra (azul) dentro de una molécula de ADN de doble cadena (azul-verde). La cadena desplazada (azul) puede entonces iniciar una nueva operación de desplazamiento de la cadena con una molécula diseñada correspondiente.

§

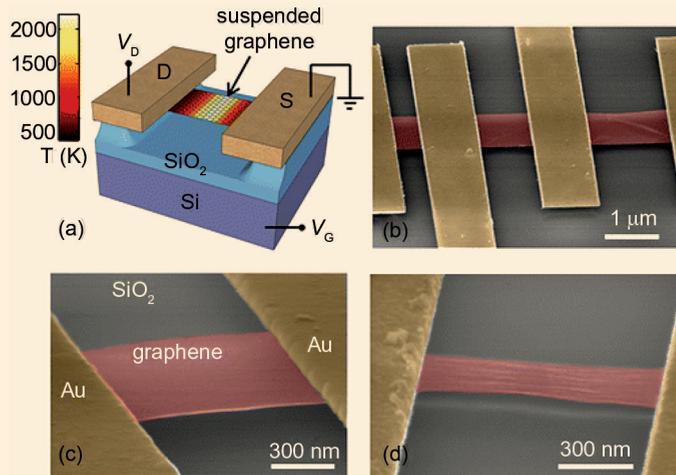
Fuente:
Nature Nanotechnology 8: 703-705.

▼ Febrero 2013

Transporte eléctrico en campos eléctricos y temperaturas altas en grafeno suspendido

La comprensión y la manipulación de las propiedades intrínsecas de los materiales es fundamental tanto desde el punto de vista científico como para lograr aplicaciones prácticas. Este desafío es particularmente evidente en el caso de materiales de grosor atómico como el grafeno, cuyas propiedades son afectadas fuertemente por las interacciones con sustratos adyacentes. Por lo tanto, para comprender las propiedades eléctricas y térmicas intrínsecas del grafeno es necesario estudiar dispositivos libremente suspendidos a través de zanjas en la microescala.

En un artículo publicado en la revista *Nanoletters*, científicos de las universidades de Illinois y de Vanderbilt en Estados Unidos examinaron las propiedades intrínsecas de transporte de dispositivos de grafeno suspendidas en campos eléctricos



cos altos y temperaturas altas. Este enfoque permite extraer tanto la velocidad de deriva (saturación) de los portadores de carga y la conductividad térmica del grafeno hasta temperaturas muy altas (> 1000 K). Se descubrió el papel importante que los portadores de

carga generados térmicamente desempeñan en este tipo de situaciones.

§

Fuente: *Nanoletters*, vol. 13 (10): 4581-4586.

▼ 1 de noviembre de 2013

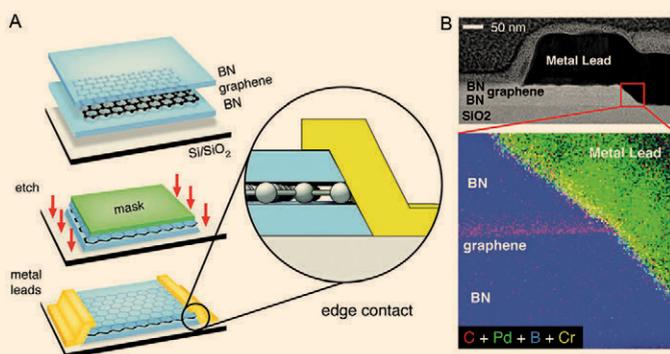
Contacto eléctrico unidimensional en un material bidimensional

Heteroestructuras basadas en capas de materiales de dos dimensiones (2D), tales como nitruro de boro hexagonal y grafeno representan una nueva clase de dispositivos electrónicos. Sin embargo, lograr esta meta depende fundamen-

talmente de la capacidad de hacer contactos eléctricos de alta calidad. Investigadores del Departamento de Ingeniería de la Universidad de Columbia en Estados Unidos han demostrado experimentalmente una geometría de contacto en el

que se metaliza sólo el borde 1D de una capa de grafeno 2D, en lugar de poner el contacto desde la parte superior, que ha sido el enfoque convencional. Con esta nueva arquitectura de contacto, se ha desarrollado una nueva técnica de ensam-

FIGURA: (A) Representación esquemática del proceso de fabricación de borde de contacto. (B) La imagen de STEM de campo brillante de alta resolución que muestra detalles de la geometría de borde de contacto.



blaje de materiales estratificados que evita la contaminación en las interfaces, y, usando el grafeno como el material 2D modelo, muestran que combinando estos dos métodos desarrollados resultan en la fabricación del grafeno más limpio que se ha obtenido.

§

Fuente: *Science*
 <<http://www.sciencemag.org/content/342/6158/614.full>>.

▼ Octubre 2013

Nueva arma contra las superbacterias

La amenaza cada vez mayor de “superbacterias”, cepas de bacterias patógenas que son resistentes a los antibióticos que derrotaron a sus predecesoras generaciones, ha obligado a la comunidad médica a buscar armas bactericidas fuera del ámbito de los medicamentos tradicionales. Un candidato prometedor es el péptido antimicrobiano (AMP), una de

las defensas menos conocidas de la Madre Naturaleza frente a las infecciones, que mata a un patógeno creando primero y luego expandiendo poros de tamaños nanométricos en la membrana celular hasta que ésta se rompa. Sin embargo, antes de que este fenómeno pueda ser explotado como una terapia médica, los investigadores necesitan una mejor

comprensión de cómo el AMP y las membranas interactúan a nivel molecular.

§

Fuente: *Science Daily*
 <<http://www.sciencedaily.com/releases/2013/10/131031175421.htm>>.

▼ 2013

Vidrio de grosor atómico

Un equipo de investigación dirigido tanto por David A. Muller, profesor de física aplicada y la ingeniería y codirector del Instituto Kavli de Cornell para la Nanotecnología, como por

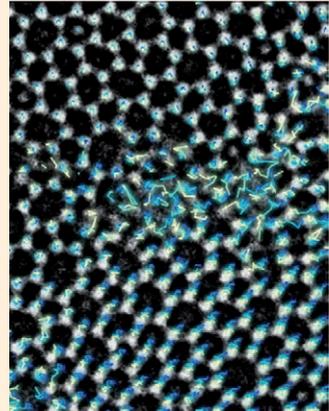
UteKaiser de la Universidad de Ulm, ha realizado estudios sobre el vidrio de grosor atómico. Utilizando un microscopio electrónico han doblado, deformado y fundido el vidrio de una

molécula de espesor. Ahora, en vez de sólo mirar su estructura, se observa su dinámica y cómo se dobla y se rompe.

Los investigadores han tomado prestadas teorías de lar-

ga data y las predicciones de los científicos que estudian los coloides (suspensiones de partículas en líquidos que son representativos de los átomos, pero que se pueden observar directamente, pues son grandes).

§
Mayores referencias sobre el estudio en:
<<http://www.sciencemag.org/content/342/6155/224>>.

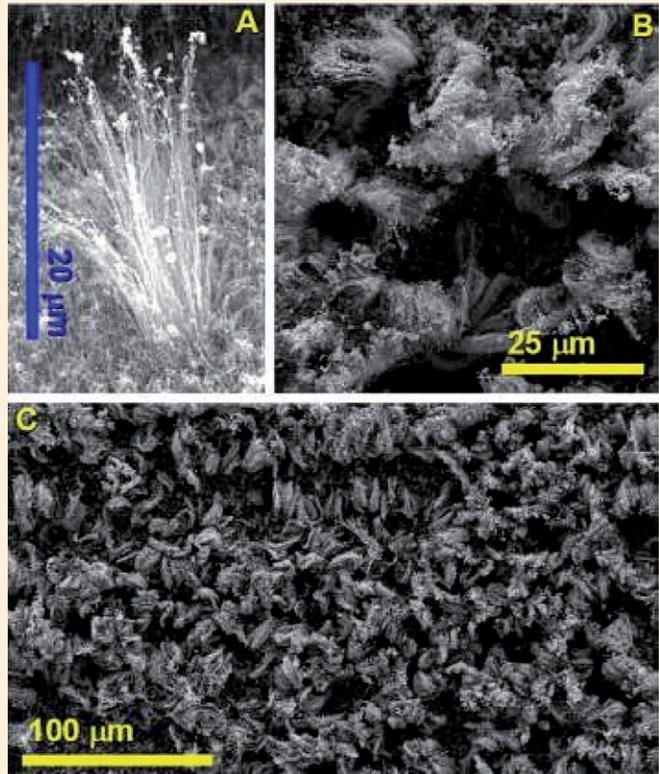


▼ 2013

Descubren nueva nanopartícula con forma de pelota puntiaguda

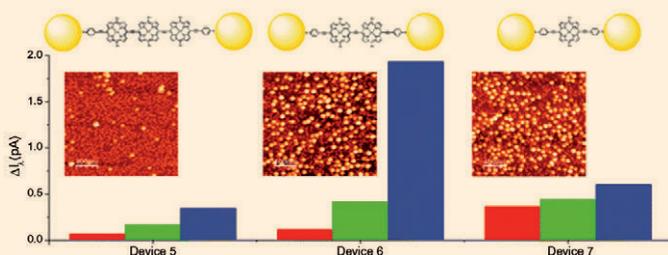
Una nanopartícula con forma de pelota puntiaguda, con propiedades magnéticas ha sido descubierta en un nuevo método de síntesis de nanotubos de carbono por físicos de la Universidad Queen Mary de Londres y la Universidad de Kent.

La nanopartícula fue descubierta accidentalmente sobre las superficies rugosas de un reactor diseñado para crecer nanotubos de carbono. Ha sido descrita como erizos de mar, debido a su característico aspecto espinoso. Las nanopartículas constan de nanotubos llenos de hierro, con la misma longitud que apuntan hacia afuera en todas las direcciones desde una partícula central.



§
Más información en:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622313007197>>.

▼ 2013

Extrayendo energía de la luz

Investigadores de la Universidad de Pensilvania han demostrado un nuevo mecanismo para la extracción de energía de la luz, un hallazgo que podría mejorar las tecnologías para la generación de electricidad a partir de energía solar y llevar a los dispositivos optoelectrónicos utilizados en las comunicaciones.

El estudio fue publicado en la revista *ACS Nano* y se presentó en Indianapolis, en el marco de la American Chemical Society National Meeting and Exhibition.

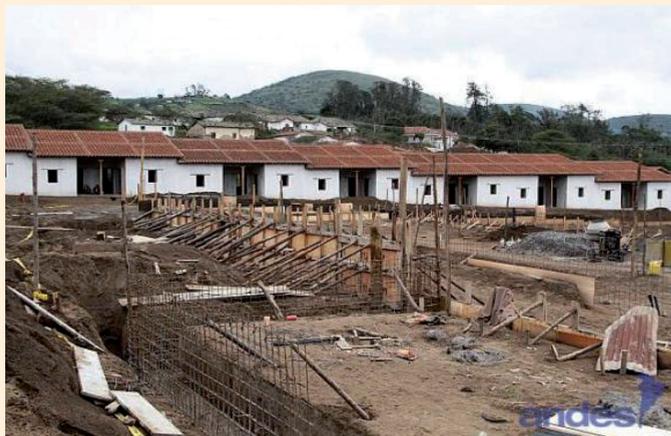
El trabajo se centra en nanoestructuras plasmónicas, específicamente en materiales fabricados a partir de partícu-

las de oro y las moléculas sensibles a la luz de porphyrin, de tamaños precisos y dispuestos en patrones específicos. Los plasmones, o una oscilación colectiva de los electrones pueden ser excitados en estos sistemas por la radiación óptica e inducen una corriente eléctrica que puede moverse en un patrón determinado por el tamaño y el diseño de las partículas de oro, así como las propiedades eléctricas del medio ambiente circundante.

§

Más información en:
<<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn401071d>>.

▼ 2013

Nanotecnología y la ciudad de conocimiento Yachay (Ecuador)

La nanotecnología es una nueva rama en el planeta que no puede quedarse fuera de las aulas del Ecuador, indicó este martes Héctor Rodríguez, gerente general del Proyecto Ciudad del Conocimiento Yachay, universidad que abre sus puertas en el primer semestre del 2014.

“Será una universidad de tecnología experimental, con parques científicos tecnológicos, hacia productos enteramente necesarios para la

sociedad, para el país, para generar el “buen vivir”, dijo el funcionario, quien ejemplificó con las cocinas que se requerirán próximamente en el Ecuador para remplazar la línea blanca a gas, luego del retiro del subsidio de este combustible casero.

El primer semestre inaugural de Yachay prevé tener 300 estudiantes, mientras que en los primeros siete años, 10 mil personas serán parte de la Ciudad del Conocimiento, con programas de pregrado y posgrado, en cinco campos

académicos, entre ellos la nanotecnología.

§

Fuente:
<<http://www.andes.info.ec/es/sociedad/yachay-da-salto-futuro-entrada-nanotecnologia-aulas.html>>.

▼ 2013

Base de datos sobre nanotoxicología de la Unión Europea

La nanotecnología ha dado lugar a avances en diversas áreas, incluyendo la medicina y el cuidado de la salud, tecnologías de la información (IT), la energía, usos en el hogar y productos de consumo diversos. Considerando dicha amplitud de aplicaciones, un proyecto financiado con fondos de la Unión Europea ha creado un sistema de información en la web para proporcionar datos sobre el impacto de las nanopartículas sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente.

El aumento de los riesgos potenciales para la salud ha dado lugar a una nueva disciplina, la *nanotoxicología* o el estudio de la toxicidad causada por los nanomateriales. El trabajo realizado por el proyecto “Base de datos comentada Nano-salud y medio ambiente” (NHECD, por sus siglas en

The examined text is taken from a scientific paper:

Under phase-contrast microscope, HT-1080 cells (control) appeared polyhedral or stellate showing slender lamellar expansions (Fig. 1A) that joined neighboring cells. With increasing concentration of SNP (from 6.25 to 50 µg/ml), cells were seen as less polyhedral, and more fusiform, shrunken and rounded.

The results of XTT assays (Fig. 3) showed a dose-dependent cytotoxicity for both the cell types with IC50 values of SNP working out as 10.6 and 11.6 µg/ml for HT-1080 and A431 cells, respectively (Fig. 3A and B).

Should result in the extraction of the following relations:

Chemistry	Cell model	Concentration	Assay	Effect	End Point	Measure Change
SVN	HT-1080	ncp/ml 6.25 to 50				less polyhedral
SVN	HT-1080	ncp/ml 6.25 to 50				more fusiform
SVN	A431			morphological change		
SVN	A431	ncp/ml > 6.25		cell numbers decreased significantly		
SVN	A431	ncp/ml 10.6 and 11.6	XTT Assays	effect on cell-division cycle	EC50	

inglés) ha culminado una base de datos completa, de acceso abierto, que incorpora un mecanismo para actualizar el repositorio de conocimiento.

§

La base puede consultarse en:
<<http://nhecd.jrc.ec.europa.eu/content/discover-our-intelligent-search>>.

Nuevas aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado y sus composites*

DAVID DON LÓPEZ,** ALESSANDRO POLINI,**
ANTONI P. TOMSIA**

RESUMEN: Para la mejora de los tratamientos de traumas dentales u óseos y diferentes enfermedades, como pueden ser la osteoporosis, el cáncer o distintas infecciones, los científicos se esfuerzan en colaborar conjuntamente con médicos para poder diseñar y probar nuevos biomateriales para la regeneración del tejido perdido o dañado. Desarrollado hace más de 50 años, el vidrio bioactivo (BG, por sus siglas en inglés) empieza a ser recientemente uno de los biomateriales más prometedores del panorama científico, como consecuencia del descubrimiento de inusuales propiedades que provocan respuestas biológicas específicas en el cuerpo. Entre estas importantes propiedades está la capacidad del BG de formar fuertes interacciones, tanto con tejidos blandos como con los duros, así como el proceso de liberación de iones en la disolución. Desarrollos recientes en nanotecnología han introducido nuevas oportunidades para la ciencia de materiales, aplicados a terapias dentales y óseas de diferentes tipos. Por ejemplo, las aplicaciones para el BG se expanden a medida que es posible controlar con mayor precisión las estructuras producidas con él y las propiedades fisicoquímicas del propio material a nivel molecular. En la presente publicación se hace un estudio de cómo las propiedades de estos materiales han sido mejoradas con la llegada de la nanotecnología, y cómo estos avances están produciendo resultados realmente prometedores en la regeneración de tejido duro y el desarrollo del innovador sistema de liberación de medicamentos basado en el BG.

PALABAS CLAVE: vidrio bioactivo, biomateriales, regeneración de tejido duro.

ABSTRACT: In order to achieve the improvement of dental and bone treatments for different kind of trauma or diseases, e.g., osteoporosis, cancer or infections, material scientists are joining their efforts and working together with clinicians towards the development of new biomaterials. Developed more than 50 years ago, bioactive glass (BG) has recently gained attention and is considered promising biomaterial in the scientific scene, thanks to the discovery of its unusual properties that promote biological responses inside of the human body. Among their important properties, the BG is able to form strong interactions with both soft and hard tissue, also due to the release of ions upon dissolution. In material science, the last developments in nanotechnology have showed new opportunities and directions in several application fields, including for dental and bone therapies. For example, new applications for BG are available as more control on the structures and physicochemical properties of materials at the molecular level is possible. Here, we summarize how these material properties have been improved by the use of nanotechnology, and how these developments are leading to really promising results in the field of hard-tissue regeneration and in the progress of innovative drug delivery systems based on BG.

KEY WORDS: bioactive glass, biomaterials, hard-tissue regeneration.

* Este trabajo ha sido financiado por los National Institutes for Health and Dental and Craniofacial Research (NIH/NIDCR), con la beca número 1R01DE015633.

** Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720.
Correo-e de Alessandro Polini: (apolini@lbl.gov).

INTRODUCCIÓN

En los tratamientos de traumas o de enfermedades dentales u óseas, como puede ser la osteoporosis, el cáncer o diferentes tipos de infecciones, los materiales sintéticos biocompatibles son habitualmente utilizados para remplazar los tejidos dañados. Sin embargo, este tipo de materiales no suelen tener propiedades químicas, biológicas o físicas lo suficientemente similares al tejido original, provocando problemas y, en ocasiones, la necesidad de retratamiento para poder arreglar la situación. Para llegar al objetivo de la completa recuperación del paciente es esencial desarrollar nuevos materiales activos que sean capaces de interactuar con los tejidos circundantes, mejorando y dirigiendo la completa recuperación del tejido.

Para conseguir este objetivo, diferentes grupos científicos de investigación en el área de la ciencia de materiales están focalizando sus esfuerzos en el vidrio bioactivo (BG, por sus siglas en inglés) y otro tipo de composites con BG. Los BGs son materiales con capacidad de inducir respuestas biológicas específicas después de su implantación [1]. Concretamente, esta bioactividad es conseguida gracias a la formación en su superficie de capas de hidroxiapatita (HA), capaz de establecer fuertes enlaces tanto con el tejido blando como con el duro, y libera iones después de disolverse [2]. Además, los avances técnicos en el procesamiento del BG han desembocado en el desarrollo de vidrios bioactivos mesoporosos (MBG), materiales que extienden el potencial del BG hacia el diseño de sistemas innovadores para la liberación de medicamentos [3].

Estudios recientes han demostrado también que las herramientas de la nanotecnología pueden ser utilizadas para mejorar el funcionamiento de los materiales actualmente utilizados para tratar problemas con el crecimiento óseo o para solucionar diferentes problemas dentales [4-6]. Estas nuevas técnicas, las cuales tienen en cuenta la compleja y jerárquica estructura de los dientes y los huesos, pueden imitar la nanoestructura original de los tejidos humanos y así desarrollar nuevos implantes que podrían ser cuidadosamente diseñados a diferentes escalas [7]. Mientras tanto, la aplicación de la nanotecnología para tratamiento, diagnóstico, monitorización y control de los sistemas biológicos (recientemente nombrada como “nanomedicina” por el Instituto Nacional de Salud estadounidense, el NIH) ofrece una oportunidad única para un verdadero diseño racional y una liberación de medicamentos focalizada, minimizando los efectos adversos para los tejidos adyacentes [8].

Aquí se muestra cómo la nanotecnología puede ser aplicada para modificar y mejorar los materiales de BG. Después de un pequeño resumen de las principales propiedades del BG y de un estudio de la relación entre la composición y la bioactividad, se describirán los últimos avances y estudios en el uso de materiales nanoestructurados con presencia de BG para la regeneración de tejido duro y el desarrollo de sistemas con liberación de medicamentos.

VIDRIO BIOACTIVO

El BG puede ser formado usando dos métodos diferentes. Por un lado, el tradicional fundido–enfriado, utilizado para aplicaciones comerciales del BG, en donde se emplean temperaturas superiores a 1,300 °C para fundir todos los óxidos en un crisol de platino, mientras que barras o monolitos de grafito o agua son utilizados para el en-

friamiento. Por otro lado, el método más moderno desarrollado se basa en el sol-gel, una síntesis química en la que se emplean precursores de sílice para formar y aglomerar nanopartículas (NPs) dentro de un gel a temperatura ambiente [9]. El vidrio es formado después de secar y calentar este gel, que es una red húmeda y orgánica de enlaces covalentes de sílice. Una diferencia notable entre los vidrios obtenidos a partir de estos métodos es la presencia de nanoporosidad empleando la técnica sol-gel, lo cual conlleva a un aumento de la superficie específica y mejora la respuesta celular al material [10]. Las composiciones obtenidas a través del método sol-gel muestran menos componentes porque algunos óxidos, como el Na_2O , muy comúnmente utilizado en el proceso de fundido-enfriado para mejorar el proceso disminuyendo la temperatura del punto de fusión de la mezcla, no son necesarios para este método. Más detalles pueden ser encontrados en los últimos estudios [2,11,12].

Los MBGs altamente ordenados son comúnmente sintetizados a través del método sol-gel por medio de bloques de polímeros no iónicos, que son utilizados para dirigir la formación de la estructura durante el proceso de auto ensamblaje que se produce al inducir la evaporación del agua del gel [3]. A pesar de que los BGs convencionales muestran una estructura mesoporosa debido a la distribución aleatoria de CaO dentro de la red de SiO_2 , el auto ensamblaje de los surfactantes en el MBGs conlleva la uniformización de los mesoporos, con tamaños entre 2 y 50 nm así como estructuras ordenadas. Además del control sobre la composición del MBG, este proceso de auto ensamblaje ofrece la oportunidad de establecer el tamaño de poro y la estructura final [3]. Cuando es comparado con la arquitectura del BG no mesoporoso, el incremento de la superficie específica en la estructura del MBG otorga mejores cualidades, tanto *in vivo* como *in vitro*, como la bioactividad, la degradación y las propiedades de liberación de fármacos [13,14].

ESTRUCTURA ATÓMICA DEL BG

La bioactividad de los materiales basados en el BG, que se mineralizan y forman capas de hidroxicarbonato de apatito (HCA), depende del control preciso de la composición y de la estructura atómica del vidrio, así como de las propiedades osteogénicas, angiogénicas y bactericidas de sus disoluciones. La estructura atómica de los vidrios de sílice está determinada por las propiedades electrónicas de los átomos de silicio que, al ser combinados con átomos de oxígeno, forman tetraedros conectados por medio de enlaces de oxígeno de la manera Si-O-Si [15]. Los cationes que modifican esta red (como el sodio o el calcio) pueden interrumpir la estructura estableciendo otro tipo de enlaces. En general, los BGs con un alto contenido en sílice tienen redes mejor interconectadas, lo cual conlleva a una disolución y una bioactividad más lenta. Además del uso de cationes para modificar la estructura atómica, la adición de fósforo puede inducir la repolimerización de la red de silicatos, produciendo efectos similares a la extracción de cationes, contrarrestando las cargas e induciendo una distribución heterogénea de ellos [16].

Un parámetro importante para la predicción de la bioactividad de un vidrio es la conectividad de la red, N_c , ésta indica el número de enlaces por átomo de silicio. Vidrios con valores de N_c mayores que 2.6 no son propensos a ser bioactivos, pues poseen una gran resistencia a disolverse [17]. En los vidrios sol-gel el valor de N_c es, generalmente, menor que el calculado a partir de la composición nominal debido a la

presencia de grupos hidroxilos en su composición [2]. A pesar de que el proceso de secado elimina la mayoría de los grupos -OH provocando una mayor formación de enlaces O-Si-O, algunos permanecen atrapados en la red, reduciendo su conectividad.

BIOACTIVIDAD DEL BG: FORMACIÓN DE HCA

La capacidad del BG de adherirse al hueso es atribuida a diferentes procesos, como la formación de una capa de HCA capaz de interactuar fuertemente con las fibras de colágeno o con el propio hueso dañado, la absorción de proteínas, la incorporación de moléculas de colágeno y la inducción de diferenciación y adhesión de los osteoblastos [18]. La capa de HCA es formada como resultado de varias reacciones en la superficie del BG de la siguiente manera [19]: (1) incremento del pH debido a un rápido intercambio iónico entre los cationes de la propia estructura con H^+ de la solución, lo cual conlleva a una hidrólisis de los grupos de sílice y la creación de grupos de silanol (Si-OH); (2) el incremento de pH provoca el ataque de los iones OH^- a la estructura vítrea de SiO_2 , rompiendo los enlaces Si-O-Si; (3) la condensación y polimerización de una capa de 1-2 μm de SiO_2 amorfo exento de Na^+ y Ca^{2+} ; (4) fomento de la disolución del vidrio y migración del Ca^{2+} y del $(PO_4)^{3-}$ hacia la capa de SiO_2 amorfo, creando una capa de fosfato cálcico amorfo (ACP); y (5) a medida que el vidrio se va disolviendo, la capa de ACP integra los iones $(OH)^-$ y $(CO_3)^{2-}$ desde la disolución y cristaliza como una capa de HCA.

BIOACTIVIDAD DEL BG: PRODUCTOS DE LA DISOLUCIÓN IÓNICA

Los primeros estudios sobre las propiedades biológicas de los productos de la disolución iónica procedentes del BG se han centrado en el Si, Ca y P, y muestran cómo estos materiales pueden modificar la expresión génica de diferentes genes en células del tipo osteoblastos [20]. De esta manera, otros efectos han sido investigados, tanto *in vitro* como *in vivo*, haciendo especial hincapié en factores como la angiogénesis, la actividad bactericida y el proceso inflamatorio. Más adelante, los últimos estudios en este campo serán revisados para describir tales efectos (para ejemplos adicionales consultar [21]).

Estructuras macroporosas de MBG dopadas con Mg, Zn o Sr son producidas por medio de moldes de espuma de polímeros [22]. Como se ha demostrado con los estudios *in vivo* usando células mesenquimales de médula de hueso de rata (rBMSCs), esta adición introduce efectos no citotóxicos, con una liberación sostenida de Ca, P, Si, Mg, Zn y Sr desde las piezas hacia el medio de cultivo, favoreciendo la proliferación celular y la actividad de la fosfatasa alcalina (ALP). En otro estudio, la liberación de B por medio de piezas de MBG funcionalizados con dexametasona bórica (DEX) conllevan un incremento de la actividad de la ALP y de la expresión de genes osteogénicos sinérgicamente con la liberación de DEX [23]. Las estructuras de MBG dopadas con Fe magnético, muy útiles como plataforma hipertérmica en el tratamiento de tumores óseos malignos, han sido desarrollados e investigados *in vitro*, mostrando una mejora en la actividad mitocondrial, así como en las expresiones génicas óseas (ALP y osteocalcina) en BMSCs humanos (hBMSCs) [24]. El incremento de la adhesión y de la viabilidad de los hBMSCs también es conseguido por medio de estructuras dopadas con Zr;

las cuales muestran una mayor resistencia a la compresión y menor solubilidad al ser comparadas con estructuras no dopadas, mientras que la capacidad de formar apatito se mantiene [25]. Un interesante y reciente estudio reporta que la introducción de Co en las piezas de MBG produce la inducción a un medio hipóxico para mejorar la angiogénesis a través de la secreción de mayores cantidades del factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), el factor 1α que induce a la hipoxia y expresiones génicas óseas de hBMSCs [26]. Resultados similares pueden ser logrados con la incorporación de Cu en piezas de MBG [27]. La introducción de Li en los implantes de MBG tiene un efecto específico en la formación del cemento dental, el tejido mineral producido por los cementoblastos durante la formación de la raíz dental. El cemento dental es el responsable de la unión del ligamento periodontal a las raíces y rodear el hueso alveolar influenciando la proliferación y la diferenciación cementogénica de las células derivadas del ligamento periodontal humano [28].

Además de los estudios de los efectos específicos del BG y el MBG en la regeneración ósea y la angiogénesis, varios artículos se han centrado en las propiedades bactericidas de los materiales BG, resultantes de su disolución y la liberación de iones al medio, para el tratamiento o prevención de infecciones periodontales [21,29]. Por ejemplo, partículas de BG dopadas con Ag_2O pueden ser sintetizadas por medio del método sol-gel y usadas no sólo como bacteriostático, sino también como material bactericida [30]. Estas propiedades antibacterianas son probablemente debidas a la lixiviación de los iones de plata desde la matriz vítrea y su acumulación por las bacterias, donde interfieren con diferentes mecanismos celulares que todavía no han sido completamente entendidos [30]. El-Kady y demás produjeron NPs de BG dopadas con Ag_2O mostrando una liberación continuada de iones de plata durante dos semanas, capaces de inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*.

REGENERACIÓN DE TEJIDOS DUROS

Los huesos y los dientes son órganos extremadamente complejos con una combinación de diferentes tejidos duros (hueso trabecular y compacto, esmalte dental, dentina o el cemento dental) y tejidos blandos (médula ósea, pulpa dental o el ligamento periodontal) en una estructura jerárquica única, donde la nano y la mesoescala son igual de importantes, con una gran combinación de fenómenos complejos como las interacciones biomoleculares, el intercambio de nutrientes o el transporte de fluidos. Autoinjertos, alotransplantes y xenotransplantes han sido utilizados como sustitutos óseos cuando el proceso de recuperación o remodelado biológico no era capaz de curar los defectos óseos causados por diferentes traumas, extracciones tumorales y distintas enfermedades congénitas. Para poder evitar las limitaciones que cada uno de estos tejidos de los diferentes donantes tienen, biomateriales como metales, polímeros y composites están siendo utilizados desde los años 50 [32]. Biomateriales de tercera generación, disponibles en forma de polvo, soluciones o partículas están actualmente siendo investigados con el objetivo de promover la rápida regeneración del tejido en el paciente [18].

Como ha sido descrito en la sección anterior, el BG es muy efectivo al provocar repuestas celulares específicas. Como resultado, estos materiales son ampliamente usados en ingeniería de tejidos duros, tanto como material aislado como fase inorgánica en composites híbridos [11, 12, 33, 34]. Recientemente, materiales nanoestruc-

turados con base de BG han sido creados con diferentes métodos de procesamiento (congelamiento unidireccional de suspensiones, *electrospinning*, procesado sol-gel, replicación de espuma polimérica, técnicas de microemulsión, o enlace térmico de partículas o fibras) en la forma de piezas tridimensionales (3D) como NPs o nanorecubrimientos, demostrando propiedades mecánicas similares y comparables a las del hueso natural [11,33]. El aumento de la superficie específica de los productos del BG nanoescalado tiene dos efectos importantes: una disolución más rápida y la consecuente liberación de iones; y una mayor adsorción proteica. Estos efectos tienen el potencial de desembocar en una mejora de la bioactividad así como en nuevas e inesperadas aplicaciones biomédicas.

BG COMO MATERIAL EN SOLITARIO

Para el tratamiento de defectos óseos de gran tamaño, es habitual el uso de moldes 3D como marco para guiar las células óseas en el proceso regenerativo con el objetivo de estimular los mecanismos de curado fisiológico dentro del cuerpo humano [35]. Este tipo de piezas suelen ser llenadas con MSCs antes de su implantación, y muestran una porosidad adecuada para permitir la formación de nuevos vasos sanguíneos, que son fundamentales para la supervivencia del hueso a regenerar. Estructuras tridimensionales con sobresalientes propiedades mecánicas (136 MPa como resistencia a la compresión, comparable a la del hueso cortical) y una alta porosidad (60%, también similar a la que presenta el hueso cortical) son fabricadas con vidrio 6P53B por medio de ensamblado directo de tinta, conservando una excelente bioactividad *in vitro* [39]. Después de la inmersión en fluido corporal simulado (SBF) durante 3 semanas, toda la pieza es recubierta por cristales de HA a nanoescala. La resistencia a la compresión desciende hasta valores de 77 MPa debido a la degradación del material, pero sus propiedades mecánicas siguen estando muy por encima del hueso trabecular, con lo que su aplicación sigue siendo plausible para el tratamiento de defectos óseos de baja carga mecánica [39,40]. La impresión 3D puede ser utilizada con suspensiones de MBG para la formación de estructuras porosas distribuidas jerárquicamente y con buena resistencia mecánica, que además preservan excelentemente la habilidad de mineralización del apatito y las propiedades de liberación sostenida de fármacos [42,50]. El congelamiento unidireccional de una suspensión de vidrio 13-93 con base de canfeno es empleada para fabricar estructuras anisotrópicas porosas en 3D con muy buenas propiedades mecánicas (47 MPa) y una alta porosidad (50%) [36]. Utilizando la técnica del moldeado de espuma de gel se producen estructuras de vidrio silicato ICIE 16, realizadas sin la cristalización del vidrio (con lo que no pierden bioactividad). El gran tamaño de poro que presentan (con una media de 379 μm) favorece la formación de nuevos vasos sanguíneos, mientras que su resistencia mecánica a la compresión se reduce al mínimo del hueso trabecular (1.9 MPa) [41]. La misma técnica permite la fabricación de estructuras de silicato BG con porosidades similares (con una media de 372 μm) y con la capacidad de soportar la diferenciación de los tres diferentes tipos de células que están principalmente relacionadas con el buen desarrollo del sistema vascular óseo: macrófagos de ratón (línea celular C7), que se diferencian en osteoclastos multinucleados TRAP⁺; preosteoblastos de ratón (MC3T3-E1), que depositan nódulos mineralizados en la superficie; y células endotélicas aórticas bovinas, que crean estructuras tubulares [51]. Recubrimientos de BG de nanotamaño están siendo es-

tudiadas por su potencial para mejorar la estabilidad de los implantes metálicos por medio del enlazamiento de éstos con el propio hueso, así se evitaría la formación de quistes fibrosos después de su implementación [52], aunque la rápida disolución del BG puede llevar a largo plazo a la inestabilidad del implante metálico.

Recientemente, la técnica de *microspinning* ha sido utilizada en un esfuerzo por imitar la arquitectura de la matriz extracelular (ECM) compuesta por haces de fibras de proteínas y glicanos de tamaños entre 100 y 500 nm. Con esta técnica, es posible producir estructuras de nanofibras de una manera rápida y controlable, permitiendo y dirigiendo a las células óseas a que proliferen y se diferencien en múltiples tipos [7, 53, 54]. Fibras de silicato BG de tamaño submicrométrico han sido producidas y sus propiedades mecánicas fueron estudiadas por medio de un nanoindentador y los resultados obtenidos muestran un relativamente alto módulo elástico (5.5 GPa), muy cerca del valor del hueso trabecular [55]. La zona hueca entre las fibras de MBG fue producida por medio del uso de una fase polimérica como núcleo del material, de fácil eliminación por incinerado durante la estabilización para dejar una entramado de puro BG [56, 57]. Nanofibras de BG 45S5 fueron también producidas por medio de tecnología láser de *spinning*, evitando el posterior tratamiento térmico o aditivos químicos para preservar su bioactividad en SBF.

Además del uso de estructuras tridimensionales, la posibilidad de utilizar gránulos o partículas para rellenar y reparar pequeños defectos de una manera rápida y controlable ha sido profundamente investigada por cirujanos ortopédicos y dentistas desde hace tiempo. Lanzado en 1993, para la reparación de defectos en la mandíbula en enfermedades periodontales, el Perioglass® (actualmente vendido por NovaBone Products LCC, Alachua, FL) fue el primer producto de BG 45S5 microparticulado que evitaba la resorción del hueso alveolar en la mandíbula después de haber sustraído un diente o para esterilizar el canal de la raíz antes de fijar nuevos implantes dentales [29]. En los últimos años esfuerzos significativos han sido dirigidos a la investigación de NP de BG producidas principalmente por medio de síntesis con llama o por medio del proceso sol-gel. El objetivo es aprovechar su extremadamente gran ratio de superficie específica por volumen, consecuencia de su estructura nanoescalada [2]. Las NPs del BG 45S5, con un tamaño medio de partícula entre 20 y 60 nm, han demostrado una gran actividad osteoblástica y una rápida transformación (después de un día) de BG a HCA nanocristalina [59]. NPs de silicato BG con diferentes tamaños medios de partículas (40-2000 nm) preservan una liberación de silicio estable y permiten la unión y proliferación de las MSCs, con NPs de tamaños entre 40-800 y 40-180 nm mostrando las mayores formaciones de apatito y las mayores velocidades de proliferación, respectivamente. NPs de BG y sus productos iónicos también han sido propuestos para la regeneración del cemento dental [60]. Es interesante la posibilidad de utilizar estas NPs de BG como nanobloques para la construcción de macroestructuras ensambladas jerárquicamente, manteniendo intactas sus propiedades bioactivas y su gran nivel de porosidad.

Disponible comercialmente desde 2004, el BG 45S5 de NovaMin® (actualmente vendido por GlaxoSmithKline, UK) fue el primer producto de BG usado en pasta de dientes para tratar la hipersensibilidad en la dentina. A diferencia de otras pastas de dientes que incorporan químicos que provocan la anestesia temporal del nervio dental para evitar el dolor, estas NPs se pueden adherir a la dentina. Estudios clínicos [62] demuestran que fomentan la formación de una capa de HCA que ocluye los conductos tubulares de la dentina ($\approx 1 \mu\text{m}$ de diámetro), permitiendo la remineralización de

la dentina y aliviando el dolor por periodos de tiempo mayores. Persiguiendo el mismo objetivo, algunos investigadores han conseguido producir silicato MBG con tamaños de partículas de 40 nm para el tratamiento de la hipersensibilidad en la dentina, obteniendo resultados con una significativa reducción de la permeabilidad en la dentina [63]. Además, como ya se ha discutido en la última parte del artículo, pequeños medicamentos y factores de crecimiento pueden ser introducidos dentro de las partículas de BG y liberadas en las células después de que éstas hayan establecido contacto con las NPs.

MATERIALES DE TIPO NANOCOMPOSITE DE BG Y POLÍMEROS

Los nanocomposites formados por BG y polímeros son unos materiales bioactivos relativamente nuevos, que combinan la bioactividad y las buenas propiedades mecánicas del BG con la gran flexibilidad y capacidad de deformación bajo cargas de los polímeros. Estas características están disponibles, principalmente, para aplicaciones como estructuras 3D o para rellenado del propio hueso [33].

Utilizando colágeno del tipo I (COL) como adhesivo imitando el componente ECM y la fosfatidilserina (PS) como material con una gran afinidad por los iones de calcio, estructuras altamente porosas de BG-COL-PS fueron fabricadas por medio de la técnica de congelado–secado y probadas *in vitro* e *in vivo* [45]. En estudios de cultivos de MSC de ratas, estas piezas trifásicas demostraron adhesión celular, crecimiento y diferenciación osteogénica mayores, comparadas con el sistema bifásico BG-COL y, a su vez, el mayor grado de curación cuando eran introducidas MSCs en defecto de fémur de rata. Además, una combinación de COL y BG en forma de NPs fue estudiada, implantada como una pieza de hidrogel mineralizable y con semillas celulares, demostrando que conservaba la estructura nanofibrilar del COL así como la bioactividad del BG [64]. Una composición de BG obtenida por medio de sol–gel puede ser sometida a *electrospinning* y combinarse con COL para producir una matriz de composite con nanofibras, obteniendo así una magnífica bioactividad *in vitro* y una alta ALP después del cultivo de células osteoblásticas [37]. Las NPs de MBG pueden ser integradas en una disolución polimérica (policaprolactona, PCL) y seguidamente ser sometidas a un proceso de *electrospinning*, consiguiéndose así una estructura nanofibrilar más bioactiva que la matriz de PCL, en términos de adhesión, crecimiento y diferenciación celular *in vitro* [65]. Piezas tridimensionales de poli(D,L-lactida) rellenas con partículas de micro y nanoescala, con una gran porosidad (81-93%) y buenos rangos de resistencia mecánica (0.4-1.6 MPa), dentro de los parámetros del hueso trabecular, han sido probadas exitosamente *in vivo* [46], éstas son piezas bien implantadas con nuevo tejido formado, y muestran una vascularización mayor que las piezas de PDLA, demostrando sus buenas propiedades osteogénicas y angiogénicas del BG.

Películas y recubrimientos de nanocomposites han sido desarrollados para mejorar las propiedades de materiales bioinertes como los metales, polímeros sintéticos o compuestos cerámicos. NPs de BG 45S5 (29 nm) fueron investigadas para preparar películas de composites poli(3-hidroxitirato) por medio de la formación de una capa uniforme de HCA, después de la inmersión en SBF, mejorando la adhesión, proliferación y diferenciación de osteoblastos humanos (MG-63) *in vitro* [44]. Una capa de nanocomposite compuesto de BG y NPs de PCL, con diferentes contenidos de BG (1-90% en peso) puede ser también aplicado sobre piezas de fosfato cálcico bifásico

para mejorar las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión en el rango de 0.2-1.45 MPa y módulos en el rango de 19.3-49.4 MPa) y la bioactividad; incremento de la degradación; e inducir a la diferenciación osteogénica de células humanas *in vitro* [47]. En otro trabajo, sustratos de titanio puro comercial y cables Kirschner (K-wires) de acero inoxidable fueron recubiertos con nanocomposites de poli(lactida-co-glicolato)-BG-HA preparados por medio de la fundición de solvente [66]. Estos estudios *in vitro* ofrecieron unas propiedades biológicas excelentes, como biomineralización, adhesión de células madre y viabilidad. Por otra parte, no fue detectado ningún signo de fallo en la adhesión entre el recubrimiento y el sustrato después de la implantación de los K-wires recubiertos dentro de la tibia de conejo, demostrando una fuerte unión entre el nanocomposite y los materiales metálicos.

Los nanocomposites de polímeros y BG están asumiendo un papel importante como membranas barrera para aplicaciones periodontales, con el objetivo de fomentar la regeneración periodontal por medio de un bloqueo físico de la migración de células epiteliales hacia el tejido dañado [67]. NPs de BG y alginato fueron propuestas porque, en comparación con las membranas de alginato, presentaban mejores propiedades *in vitro*: poca inflamación del tejido, degradación limitada, mejor biomineralización, buena adsorción de proteínas, y buena proliferación y adhesión celular de ligamentos fibroblásticos de periodontal humano (hPDLF) [60]. La introducción de NPs de BG en membranas de quitosano disminuían sus propiedades mecánicas, pero el mismo estudio demostraba la mejora de la bioactividad, actividad metabólica y mineralización por hPDLF y hBMSC [48].

Nanocomposites híbridos de polímero y BG, con los dos componentes indistinguibles por encima de la nanoescala, fueron recientemente fabricados por medio de procesos sol-gel: por medio de la disolución de polímeros preformados dentro de una solución precursora de sol-gel o bien formando simultáneamente tanto la fase orgánica como la inorgánica, a través de la polimerización sincronizada del monómero orgánico y del precursor sol-gel [34, 68]. Dependiendo de las interacciones entre las dos fases, estos híbridos pueden ser clasificados dentro de los Tipo I, basados en conjuntos de redes, enlaces de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals; y los híbridos de Tipo II, que poseen enlaces covalentes entre fases, además de otras interacciones y que, normalmente, son sintetizados por medio de la activación del polímero a través de un agente de acoplamiento al principio [68]. Biopolímeros como la gelatina, el poli(γ -ácido glutámico) y el quitosano han sido investigados para fabricar polímeros para hacer híbridos del Tipo II con BG, mostrando un importante incremento en sus propiedades mecánicas cuando son comparados con las muestras monofásicas [49, 69, 70]. Utilizando gelatina e induciendo térmicamente a la separación de fases, pueden ser creados nanocomposites híbridos en estructuras nanofibrilares con contenido de sílice variable (0-30% peso), mostrando buenas propiedades biológicas *in vitro* en términos de biodegradabilidad estabilizada, formación de apatito y biocompatibilidad [43].

LIBERACIÓN DE FÁRMACOS

Además de las propiedades ya mencionadas del BG, se están haciendo esfuerzos científicos para explorar el potencial de liberación de fármacos que los sistemas basados en BG pueden tener. La técnica sol-gel es comúnmente empleada para producir sistemas de BG no mesoporoso y MBG para la liberación de medicamentos. Aplicaciones

futuras podrían emplear los sistemas basados en BG como portadores de cápsulas y de la liberación controlada *in situ* de las moléculas bioactivas y los fármacos [71-73]. Estas moléculas pueden ser atrapadas en la red vítrea durante su fabricación bajo condiciones suaves, al igual que por medio de la técnica sol-gel, y entonces liberadas gradualmente en la disolución de BG. Una aproximación más versátil es inmovilizar las moléculas en la superficie del vidrio remojando el material de BG en una disolución de moléculas/medicamentos [71]. En esta segunda aproximación, químicos basados en el silanol o la fisisorción son utilizados comúnmente.

SISTEMAS CONVENCIONALES DE BG

Diferentes clases de compuestos han sido estudiados para poder actuar como biomoléculas o fármacos integrables dentro de un sistema no mesoporoso de BG. El primer intento exitoso reportado fue de integración de antibióticos, la tetraciclina y la hidrocortisona, dentro de una solución sol-gel, y fue llevada a cabo a temperatura ambiente para no modificar las moléculas de los medicamentos [74, 75]. A pesar de que fue notable una liberación del 12% en las primeras 8 horas, tetraciclinas asociadas a β -ciclodextrinas seguían siendo liberadas después de 80 días *in vitro*, mientras que en los estudios *in vivo* mostraron una moderada reacción antiinflamatoria [74]. En otro estudio, la tetraciclina era incorporada con hidrocortisona. Los resultados mostraron diferentes velocidades de liberación para los dos fármacos, pero no se encontraron interacciones de velocidades de liberación de un medicamento al otro [75].

Trabajos recientes estudian la integración de proteínas morfológicas en el hueso (BMP-2 y BMP-9) así como otras proteínas usadas como modelos [57, 76, 77]. Microesferas de BG 45S5 fueron introducidas en un sistema de liberación de colágeno de base gel para BMPs [76]. Interesante, este sistema retiene más del 96% de BMP-2 después de 1 hora, mientras que una matriz de esponja de colágeno común sólo retiene el 75% después de 3 horas. Además, la versatilidad del sistema fue probada liberando otra molécula tipo BMP (BMP-9). El inhibidor de la tripsina, una molécula similar en tamaño a los BMPs, puede ser cargada dentro del BG en un proceso sol-gel de un solo paso, produciendo una liberación de dos etapas: una lenta inicial por unas horas y una segunda rápida durante semanas [77]. La BSA y la lisozima han sido introducidas satisfactoriamente como proteínas modelo en nanotubos de BG producidos por medio de electrospinning, conservando la bioactividad tanto del BG como de la lisozima [57].

SISTEMAS MBG

Las estructuras MBG están generando un especial interés para aplicaciones de liberación de fármacos, ya que su gran ordenación mesoporosa alberga una complicada red de cavidades que pueden albergar diferentes tipos de moléculas para su posterior liberación, demostrando su potencial como sistemas de liberación controlada [72, 73]. Para mejorar el control sobre los perfiles de carga y liberación es posible funcionalizar las paredes de los mesoporos con procesos basados en el silanol [78].

Los métodos de preparación son muy importantes para el control de las propiedades de los sistemas de liberación de medicamentos con base de MBG. Por ejemplo, probando diferentes compuestos como la metoclopramida o el triclosán como mo-

delos de fármacos, el uso de surfactantes (P123, F127 o CTAB) conlleva a diferentes resultados en términos de volumen de poro y área específica, ambas propiedades influyen de una manera significativa la eficiencia de carga de los medicamentos [80, 81]. La eficiencia de la carga y la velocidad de la liberación dependen de la composición de la pieza, como quedó demostrado con el perfil de liberación de la tetraciclina desde MBG con diferentes contenidos de CaO [79].

Considerando las muchas aplicaciones que podrían tener estos sistemas, pocos estudios se han centrado en las propiedades de estimulación de tejidos de las piezas 3D de MBG. En un modelo de ratón, el BMP-2 fue incorporado satisfactoriamente en una estructura macro/mesoporosa de BG dopada con Ca/Mg, mostrando mejores resultados que las piezas sin ninguna carga, refiriéndose a pruebas *in vitro* para la diferenciación osteogénica de rBMSCs e *in vivo* para la capacidad de formación de hueso ectópico [82]. Piezas de MBG que contienen boro han sido funcionalizadas con DEX, un conocido fármaco osteogénico, y analizadas *in vitro*, con resultados que muestran mayores actividades de ALP y mayores expresiones génicas de osteoblastos humanos relacionados con el proceso osteogénico (Col I, Runx2, ALP y BSP) [23]. En otro estudio, donde el VEGF era liberado desde estructuras de MBG [83], los resultados obtenidos mostraban una mejora en la viabilidad de las células endoteliales *in vitro*, lo que podría ser una buena estrategia para intentar evitar la limitada vascularización que se suele dar en el centro de los implantes ortopédicos.

La liberación sostenida de fármacos antibióticos desde estructuras de MBG ha sido extensamente investigada. Nanofibras de MBG producidas por medio de la técnica de *electrospinning* usando óxido de polietileno como agente separador de fases, mostraba unas prometedoras propiedades bioactivas y podría ser fácilmente utilizado como liberador de gentamicina [56]. Microesferas de MBG pueden ser fabricadas y empleadas para ser rellenas y, posteriormente liberar triclosán con perfiles de velocidades modificables, dependiendo del tamaño de poro, a su vez relacionado con el método de preparación utilizado [81]. La ampicilina puede ser cargada en NPs de MBG mientras se conservan sus propiedades bactericidas, y así podría ser potencialmente utilizada como desinfectante para la limpieza de las raíces en el sistema de canales en tratamientos de endodoncias [84].

Las NPs de MBG también han sido utilizadas como sistemas de liberación de genes. NPs cargadas con pequeñas moléculas de ARN pueden ser fácilmente tomadas por las células, donde son capaces de regular el gen objetivo [85]. Estos resultados validan la utilización de NPs de MBG como un nuevo nanosistema de liberación de fármacos con un gran potencial de aplicación en ingeniería de tejidos óseos.

CONCLUSIONES

Para mejorar la salud y la calidad de vida de pacientes con problemas ortopédicos o dentales, nuevas estrategias y materiales son necesarios para abordar las complejas cuestiones relacionadas con el medio dental y óseo. En este artículo, se han descrito brevemente materiales de BG nanoestructurados, resumiendo las propiedades químicas y los efectos potenciales de la disolución de productos en el comportamiento de las células. Sus aplicaciones potenciales como implantes de tejido duro y la liberación de fármacos fueron examinados con especial hincapié en la utilización del BG, tanto sólo como composite con otros componentes.

El incremento en el número de artículos relacionados con este material evidencia el interés en el BG y está en continuo crecimiento, aunque las primeras composiciones de BG fueron creadas hace más de 40 años [1]. Además de las capacidades de fuerte adhesión al hueso y su bien caracterizada bioactividad debido a su disolución y su liberación de iones, las estructuras de BG se han visto nuevamente impulsadas gracias a la fabricación de MBG en 2006. Nuevas aplicaciones para el BG son ideadas para el tratamiento de problemas dentales y óseos, como traumas, infecciones o enfermedades como el cáncer o la osteoporosis [3, 72, 73]. Combinando las oportunidades de los experimentos a diferentes escalas (nano, meso, micro y macro) puede ser la clave para el diseño de nuevos biomateriales capaces de interactuar con complejos celulares en el interior del organismo y tener así una completa y rápida recuperación del paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hench, L.L. "The story of bioglass". *J Mater Sci Mater Med*, 2006. 17(11): 967-78.
- [2] Jones, J.R. "Review of bioactive glass: From hench to hybrids". *Acta Biomater*, 2012.
- [3] Yan, X. *et al.* "Highly ordered mesoporous bioactive glasses with superior *in vitro* bone-forming bioactivities". *Angew Chem Int Ed Engl*, 2004. 43(44): 5980-4.
- [4] Tran, N. y T.J. Webster. "Nanotechnology for bone materials". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009. 1(3): 336-351.
- [5] Tomsia, A.P. *et al.* "Nanotechnology approaches for better dental implants". *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 2011. 26(Suppl): 25-49.
- [6] Tomsia, A.P. *et al.* "Nanotechnology for dental implants". *Oral & Craniofacial Tissue Engineering*, 2012. 2(1): 23-34.
- [7] Dvir, T. *et al.* "Nanotechnological strategies for engineering complex tissues". *Nat Nanotechnol*, 2011. 6(1): 13-22.
- [8] Moghimi, S.M., A.C. Hunter, y J.C. Murray. "Nanomedicine: Current status and future prospects". *FASEB J*, 2005. 19(3): 311-30.
- [9] Li, R., A.E. Clark y L.L. Hench. "An investigation of bioactive glass powders by sol-gel processing". *J Appl Biomater*, 1991. 2(4): 231-9.
- [10] Sepulveda, P., J.R. Jones y L.L. Hench. "Characterization of melt-derived 45S5 and sol-gel-derived 58S bioactive glasses". *J Biomed Mater Res*, 2001. 58(6): 734-40.
- [11] Fu, Q. *et al.* "Bioactive glass scaffolds for bone tissue engineering: state of the art and future perspectives". *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2011. 31(7): 1245-1256.
- [12] Rahaman, M.N. *et al.* "Bioactive glass in tissue engineering". *Acta Biomater*, 2011. 7(6): 2355-73.
- [13] Wu, C. *et al.* "A comparative study of mesoporous glass/silk and non-mesoporous glass/silk scaffolds: physiochemistry and *in vivo* osteogenesis". *Acta Biomater*, 2011. 7(5): 2229-36.
- [14] Wu, C. *et al.* "The effect of mesoporous bioactive glass on the physiochemical, biological and drug-release properties of poly(DL-lactide-co-glycolide) films". *Biomaterials*, 2009. 30(12): 2199-208.
- [15] Cormack, A.N., *The structure of bioactive glasses and their surfaces, in bio-glasses*. 2012, John Wiley & Sons, Ltd. 65-74.

- [16] Mercier, C. *et al.* "Influence of P2O5 content on the structure of SiO₂-Na₂O-CaO-P2O₅ bioglasses by ²⁹Si and ³¹P MAS-NMR". *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2011. 357(24): 3901-3909.
- [17] Hill, R.G. y D.S. Brauer. "Predicting the bioactivity of glasses using the network connectivity or split network models". *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2011. 357(24): 3884-3887.
- [18] Hench, L.L. y J.M. Polak. "Third-generation biomedical materials". *Science*, 2002. 295(5557): 1014-7.
- [19] Hench, L.L. "Bioceramics". *Journal of the American Ceramic Society*, 1998. 81(7): 1705-1728.
- [20] Hench, L.L., I.D. Xynos y J.M. Polak. "Bioactive glasses for in situ tissue regeneration". *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 2004. 15(4): 543-562.
- [21] Hoppe, A., N.S. Guldal y A.R. Boccaccini. "A review of the biological response to ionic dissolution products from bioactive glasses and glass-ceramics". *Biomaterials*, 2011. 32(11): 2757-74.
- [22] Wang, X. *et al.* "Synthesis and characterization of hierarchically macroporous and mesoporous CaO-MO-SiO(2)-P(2)O(5) (M=Mg, Zn, Sr) bioactive glass scaffolds". *Acta Biomater*, 2011. 7(10): 3638-44.
- [23] Wu, C. *et al.* "Proliferation, differentiation and gene expression of osteoblasts in boron-containing associated with dexamethasone deliver from mesoporous bioactive glass scaffolds". *Biomaterials*, 2011. 32(29): 7068-78.
- [24] Wu, C. *et al.* "Multifunctional magnetic mesoporous bioactive glass scaffolds with a hierarchical pore structure". *Acta Biomater*, 2011. 7(10): 3563-72.
- [25] Zhu, Y. *et al.* "The effect of zirconium incorporation on the physicochemical and biological properties of mesoporous bioactive glasses scaffolds". *Microporous and Mesoporous Materials*, 2011. 143(2-3): 311-319.
- [26] Wu, C. *et al.* "Hypoxia-mimicking mesoporous bioactive glass scaffolds with controllable cobalt ion release for bone tissue engineering". *Biomaterials*, 2012. 33(7): 2076-85.
- [27] Wu, C. *et al.* "Copper-containing mesoporous bioactive glass scaffolds with multifunctional properties of angiogenesis capacity, osteostimulation and antibacterial activity". *Biomaterials*, 2013. 34(2): 422-33.
- [28] Han, P. *et al.* "The cementogenic differentiation of periodontal ligament cells via the activation of Wnt/beta-catenin signalling pathway by Li⁺ ions released from bioactive scaffolds". *Biomaterials*, 2012. 33(27): 6370-9.
- [29] Hupa, L. y A. Yli-Urpo. *Dental applications of glasses, in bio-glasses*. 2012, John Wiley & Sons, Ltd. 159-175.
- [30] Bellantone, M., H.D. Williams, y L.L. Hench. "Broad-spectrum bactericidal activity of Ag₂O-doped bioactive glass". *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2002. 46(6): 1940-1945.
- [31] El-Kady, A.M. *et al.* "Synthesis, characterization and microbiological response of silver doped bioactive glass nanoparticles". *Ceramics International*, 2012. 38(1): 177-188.
- [32] Navarro, M. *et al.* "Biomaterials in orthopaedics". *J R Soc Interface*, 2008. 5(27): 1137-58.
- [33] Boccaccini, A.R. *et al.* "Polymer/bioactive glass nanocomposites for biomedical applications: A review". *Composites Science and Technology*, 2010. 70(13): 1764-1776.

- [34] Valliant, E.M. y J.R. Jones. "Softening bioactive glass for bone regeneration: sol-gel hybrid materials". *Soft Matter*, 2011. 7(11): 5083.
- [35] Langer, R. y J. Vacanti. "Tissue engineering". *Science*, 1993. 260(5110): 920-926.
- [36] Fu, Q., E. Saiz, y A.P. "Tomsia, bioinspired strong and highly porous glass scaffolds". *Adv Funct Mater*, 2011. 21(6): 1058-1063.
- [37] Fu, Q., E. Saiz, y A.P. Tomsia. "Direct ink writing of highly porous and strong glass scaffolds for load-bearing bone defects repair and regeneration". *Acta Biomater*, 2011. 7(10): 3547-54.
- [38] Garcia, A. *et al.* "Preparation of 3-D scaffolds in the SiO₂-P₂O₅ system with tailored hierarchical meso-macroporosity". *Acta Biomater*, 2011. 7(3): 1265-73.
- [39] Wu, C. *et al.* "Three-dimensional printing of hierarchical and tough mesoporous bioactive glass scaffolds with a controllable pore architecture, excellent mechanical strength and mineralization ability". *Acta Biomater*, 2011. 7(6): 2644-50.
- [40] Liu, X. *et al.* "Porous and strong bioactive glass (13-93) scaffolds prepared by unidirectional freezing of camphene-based suspensions". *Acta Biomater*, 2012. 8(1): 415-23.
- [41] Wu, Z.Y. *et al.* "Melt-derived bioactive glass scaffolds produced by a gel-cast foaming technique". *Acta Biomater*, 2011. 7(4): 1807-16.
- [42] Midha, S. *et al.* "Bioactive glass foam scaffolds are remodelled by osteoclasts and support the formation of mineralized matrix and vascular networks *in vitro*". *Advanced Healthcare Materials*, 2012: n/a-n/a.
- [43] Drnovsek, N. *et al.* "Bioactive glass enhances bone ingrowth into the porous titanium coating on orthopaedic implants". *Int Orthop*, 2012. 36(8): 1739-45.
- [44] Liu, W., S. Thomopoulos y Y. Xia. "Electrospun nanofibers for regenerative medicine". *Adv Healthc Mater*, 2012. 1(1): 10-25.
- [45] Polini, A. *et al.* "Osteoinduction of human mesenchymal stem cells by bioactive composite scaffolds without supplemental osteogenic growth factors". *PLoS One*, 2011. 6(10): e26211.
- [46] Lu, H. *et al.* "Electrospun submicron bioactive glass fibers for bone tissue scaffold". *J Mater Sci Mater Med*, 2009. 20(3): 793-8.
- [47] Hong, Y. *et al.* "Fabrication and drug delivery of ultrathin mesoporous bioactive glass hollow fibers". *Advanced Functional Materials*, 2010. 20(9): 1503-1510.
- [48] Xie, J., E.R. Blough y C.H. Wang. "Submicron bioactive glass tubes for bone tissue engineering". *Acta Biomater*, 2012. 8(2): 811-9.
- [49] Quintero, F. *et al.* "Laser spinning of bioactive glass nanofibers". *Advanced Functional Materials*, 2009. 19(19): 3084-3090.
- [50] Maèkovia, M. *et al.* "Bioactive glass (type 45S5) nanoparticles: *in vitro* reactivity on nanoscale and biocompatibility". *Journal of Nanoparticle Research*, 2012. 14(7).
- [51] Lei, B. *et al.* "Versatile fabrication of nanoscale sol-gel bioactive glass particles for efficient bone tissue regeneration". *Journal of Materials Chemistry*, 2012. 22(33): 16906.
- [52] Srinivasan, S. *et al.* "Biocompatible alginate/nano bioactive glass ceramic composite scaffolds for periodontal tissue regeneration". *Carbohydrate Polymers*, 2012. 87(1): 274-283.
- [53] Luz, G.M. y J.F. Mano. "A nanotectonics approach to produce hierarchically organized bioactive glass nanoparticles-based macrospheres". *Nanoscale*, 2012. 4(20): 6293-7.
- [54] Wang, Z. *et al.* "The dentine remineralization activity of a desensitizing bioactive glass-containing toothpaste: An *in vitro* study". *Aust Dent J*, 2011. 56(4): 372-81.

- [55] Chiang, Y.C. *et al.* "A novel mesoporous biomaterial for treating dentin hypersensitivity". *J Dent Res*, 2010. 89(3): 236-40.
- [56] Xu, C. *et al.* "Biocompatibility and osteogenesis of biomimetic bioglass-collagen-phosphatidylserine composite scaffolds for bone tissue engineering". *Biomaterials*, 2011. 32(4): 1051-8.
- [57] Marelli, B. *et al.* "Accelerated mineralization of dense collagen-nano bioactive glass hybrid gels increases scaffold stiffness and regulates osteoblastic function". *Biomaterials*, 2011. 32(34): 8915-26.
- [58] Kim, H.W., J.H. Song y H.E. Kim. "Bioactive glass nanofiber-collagen nanocomposite as a novel bone regeneration matrix". *J Biomed Mater Res A*, 2006. 79(3): 698-705.
- [59] Lin, H.M., Y.H. Lin y F.Y. Hsu. "Preparation and characterization of mesoporous bioactive glass/polycaprolactone nanofibrous matrix for bone tissues engineering". *J Mater Sci Mater Med*, 2012.
- [60] Gerhardt, L.C. *et al.* "The pro-angiogenic properties of multi-functional bioactive glass composite scaffolds". *Biomaterials*, 2011. 32(17): 4096-108.
- [61] Misra, S.K. *et al.* "Effect of nanoparticulate bioactive glass particles on bioactivity and cytocompatibility of poly(3-hydroxybutyrate) composites". *J R Soc Interface*, 2010. 7(44): 453-65.
- [62] Roohani-Esfahani, S.I. *et al.* "Effects of bioactive glass nanoparticles on the mechanical and biological behavior of composite coated scaffolds". *Acta Biomater*, 2011. 7(3): 1307-18.
- [63] Mehdikhani-Nahrkhalaji, M. *et al.* "Novel nanocomposite coating for dental implant applications *in vitro* and *in vivo* evaluation". *J Mater Sci Mater Med*, 2012. 23(2): 485-95.
- [64] Ivanovski, S. "Periodontal regeneration". *Aust Dent J*, 2009. 54 Suppl 1: S118-28.
- [65] Mota, J. *et al.* "Chitosan/bioactive glass nanoparticle composite membranes for periodontal regeneration". *Acta Biomater*, 2012. 8(11): 4173-80.
- [66] Novak, B.M. "Hybrid Nanocomposite Materials? Between inorganic glasses and organic polymers". *Advanced Materials*, 1993. 5(6): 422-433.
- [67] Mahony, O. *et al.* "Silica-gelatin hybrids with tailorable degradation and mechanical properties for tissue regeneration". *Advanced Functional Materials*, 2010. 20(22): 3835-3845.
- [68] Poologasundarampillai, G. *et al.* "Bioactive silica-poly(γ -glutamic acid) hybrids for bone regeneration: effect of covalent coupling on dissolution and mechanical properties and fabrication of porous scaffolds". *Soft Matter*, 2012. 8(17): 4822.
- [69] Yang, B. *et al.* "Preparation and characterization of a novel chitosan scaffold". *Carbohydrate Polymers*, 2010. 80(3): 860-865.
- [70] Lei, B. *et al.* "Nanofibrous gelatin-silica hybrid scaffolds mimicking the native extracellular matrix (ECM) using thermally induced phase separation". *Journal of Materials Chemistry*, 2012. 22(28): 14133.
- [71] Hum, J. y A.R. "Boccaccini, bioactive glasses as carriers for bioactive molecules and therapeutic drugs: a review". *J Mater Sci Mater Med*, 2012. 23(10): 2317-33.
- [72] Vallet-Regi, M., I. Izquierdo-Barba y M. Colilla. "Structure and functionalization of mesoporous bioceramics for bone tissue regeneration and local drug delivery". *Philos Transact A Math Phys Eng Sci*, 2012. 370(1963): 1400-21.

- [73] Wu, C. y J. Chang. "Mesoporous bioactive glasses: Structure characteristics, drug/growth factor delivery and bone regeneration application". *Interface Focus*, 2012. 2(3): 292-306.
- [74] Domingues, Z.R. *et al.* "Bioactive glass as a drug delivery system of tetracycline and tetracycline associated with β -cyclodextrin". *Biomaterials*, 2004. 25(2): 327-333.
- [75] Andrade, A.L. *et al.* "Tetracycline and/or hydrocortisone incorporation and release by bioactive glasses compounds". *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2009. 355(13): 811-816.
- [76] Bergeron, E. *et al.* "Differentiation of preosteoblasts using a delivery system with BMPs and bioactive glass microspheres". *J Mater Sci Mater Med*, 2007. 18(2): 255-63.
- [77] Santos, E.M., S. Radin y D.P. "Sol-gel derived carrier for the controlled release of proteins". *Biomaterials*, 1999. 20(18): 1695-1700.
- [78] Hoffmann, F. *et al.* "Silica-based mesoporous organic-inorganic hybrid materials". *Angew Chem Int Ed Engl*, 2006. 45(20): 3216-51.
- [79] Zhao, Y.F. *et al.* "In situ SAXRD study of sol-gel induced well-ordered mesoporous bioglasses for drug delivery". *J Biomed Mater Res A*, 2008. 85(4): 1032-42.
- [80] Arcos, D. *et al.* "Ordered mesoporous microspheres for bone grafting and drug delivery". *Chemistry of Materials*, 2009. 21(6): 1000-1009.
- [81] Zhao, L. *et al.* "Mesoporous bioactive glasses for controlled drug release". *Microporous and Mesoporous Materials*, 2008. 109(1-3): 210-215.
- [82] Dai, C. *et al.* "Osteogenic evaluation of calcium/magnesium-doped mesoporous silica scaffold with incorporation of rhBMP-2 by synchrotron radiation-based μ CT". *Biomaterials*, 2011. 32(33): 8506-17.
- [83] Wu, C. *et al.* "Mesoporous bioactive glass scaffolds for efficient delivery of vascular endothelial growth factor". *J Biomater Appl*, 2012.
- [84] Fan, W. *et al.* "Porous Ca-Si-based nanospheres: A potential intra-canal disinfectant-carrier for infected canal treatment". *Materials Letters*, 2012. 81: 16-19.
- [85] El-Fiqi, A. *et al.* "Capacity of mesoporous bioactive glass nanoparticles to deliver therapeutic molecules". *Nanoscale*, 2012.

Observación de capas de grafeno mediante contraste óptico y dispersión Raman*

CLAUDIA BAUTISTA FLORES,¹ ROBERTO YSACC SATO BERRÚ,²
DOROTEO MENDOZA LÓPEZ³

RESUMEN: En este trabajo hemos usado la técnica de contraste óptico como herramienta de identificación preliminar y sencilla de capas de grafeno, la cual es más simple en comparación con la propuesta de otros autores y es validada con espectroscopia Raman. Para ello obtenemos grafeno y pocas capas de grafeno por exfoliación mecánica de grafito Kish. Adquirimos imágenes digitales, a través de un microscopio óptico, de las diferentes muestras depositadas sobre un sustrato de silicio con una película de óxido de silicio de 306.2 nm. Con un programa de análisis de imágenes adquirimos la componente verde de los números RGB, tanto de la muestra como del sustrato; con ello, calculamos el contraste óptico y determinamos el número de capas de grafeno. Logramos determinar de una a cuatro capas de grafeno.

PALABRAS CLAVE: Contraste óptico, capas de grafeno, electroscopia Raman.

ABSTRACT: We used the optical contrast technique to identify layers of graphene, in a simpler way in contrast with other authors; this technique was validated by Raman spectroscopy. Layers of graphene were obtained by mechanical exfoliation of Kish graphite, and were deposited on silicon substrate with a 306.2 nm film of silicon oxide. Digital images of these samples were taken to use green component of the RGB numbers in the optical contrast calculation. We can identify from one to four layers of graphene.

KEY WORDS: Optical contrast, layers of graphene, Raman spectroscopy.

INTRODUCCIÓN

El grafeno es un material bidimensional de átomos de carbono, una red tipo panal de abeja (figura 1a). Debido a que es un material bidimensional, se dudaba que pudiera existir en la naturaleza aislado del grafito en bulto (Landau, 1969). En 2004, Novoselov y Geim lograron separarlo del grafito usando exfoliación mecánica con cinta adhesiva (Novoselov *et al.*, 2004). La separación del grafeno del grafito y la serie de investigaciones que este equipo realizó, les valió la obtención del premio Nobel de Física en el 2010. Este material ha probado tener interesantes propiedades. Es el material más delgado que se ha encontrado, con un grosor de tan sólo 0.34 nm, un semiconductor sin brecha prohibida de energía y altamente conductor (Novoselov *et al.*, 2005). Los electrones en el material pueden viajar distancias submicrométri-

* Agradecemos el apoyo en la elaboración de este artículo al Laboratorio de Nanomateriales del CCADET-UNAM.

¹ Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), UNAM, Apartado postal 70-360, 04510 México, D. F. (claudiabautistaf@gmail.com), Tel. 55 48 45 49 21, Fax: 56161251.

² Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Circuito Exterior s/n, UNAM, Apdo. Postal 70-186, 04510, México, D. F. (roberto.sato@ccadet.unam.mx).

³ IIM-UNAM, (doroteo@unam.mx).

cas sin dispersarse (Geim, 2008). Presenta un efecto Hall cuántico fraccional (Yuanbo *et al.*, 2005) y la paradoja de Klein también se ha observado experimentalmente en el grafeno (Stander *et al.*, 2009). El grafeno es estructuralmente maleable, pero el esfuerzo y las deformaciones producen cambios en sus propiedades ópticas, electrónicas y fonónicas (Pereira *et al.*, 2008). Sólo absorbe el 2.3% de la luz, mientras que el 97.7% es transmitida (Nair *et al.*, 2008; Flores y Mendoza, 2011). En multicapas de grafeno se ha modulado la transmitancia óptica mediante una señal eléctrica (Benítez y Mendoza, 2013). Posee una conductividad mínima de $4e^2/h$ (Novoselov *et al.*, 2005; Nair *et al.*, 2008) puede ser deformado más de un 15 % (Pereira *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008), y es impermeable a gases (Bunch *et al.*, 2008). Debido a sus peculiares propiedades (Flores *et al.*, 2012), puede aplicarse principalmente en el área de la electrónica. Se han fabricado transistores de efecto de campo que operan a 100 GHz (Lin *et al.*, 2010) y sensores de tamaño micrométrico (Schedin *et al.*, 2007). Se puede usar en capacitores (Liu *et al.*, 2010), celdas solares (Wang *et al.*, 2008) y puntos cuánticos (Wang *et al.*, 2010; Geim *et al.*, 2007; Moriyama *et al.*, 2010; Ponomarenko *et al.*, 2008). En este trabajo presentamos la forma de producir grafeno por exfoliación mecánica partiendo de cristales de grafito y un método óptico para identificar el número de capas de grafeno, el cual se emplea de manera rutinaria antes de usar espectroscopia Raman (Yan *et al.*, 2007; Blake *et al.*, 2008, Alexeev *et al.*, 2013), por ello puede ser implementado en un laboratorio escolar que cuente con un microscopio óptico en el modo de reflexión y una cámara digital. Este método se compara y respalda satisfactoriamente empleando dispersión Raman, como un método alternativo para caracterizar al grafeno (Ferrari *et al.*, 2006).

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CONTRASTE ÓPTICO

El grafeno, depositado en un sustrato de silicio con óxido de silicio, se observó por primera vez en un microscopio óptico. Una técnica cuantitativa para determinar si lo que vemos al microscopio óptico es o no grafeno es la del contraste óptico (Blake *et al.*, 2007), el cual se define como:

$$C = \frac{I_s - I_g}{I_s} \tag{1}$$

En donde I_s es la intensidad de la luz reflejada por el sustrato, mientras que I_g la reflejada por las capas de grafeno sobre el sustrato. En la figura 1b se muestra un esquema del grafeno sobre el sustrato de silicio con óxido de silicio. En esta misma figura se observan rayos de luz que inciden en el sistema y otros que son reflejados por los diferentes materiales. n_0, n_1, n_2 y n_3 son los índices de refracción de cada material; d_1 es el grosor del o las capas de grafeno y d_2 el grosor del óxido de silicio.

Usando teoría de Fresnel, podemos calcular la intensidad de la luz reflejada por un sistema de 2 capas (grafeno y óxido de silicio) sobre un sustrato seminfinito (silicio), como el del esquema de la fig. 1b, tal intensidad tiene la siguiente forma (Anders, 1972):

$$I_G = \left| r^{(2)} e^{i\phi^{(2)}} \right|^2 = \left| \frac{r_1 + r_2 e^{-i\Delta_1} + r_3 e^{-i(\Delta_1 + \Delta_2)} + r_1 r_2 r_3 e^{-i\Delta_2}}{1 + r_1 r_2 e^{-i\Delta_1} + r_1 r_3 e^{-i(\Delta_1 + \Delta_2)} + r_2 r_3 e^{-i\Delta_2}} \right|^2 \tag{2}$$

Como la luz incide normalmente, los coeficientes de Fresnel tienen la siguiente forma:

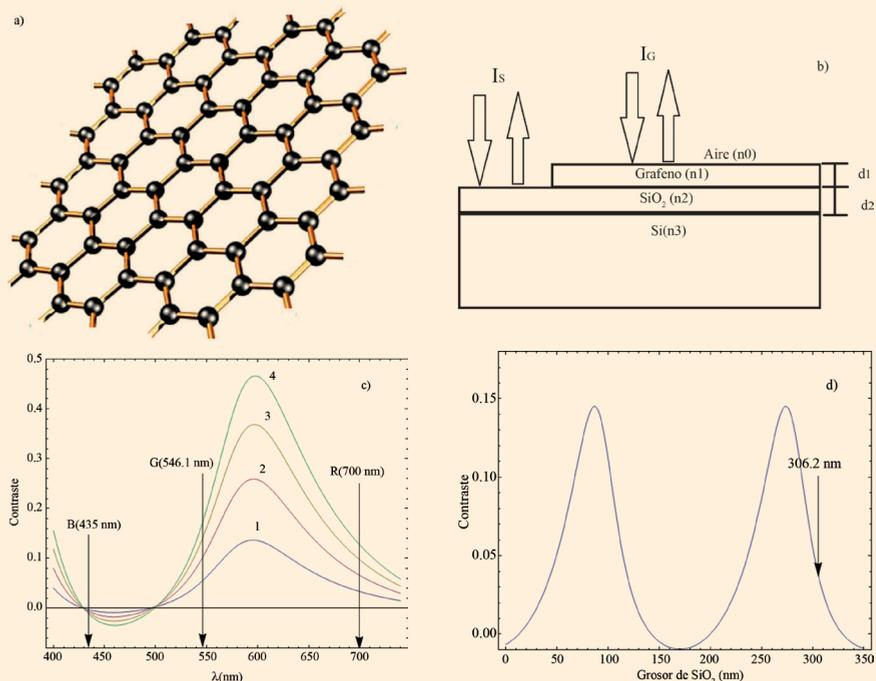
$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}, \quad r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad \text{y} \quad r_3 = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3} \quad (3)$$

Y los corrimientos de fases en el camino óptico dentro de la película son:

$$\Delta_1 = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda} \quad \text{y} \quad \Delta_2 = \frac{2\pi n_2 d_2}{\lambda} \quad (4)$$

Para la intensidad de la luz reflejada por el sustrato I_s , en (1) simplemente hacemos $n_1 = 1$, lo cual indica que el sistema sólo consiste de una capa de óxido de silicio sobre el sustrato infinito de silicio. Usamos $n_0 = 1$ como el índice de refracción del aire y $n_1 = 2.3 - i1.6$ para el grafeno (Palik, 1991). Los valores de n_2 y n_3 dependen de la longitud de onda (Palik, 1991), así que se deben ajustar al polinomio que mejor se ajuste y sustituirlos donde correspondan en (3) y (4). En nuestro caso usamos $n_2 = 1.4601$ y $n_3 = 4.097 - i0.044$, cuando la longitud de onda usada fue de 546.1 nm.

FIGURA 1. a) Red tipo panal de abeja de átomos de carbono; b) Esquema de grafeno sobre un sustrato de silicio con óxido de silicio. I_s es la intensidad de la luz reflejada por el sustrato formado por una capa de SiO₂ sobre un sustrato seminfinito de Si. I_G es la intensidad de la luz reflejada por grafeno, con un grosor de $d_1 = 0.34$ nm, sobre el sustrato descrito anteriormente; c) contraste óptico calculado para el esquema en b), los números en las gráficas corresponden al número de capas de grafeno; d) contraste óptico contra grosor de óxido de silicio, correspondiente a una sola capa de grafeno y una longitud de onda incidente de 546.1 nm. En la figura se señala el contraste para el caso de 306.2 nm de óxido de silicio.



Sustituyendo I_G y I_S para un grosor de 306.2 nm (medido con elipsometría) para el SiO_2 , se encuentra que el contraste tiene la forma de la fig. 1c; donde se ha usado que el grosor del grafeno es de 0.34 nm. Para el grosor de n capas, multiplicamos el grosor del grafeno por n . Es necesario aclarar que es posible emplear otros grosores de la capa de óxido de silicio (los que se pueden encontrar comercialmente) pues como se presenta en la fig. 1d, el valor del contraste óptico cambia al variar el grosor del óxido de silicio, obteniéndose valores óptimos de grosor en 90 y 275 nm, en la literatura se mencionan como valores óptimos a 90 y 280 nm (Blake *et al.*, 2007).

Necesitamos conocer cuantitativamente la intensidad de la luz reflejada para determinar el número de capas de grafeno que estamos observando. Una idea inmediata sería, iluminar a la muestra con luz monocromática y medir las distintas intensidades de la luz reflejada. Por el proceso de exfoliación, sólo se pueden obtener muestras de grafeno, o pocas capas de grafeno, de algunas decenas de micras cuadradas en área; realizar experimentos ópticos con muestras muy pequeñas, sin el empleo de equipo sofisticado, resulta muy complicado. Una alternativa es adquirir imágenes de las capas de grafeno, vistas al microscopio, y analizar los colores de la imagen con el sistema de color RGB, tal técnica ya se ha propuesto por otros autores (Abergel *et al.*, 2007; Bruna *et al.*, 2008; Craciun *et al.*, 2009), pero para lo propuesto en este trabajo, no se requiere de iluminar monocromáticamente la muestra. Cabe destacar, que el contraste óptico se ha empleado para determinar el número de capas de otros materiales laminares, como diseleniuro de tántalo (2H-TaSe_2) (Hajiyev *et al.*, 2013).

Las imágenes adquiridas en el microscopio óptico se pueden analizar con el modelo de color RGB, para tal modelo, el color (C) de cada pixel es una combinación de R unidades del color primario R, G unidades del primario G, y B unidades del primario B (*red, green y blue*, por sus siglas en inglés, respectivamente).

Los términos RGB definen un conjunto particular de colores primarios. Los términos RGB indican las cantidades de los primarios requeridos para combinar el color, y son conocidos como valores de triestímulo. El modelo de color RGB se construyó a partir de la percepción humana del color, para tal modelo se utilizaron primarios monocromáticos de longitudes de onda 435.8 nm (B), 546.1 nm (G) y 700 nm (R), una convención establecida por la Comisión Internacional en Iluminación (CIE, por sus siglas en inglés) (D. Fairchild, 2005). Nosotros asociamos por lo tanto a R, G y B, las longitudes de onda de R G y B. Entonces usaremos $\lambda = 546.1 \text{ nm}$ en (4), pues el contraste óptico es mayor para esta longitud de onda, como se ve en la fig. 1c. Se deben emplear los valores de los índices de refracción adecuados del silicio y óxido de silicio a esta longitud de onda.

Asociamos una longitud de onda fija con la finalidad de hacer los cálculos del contraste óptico lo más sencillos posibles. Precisamente nuestros resultados muestran que la aproximación es buena al compararla con la espectroscopia Raman (como se verá más adelante). En Ref. (Ying Wang *et al.*, 2012) se usa un intervalo de longitudes de onda para cada componente del sistema RGB.

Por otro lado, la espectroscopia Raman es una herramienta muy útil para determinar el número de capas de grafeno, en general para determinar estructuras de carbono (Ferrari *et al.*, 2006). Las bandas principales de grafeno G y 2D se localizan en 1580 cm^{-1} y 2700 cm^{-1} , respectivamente. La banda G está asociada con una doble degeneración de modos fonónicos (simetría E_{2g}) en el centro de la zona de Brillouin (Tuinstra *et al.*, 1970; Malard, *et al.*, 2009). La banda 2D es el sobre-tono de la banda D, la cual se localiza en 1350 cm^{-1} , y está asociada al desorden estructural en el grafeno o a efec-

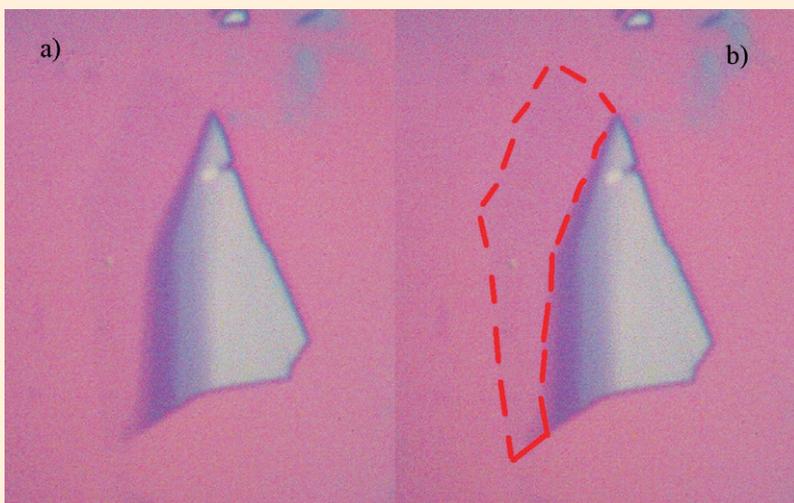
tos de borde. Entonces una muestra de grafeno, libre de defectos, no presenta la banda D. La intensidad y la forma de las bandas G y 2D ayudan a determinar el número de capas de grafeno, por ejemplo, para una capa de grafeno la banda 2D es de 3 a 4 veces más intensa que la banda G (Ferrari *et al.*, 2006).

MÉTODO EXPERIMENTAL

Obtenemos grafeno y pocas capas de grafeno a través de la exfoliación mecánica de grafito Kish. El proceso de exfoliación se puede observar a través de internet para una mejor comprensión (<https://www.youtube.com/watch?v=K107I1iK048> Grafeno Graphene (2012)). Al observar la superficie del sustrato en un microscopio óptico con el objetivo de aumento $\times 100$ (Matsuzawa modelo MXT30-UL), se pueden encontrar estructuras como la de la fig. 2. En esta figura se muestra una imagen común de grafeno (región delimitada por las líneas rojas punteadas) y varias capas de grafeno (parte derecha de la zona punteada) iluminadas con luz blanca. Las imágenes han sido adquiridas con una cámara digital Celestron 44421. Se aprecian distintos colores, en particular, el color rosa de las orillas corresponde al sustrato. Como el grafeno es muy delgado, al observarlo en el microscopio óptico, debemos esperar tonalidades cercanas al sustrato, rosas en este caso. Estas imágenes son analizadas en un programa que nos pueda dar los valores RGB de cada pixel de la imagen, en nuestro caso usamos el programa Corel Draw Photo Paint X5.

Para cada tonalidad rosa de la imagen tomamos 50 lecturas del número G, sustrato y capas de grafeno; pues para un sustrato de silicio con 306.2 nm de óxido de silicio, el contraste óptico máximo se encuentra en las longitudes de onda cercanas al verde, ver fig. 1c. Estos 50 datos se promedian y corresponderán a I_s e I_G en la ecuación (1),

FIGURA 2. a) capas de grafeno sobre un sustrato de silicio con una película de óxido de silicio con grosor de 306.2 nm, visto a través de un microscopio óptico con aumentos de objetivo $\times 100$. En b) se delimita con líneas rojas punteadas la zona que corresponde a grafeno, las zonas de la derecha corresponde a varias capas de grafeno.



la intensidad de la luz reflejada por el sustrato y las capas de grafeno respectivamente. Se ha sugerido el empleo del programa GIMP para seleccionar de manera libre una determinada zona en las imágenes y obtener el valor promedio de cada color RGB, esto facilita y simplifica de manera considerable la cuantificación del contraste óptico.⁴

El contraste correspondiente al número R también es alto, nosotros sólo hemos usado la componente G; podría también definirse al contraste óptico como una combinación de R y G como en la referencia (Craciun *et al.*, 2009).

Ponemos marcas con una punta de diamante empleando un indentador (Matsuzawa modelo MXT30-UL) alrededor de las muestras de grafeno para hallarlas con mayor facilidad en el microscopio del equipo Raman. Se toman espectros Raman, de las mismas muestras que se han usado para el contraste óptico, con un láser de 532 nm (NICOLET AlmaG XR Raman Dispersivo). Analizamos la forma e intensidad de las bandas G y 2D para determinar el número de capas de grafeno a las que corresponde cada espectro, un análisis muy completo de la espectroscopia Raman de grafeno se puede consultar en la referencia (Malard *et al.*, 2009). Posteriormente comparamos el resultado con el contraste óptico.

RESULTADOS

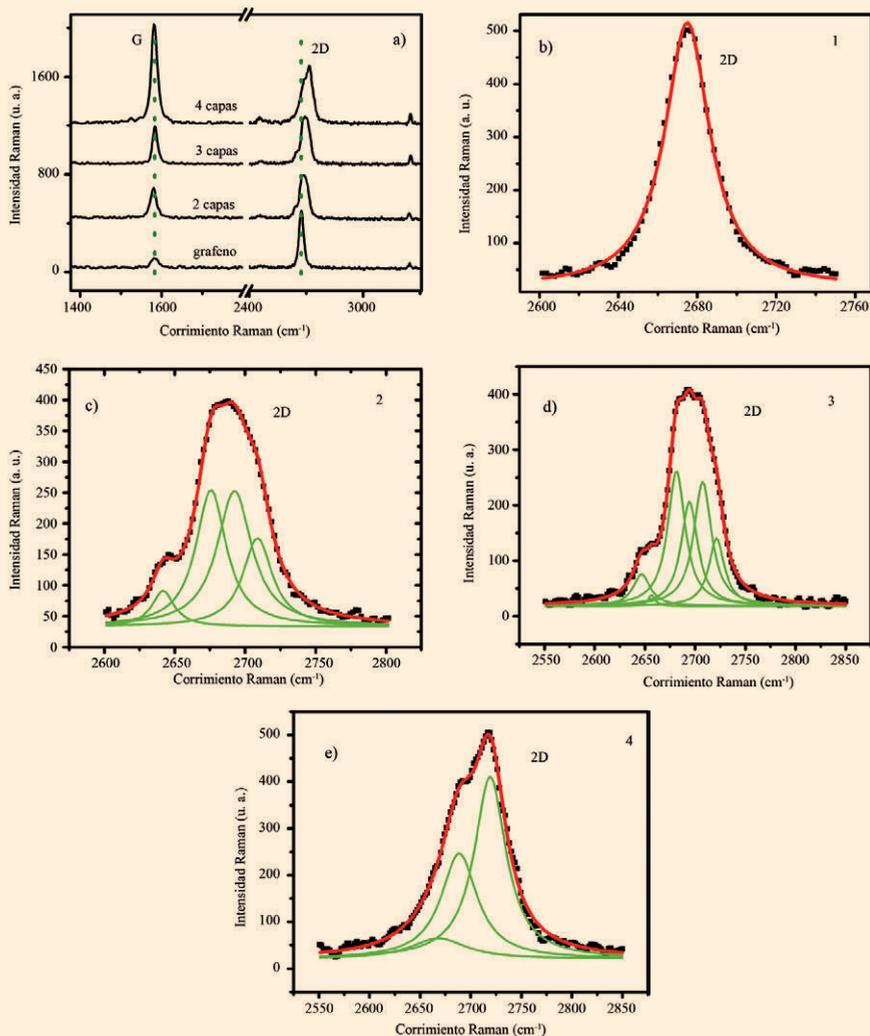
Como se ha mencionado, la espectroscopia Raman es indispensable para validar los resultados del contraste óptico, es la prueba definitiva en la determinación del número de capas de grafeno. En la fig. 3a se muestran espectros Raman de 1 a 4 capas de grafeno. A medida que el número de capas aumenta, la intensidad de las bandas principales G y 2D varía. La banda G se intensifica, mientras que la banda 2D se ensancha, y se recorre hacia mayores frecuencias.

Para el grafeno, la banda 2D se puede ajustar a una sola lorentziana, mientras que para la bicapa de grafeno es necesario ajustarla a 4 lorentzianas. Para 3 capas de grafeno la banda 2D se ajusta con 6 lorentzianas, y para 4 capas con 3 lorentzianas se reproduce adecuadamente (Malard *et al.*, 2009). De esta manera, podemos identificar con espectroscopia Raman el número de capas de grafeno a las que corresponde cada espectro. Usamos el cociente de las intensidades de las bandas G y 2D para determinar el número de capas a las que corresponde un espectro Raman (Ferrari *et al.*, 2006; Gupta *et al.*, 2006).

En la fig. 3a también se puede apreciar que la banda G casi no se modifica al variar el número de capas de grafeno, mientras que sí existe un claro corrimiento de la banda 2D (Ferrari, 2007). Esto hace notar que la posición de la banda 2D también se puede usar para determinar el número de capas de grafeno. En la fig. 4a se grafica la posición de la banda G de cada muestra, los primeros 17 datos corresponden a grafeno y los siguientes 20 a bicapa de grafeno. En promedio, para grafeno la banda G se ubica en 1583.5 cm^{-1} , y para la bicapa de grafeno en 1582.12 cm^{-1} . En la fig. 4b se presentan las posiciones de la banda 2D. Para grafeno esta banda, en promedio, aparece en 2673.68 cm^{-1} , mientras que para la bicapa de grafeno en 2696.20 cm^{-1} . La diferencia en la posición de esta banda entre grafeno y bicapa es de 22.52 cm^{-1} , en nuestro caso.

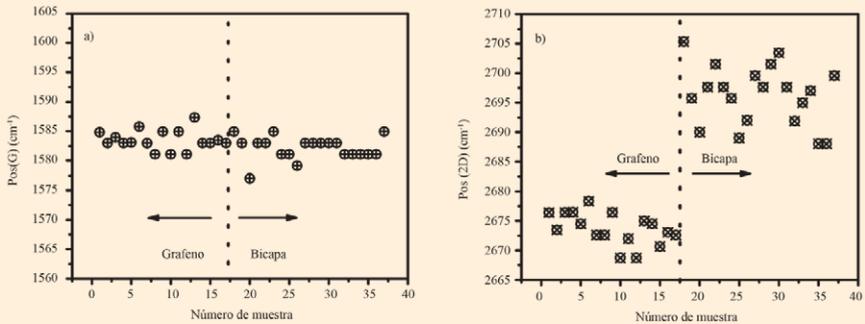
⁴ Sugerido por Mario A. Torres Oviedo, estudiante del posgrado en ciencias físicas, UNAM.

FIGURA 3. a) Espectros Raman de las capas de grafeno. Ajustes de la banda 2D para b) grafeno, c) 2 capas, d) 3 capas y, e) 4 capas de grafeno.



Una vez analizado el espectro Raman de las muestras, comparamos el contraste óptico contra el cociente de las intensidades Raman de las bandas G y 2D y con la posición de la banda 2D. Estos resultados se resumen en la fig. 5. Ambas graficas muestran una correlación positiva entre el contraste óptico y la información del espectro Raman. Tomamos un promedio del contraste óptico de las muestras que con espectroscopia Raman resultaron ser grafeno y bicapa de grafeno. El contraste óptico promedio con su correspondiente desviación estándar es 3.9 ± 1.06 y 6.01 ± 0.901 para el grafeno y la bicapa de grafeno, respectivamente, mientras que los valores teóricos son 3.57 y 6.52, respectivamente.

FIGURA 4. a) Posición de la banda G para grafeno (primeras 17 muestras) y bicapa de grafeno; la posición de la banda G casi no varía con el número de capas de grafeno. b) Variación de la posición de la banda 2D para grafeno y bicapa de grafeno; la banda 2D se modifica sustancialmente con el número de capas de grafeno.

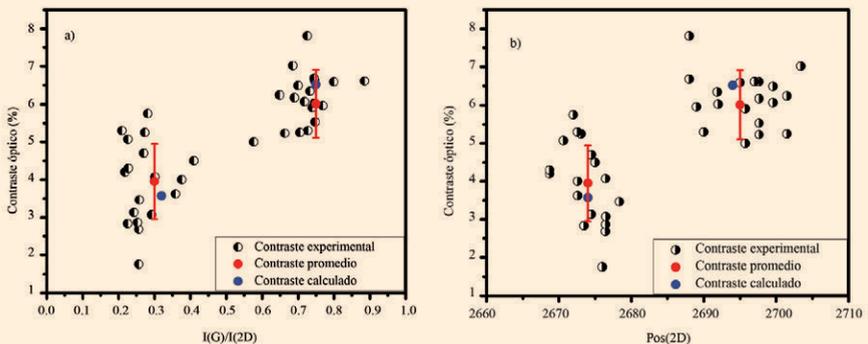


Existen dos observaciones importantes del análisis de los resultados presentados en la fig. 5. Primera, que de la espectroscopia Raman (intensidades relativas de las bandas G, 2D y posición de la banda 2D) se nota claramente que los datos se agrupan para identificar una y dos capas de grafeno; por lo tanto la espectroscopia Raman define de manera inequívoca el número de capas de grafeno. La segunda observación es que el valor del contraste teórico cae dentro de la banda de la desviación estándar de los datos medidos experimentalmente y corroborados con la espectroscopia Raman; esto da un alto grado de confiabilidad de la técnica del contraste óptico.

En nuestras experiencias en el laboratorio, en la pre identificación, establecimos entonces que mientras el contraste óptico se encuentre entre 2.8 y 5 % aseguramos que se trata de grafeno.

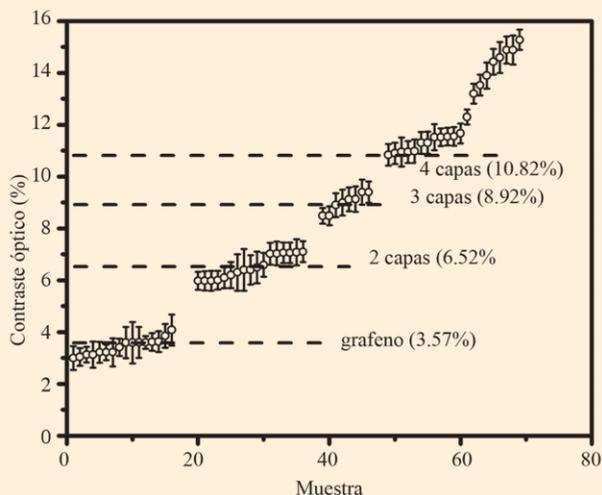
La técnica del contraste óptico permite darnos una idea aproximada del número de capas de grafeno, cabe aclarar que es necesario corroborar con la espectroscopia Raman en caso de requerir muestras de grafeno para otro tipo de estudios.

FIGURA 5: a) Contraste óptico contra cociente de intensidades Raman de las bandas G y 2D. b) Contraste óptico contra posición de la banda 2D.



Una vez probado con espectroscopia Raman la confiabilidad del contraste óptico en la determinación del número de capas de grafeno, evaluamos muchas más muestras como se observa en la fig. 6. Las líneas horizontales corresponden al contraste óptico teórico. Se muestra que es posible identificar de 1 a 4 capas de grafeno usando la componente verde del número RGB. Los valores del contraste óptico que se alejan del valor teórico pueden surgir por 2 razones: 1) por residuos de la cinta adhesiva usada en la exfoliación mecánica de grafito o 2) por mala adherencia de las capas del grafeno en el sustrato.

FIGURA 6. Contraste óptico, las líneas horizontales muestran el valor teórico.



Sugerimos además tener cuidado con: 1) la iluminación en el microscopio óptico, esto es, tratar de usar siempre la misma intensidad; 2) el enfoque de las muestras en el microscopio, 3) defectos de la óptica del microscopio empleado (aberraciones cromáticas, por ejemplo). Cabe aclarar que será necesario emplear espectroscopia Raman para calibrar el método del contraste óptico tomando en cuenta las condiciones específicas de cada laboratorio; por ejemplo, el grosor del óxido de silicio, la óptica del microscopio y la cámara empleada. Pero una vez hecha la comparación entre ambas técnicas, la del contraste óptico expuesta en el presente trabajo se puede emplear como una técnica rutinaria de preidentificación del grafeno.

CONCLUSIÓN

La espectroscopia Raman es la herramienta ideal en la determinación del número de capas de grafeno. El método del contraste óptico propuesto en este trabajo resulta adecuado para hacer una determinación inicial del número de capas de grafeno, de una a cuatro capas. Por otro lado, la espectroscopia Raman es la herramienta que respalda los resultados obtenidos por el contraste óptico, mostrando que éste último es

un método aproximado en el cálculo del número de capas de grafeno. Consideramos entonces que es primordial que cualquiera que desee introducirse en el campo de estudio del grafeno, debe necesariamente usar un método visual de determinación del número de capas de grafeno. A diferencia de las propuestas del contraste óptico de otros autores, el método aquí presentado es sencillo y apropiado para realizarse como una práctica de laboratorio a nivel licenciatura en física y en carreras afines.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abergel, D S. L. (2007) "Visibility of graphene flakes on a dielectric substrate". *Applied Physics Letters*, vol. 91, 063125.
- Anders, H. (1972) *Thin films optics*. London: Focal Press.
- Alexeev, E. *et al.* (2013) "Photo-induced doping and strain in exfoliated graphene". *Applied Physics Letters*, vol. 103, 151907.
- Benitez, J. L. y Mendoza, D. (2013) "Modulation of the optical transmittance in multilayer graphene by an electrical signal". *Applied Physics Letters*, vol. 103, 083116.
- Blake, P. *et al.* (2008) "Graphene-based liquid crystal device". *Nano Letters*, vol. 8, núm. 6, 1704.
- Blake, P. *et al.* (2007) "Making graphene visible". *Applied Physics Letters*, vol. 91, 063124.
- Bruna, M. y Borini, S. (2009) "Optical constants of graphene layers in the visible range". *Applied Physics Letters*, vol. 94, 031901.
- Bunch, J. S. *et al.* (2008) "Electromechanical Resonators from Graphene Sheets". *Science*, vol. 315, 490.
- Craciun, M. F. *et al.* (2009) "Trilayer graphene is a semimetal with a gate-tuneable band overlap". *Nature Nanotechnology*, vol. 94, 0311901.
- D. Fairchild, M. (2005) *Color appearance models*. Londres: John Wiley & Sons.
- Ferrari, A. C. *et al.* (2006) "Raman spectrum of graphene and graphene layers". *Physical Review Letters*, vol. 97, 187401.
- Ferrari, A. C. (2007) "Raman spectroscopy of graphene and graphite: Disorder, electron-phonon coupling, doping and nonadiabatic effects". *Solid State Communications*, vol. 143, 47.
- Flores, C. B. y Mendoza, D. (2011) "Multilayer graphene synthesized by CVD using liquid hexane as the carbon precursor". *World Journal of Condensed Matter Physics*, vol. 1, 157.
- Flores, C. B. *et al.* (2012) "Grafeno: un material con potencial para la tecnología electrónica del futuro". *Materiales Avanzados*, núm. 19, 17.
- Geim, A. K. y Novoselov, K. S. (2007) "The rise of graphene". *Nature*, vol. 6, 183.
- Geim A. K y Kim, P. (2008) "Carbon Wonderland". *Scientific American*, vol. 298, 90.
- Grafeno Graphene (2012) <<https://www.youtube.com/watch?v=h9KvTgidDzg>>.
- Gupta, A. *et al.* (2006) "Raman scattering from high-frequency phonons in supported n-graphene layer films". *Nano Letters*, vol. 6, núm. 12, 2667.
- Hajiyev, P. *et al.* (2013) "Contrast and Raman spectroscopy study of single- and few-layered charge density wave material: 2H-TaSe₂". *Scientific Reports*, vol. 3, 2593.
- Landau, L. D. (1969) *Mecánica estadística*. Barcelona: Reverté.
- Lee, C. *et al.* (2008) "Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene". *Science*, vol. 321, 385.

- Lin, Y. M. *et al.* (2010) "100-GHz Transistors from wafer-scale epitaxial graphene". *Science*, vol. 327, 662.
- Liu, C. *et al.* (2010) "Graphene-based supercapacitor with an ultrahigh energy density". *Nano Letters*, vol. 10, núm. 12, 4863.
- Malard, L. M. *et al.* (2009) "Raman spectroscopy in graphene". *Physics Reports*, vol. 473, 51.
- Moriyama, S. *et al.* (2010) "Fabrication of quantum-dot devices in graphene". *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 11, 054601.
- Nair, P. P. *et al.* (2008) "Fine structure constant defines visual transparency of graphene". *Science*, vol. 320, 1308.
- Novoselov, K. S. *et al.* (2004) "Electric field effect in atomically thin carbon films". *Science*, vol. 306, 666.
- Novoselov, K. S. *et al.* (2005) "Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene". *Nature*, vol. 438, 197.
- Palik, E. D. (1991) *Handbook of optical constants of solids*. New York: Academic Press.
- Pereira, V. M. *et al.* (2008) *Physical Review B*, vol. 77, 115109.
- Ponomarenko, L. A. *et al.* (2008) "Chaotic Dirac billiard in graphene quantum dots". *Science*, vol. 320, 356.
- Schedin, F. *et al.* (2007) "Detection of individual gas molecules adsorbed on graphene". *Nature*, vol. 6, 652.
- Stander, N. *et al.* (2009) "Evidence for Klein tunneling in graphene p-n junctions". *Physical Review Letters*, vol. 102, 026807.
- Tuinstra, F. y Koenig, J. L. (1970) "Raman spectrum of graphite". *Journal of Chemical Physics*. vol. 53, núm. 3, 1126.
- Wang, L. J. *et al.* (2010) "A graphene quantum dot with a single electron transistor as an integrated charge sensor". *Applied Physics Letters*, vol. 97, 262113.
- Wang, X. *et al.* (2008) "Transparent, conductive graphene electrodes for dye-sensitized solar cells". *Nano Letters*, vol. 8, núm. 1, 323.
- Yan, J. *et al.* (2007) "Electric field effect tuning of electron-phonon coupling in graphene". *Physical Review Letters*, vol. 98, núm. 16, 166802.
- Ying Wang, Y. *et al.* (2012) "Thickness identification of two-dimensional materials by optical imaging". *Nanotechnology*, vol. 23, 495713.
- Yuanbo, Z. *et al.* (2005) "Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene". *Nature*, vol. 438, 201.

Influencia de las nanopartículas de sílice en polímeros termoplásticos

DR. JOSÉ VEGA BAUDRIT,¹ DR. JOSÉ MIGUEL MARTÍN MARTÍNEZ,²
QUÍM. MELISSA CAMACHO ELIZONDO³

RESUMEN: En este trabajo se prepararon sílices con distinto grado de hidrofiliidad para reducir el grado de interacción con el poliuretano y analizar la incidencia en las propiedades de los materiales compuestos obtenidos.

Se incorporó una sílice pirogénica hidrófila a adhesivos de poliuretano con distinta relación NCO/OH donde el grado de separación de fases se vio favorecido en todos los poliuretanos, indicando una posible interacción de los grupos silanol de la sílice mediante enlaces de hidrógeno con el polímero. Por lo tanto, debería existir una variación de propiedades en los poliuretanos como respuesta a la presencia de la sílice dispersada.

PALABRAS CLAVE: adhesivos, poliuretanos, nanosílices, nanomateriales, nanotecnología.

ABSTRACT: In this work we have prepared silicas with different hydrophilicity to reduce the degree of interaction with the polyurethane and analyze the effect on the properties of the composites obtained.

A hydrophilic pyrogenic silica was incorporated in different polyurethane adhesives with different relation NCO/OH where the degree of phase separation is enhanced at all polyurethanes, indicating a potential interaction of the silanol groups of the silica by hydrogen bonding with the polymer. Therefore, there should be a variation in properties as polyurethanes response to the presence of the dispersed silica.

KEY WORDS: adhesives, polyurethanes, nano silica, nanomaterials, nanotechnology.

INTRODUCCIÓN

Los poliuretanos son el producto de la condensación de un poliisocianato con un poliol, en presencia de otras sustancias. Dependiendo del uso al que se destine el poliuretano y de las propiedades deseadas, se han desarrollado varios tipos de poliuretanos. Las aplicaciones como adhesivos se derivan de la baja viscosidad y alta polaridad del material de partida. En general, se busca una buena penetración del sustrato, una fácil polimerización a temperatura ambiente, una variada estructura segmentada y una adecuada polaridad. Finalmente, todas estas características imparten a los adhesivos adecuados puntos de unión al sustrato (adhesión) y una alta fuerza cohesiva del poliuretano consigo mismo (cohesión). Los adhesivos de poliuretano son empleados en la industria de calzado en la unión suela/corte, entre otras aplicaciones.

¹ Investigador, Laboratorio de Polímeros, POLIUNA, Universidad Nacional. Costa Rica. (jvegab@gmail.com).

² Investigador, Laboratorio de Adhesión y Adhesivos, Departamento de Química Inorgánica, Universidad de Alicante. España.

³ Investigadora, Laboratorio Nacional de Nanotecnología, LANOTEC, Costa Rica. (Kmce08@gmail.com).

Los adhesivos de poliuretano termoplásticos (TPU), basados en 4,4' difenil metano diisocianato (MDI) y poliésteres, utilizando 1,4-butanodiol como agente extendedor de la cadena, han sido ampliamente estudiados [1, 2].

Los poliuretanos termoplásticos son materiales poliméricos segmentados que, por lo general, exhiben buenas propiedades mecánicas, elásticas, y de dureza, entre otras. Los TPUS usualmente exhiben una microestructura de dos fases, producto de la incompatibilidad entre los segmentos duros y blandos. Los segmentos duros (constituidos por la reacción de MDI y el extendedor de cadena) generan zonas o dominios semicristalinos, mientras que los segmentos blandos (constituidos por las cadenas de poliol) están caracterizados por ser amorfos, y están dispersos entre los segmentos duros. Estos últimos pueden actuar como puntos de entrecruzamiento físico, mientras que los segmentos blandos se comportan como la matriz flexible. Esta separación de microfases produce una mejora de las propiedades mecánicas.

El grado de separación de fases no sólo depende de la relación NCO/OH, sino también del tipo de extendedor de la cadena, peso molecular del segmento blando, formación de enlaces de hidrógeno entre los enlaces uretano, proceso de síntesis, y utilización de cargas, entre otros. Las sílices pirogénicas son un buen ejemplo de estas cargas pues presentan grupos siloxano y grupos silanol en su superficie. Los grupos siloxano son responsables del carácter elevadamente inerte de la sílice, mientras que los grupos silanol le conceden propiedades hidrofílicas [1].

En trabajos anteriores, se ha demostrado que la adición de sílices pirogénicas es de gran utilidad para mejorar sus propiedades de adhesión [1-3]. Se ha postulado la existencia de enlaces de hidrógeno entre los grupos silanol de la superficie de la sílice y los grupos uretano o hidroxilo de las cadenas de poliéster del poliuretano. Para verificar esta hipótesis, en este trabajo se han preparado sílices con distinto grado de hidrofiliidad para reducir el grado de interacción con el poliuretano y analizar la incidencia en las propiedades de los materiales compuestos obtenidos.

METODOLOGÍA

En la tabla 1 se muestran las sílices estudiadas. Estas sílices fueron preparadas por Wacker-Chemie/Burghausen, Alemania, partiendo de una sílice pirogénica totalmente hidroxilada (HDK N20) y tratándola con un silano para reducir el número de grupos silanol en la superficie.

TABLA 1. Propiedades de las sílices utilizadas^(a)

Muestra	SiOH (%)	mmol SiOH/g HDK	mmol SiOH/m ²
HDK N20	100	0.60	2.99
HDK H20	57.5	0.34	1.72
HDK H20RD	15.5	0.09	0.46

^(a) Radio primario de partícula = 7 nm.

Fuente: Datos suministrados por Wacker-Chemie.

CARACTERIZACIÓN DE LAS SÍLICES

La superficie específica de las sílices fue obtenida por aplicación de la ecuación BET a las isotermas de adsorción de nitrógeno a 77K (-196 °C). Estas isotermas se obtuvieron en un sistema Quantachrome. Las sílices se degasificaron a 100 °C durante 8 horas a 10^{-6} torr.

La química de las sílices se analizó mediante espectroscopia IR con transformada de Fourier. Se utilizó un espectrofotómetro Bruker Tensor 27 con una relación señal ruido de 0.04%T (a 2000 cm^{-1}), en modo de transmisión, utilizando pastillas de KBr previamente desecado a 100 °C.

SÍNTESIS DE LOS POLIURETANOS

Los reactivos utilizados han sido poliadipto de 1,4-butanodiol (Hoopol F-530, Hoocker) como polioli, el isocianato MDI (98% de pureza, Aldrich), y 1,4-butanodiol (99%, Aldrich) como extendedor de la cadena. Se empleó una relación NCO/OH de 1,05. Se utilizó un reactor de vidrio encamisado con un sistema de agitación mecánico a 80 rpm y la temperatura se mantuvo constante a 65 °C. La reacción se llevó a cabo durante 90 minutos, en atmósfera de nitrógeno seco. Finalizada la reacción, el poliuretano fue completamente curado (*annealing*) en un horno durante 12 horas a 80 °C.

PREPARACIÓN DE LOS ADHESIVOS

Se adicionó un 20% en peso de poliuretano, y un 2% en peso de sílice pirogénica, utilizando 2-butanona (MEK) como disolvente. Las disoluciones de adhesivo fueron preparadas utilizando un agitador mecánico Cowles. Se mezcló la sílice con 1/3 del volumen final del disolvente a una velocidad de agitación de 2,500 rpm, durante 15 minutos. Por último, se adicionó el poliuretano y los 2/3 restantes del MEK, agitándose a 2,000 rpm durante 2 horas.

La caracterización del producto se realizó preparando películas de poliuretano exentas de disolvente. Estas películas se prepararon colocando una cierta cantidad de la disolución adhesiva en moldes de teflón de 120 x 120 mm. El disolvente se dejó evaporar en un recipiente cerrado con atmósfera saturada de MEK. El grosor de las películas obtenidas fue de aproximadamente 1 mm (medidas con un Vernier).

CARACTERIZACIÓN DE LOS ADHESIVOS DE TPU: CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC)

Se utilizó un equipo TA Instrument DSC Q100 V6.2, y se determinó la temperatura de transición vítrea (T_g), la temperatura de fusión (T_m), la temperatura de cristalización (T_c), la entalpía de fusión (ΔH_m) y la entalpía de cristalización (ΔH_c) de películas de poliuretano. Se realizaron barridos de temperatura de -80 °C a 80 °C, empleando una velocidad de calentamiento de 5 °C/min.

TERMOTERMOMETRÍA

Se utilizó un equipo SETARAM modelo 92-16, a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. La temperatura se modificó entre 25 y 800°C, en atmósfera de helio y se empleó una masa cercana a los 10 mg.

REOLOGÍA DE PLATOS PARALELOS

Se utilizó un equipo Bohlin CS50 de esfuerzo controlado de platos paralelos de 20 mm de diámetro. Se realizó un barrido de temperaturas desde 200 °C a 30 °C con una velocidad de enfriamiento de 5 °C/min. Se usó una frecuencia de oscilación de 1 Hz.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Se utilizó el método indicado en la norma ISO 37-77. Se midieron tanto la tensión en la carga máxima como el porcentaje de deformación en la carga máxima. Se utilizó un equipo INSTRON 4411 con una velocidad de deformación de 100 mm/min y una carga aplicada de 5KN.

ENSAYOS DE DUREZA

Se utilizó un equipo de análisis de dureza Shore D.

ENSAYOS DE PELADO EN T

Se utilizaron probetas de PVC flexible unidas mediante adhesivos de poliuretano. Las probetas tenían una geometría rectangular de 150x30x3 mm, y antes de ser utilizadas fueron limpiadas con MEK. Se aplicó alrededor de 1 ml de adhesivo a cada pieza de PVC y se dejó secar durante 30 minutos. El adhesivo sobre la superficie de las probetas fue reactivado utilizando radiación infrarroja a 80 °C, se pusieron en contacto las dos probetas reactivadas e inmediatamente se las sometió a una presión de 2 Kg/cm² durante 10 segundos. Las fuerzas de pelado de T fueron medidas en función del tiempo transcurrido desde la realización de la unión adhesiva y se empleó una velocidad de separación de las mordazas de 100 mm/min. Se utilizó un equipo INSTRON modelo 4411.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se incluyen las isotermas de adsorción de algunas sílices. Las isotermas corresponden al tipo II de la clasificación BDDT (Brunauer, Deming, Deming y Teller) propia de sólidos no porosos. La condensación capilar se empieza a producir a presiones relativas cercanas a 0.85. El tratamiento con silanos reduce tanto la capacidad adsorbente como la superficie específica de la sílice (tabla 2). De hecho, el parámetro C —medida de la interacción o reactividad de la superficie estudiada— disminuye

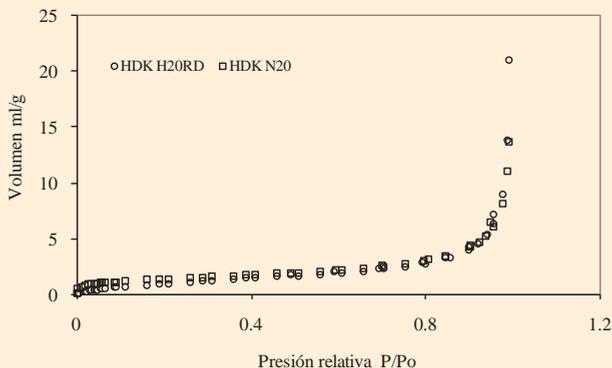
marcadamente al disminuir el contenido de grupos silanol superficiales (tabla 2), indicando una menor interacción del adsorbato con la sílice. Puesto que el tratamiento con silanos no crea porosidad en la sílice, se debe haber producido una aglomeración de las partículas de sílice durante dicho tratamiento.

TABLA 2. Parámetro C y superficie específica de las sílices (ecuación de BET)

Sílice	C	Superficie específica m ² /g
HDKN20	114	161
HDKH20RD	13.5	97

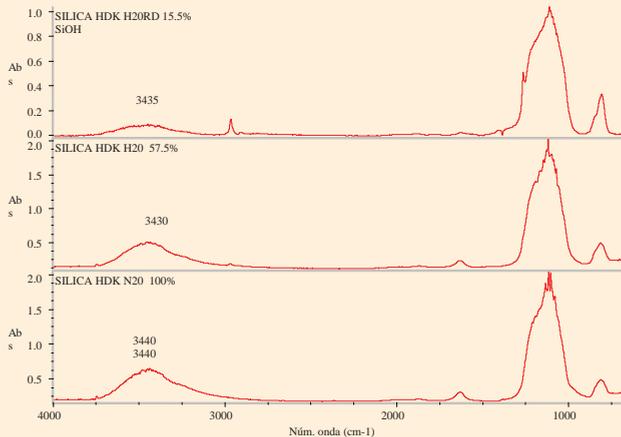
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 1. Isotermas de adsorción de nitrógeno a 77K de algunas sílices.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2. Espectros IR de las sílices.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3 muestra las bandas de absorción características de las sílices. Los espectros IR de las sílices (figura 3) muestran que la banda 3430 cm^{-1} correspondiente a los grupos OH aumenta su intensidad relativa al aumentar el contenido de grupos silanol. Por otra parte, las bandas debidas a Si-O-C ($810, 2960\text{ cm}^{-1}$) aumentan su intensidad en las sílices con menor número de grupos silanol.

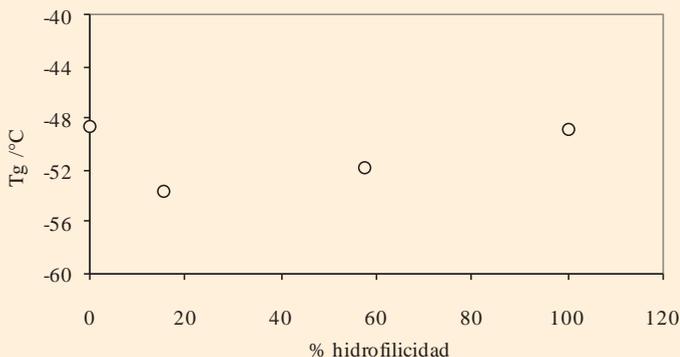
TABLE 3. Bandas de absorción de las sílices

$\bar{\nu}$ (cm^{-1})	Grupo	Vibración
~ 3440	SiO-H	Stretching (st)
~ 2960	C-H	Stretching (st)
~ 1630	SiO-H	Bending (d)
~ 1260	Si-O, Si-H	Stretching (st), bending (d)
1110-1000	Si-O-C, Si-O-Si	Stretching (st)
~ 810	Si-OH, Si-OC, Si-O-Si	Stretching (st)

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de T_g de las muestras PU-sílice obtenidos con DSC se observan en la figura 3. Se aprecia que al aumentar el grado de hidrofiliidad de la sílice incorporada al PU, el valor de la temperatura de transición vítrea aumenta debido a la interacción por enlaces de hidrógeno de los grupos superficiales de la sílice con las cadenas de los segmentos blandos del polioli.

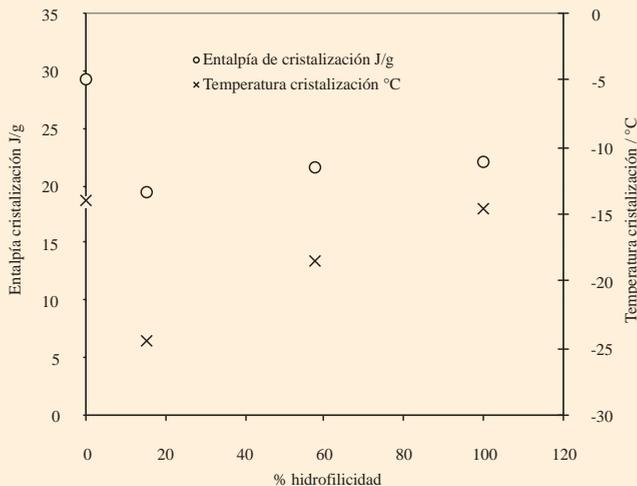
FIGURA 3. Temperatura de transición vítrea de los poliuretanos que contienen sílices con distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

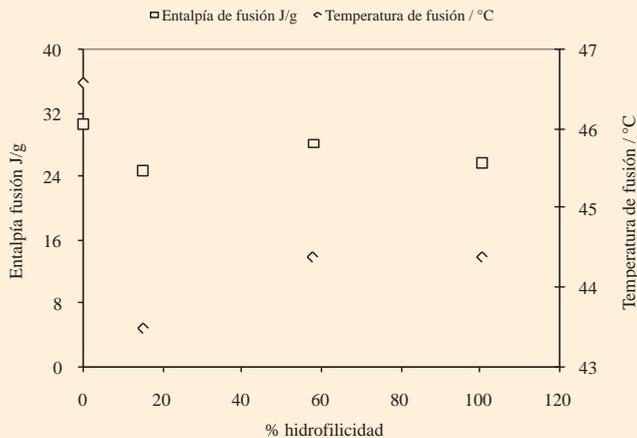
En las figuras 4 y 5 se observa un aumento en las entalpías de cristalización y fusión, así como de las temperaturas de cristalización y fusión, conforme se incrementa el grado de hidrofiliidad de la sílice.

FIGURA 4. Temperatura de cristalización y entalpía de cristalización de los poliuretanos que contienen sílices con distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

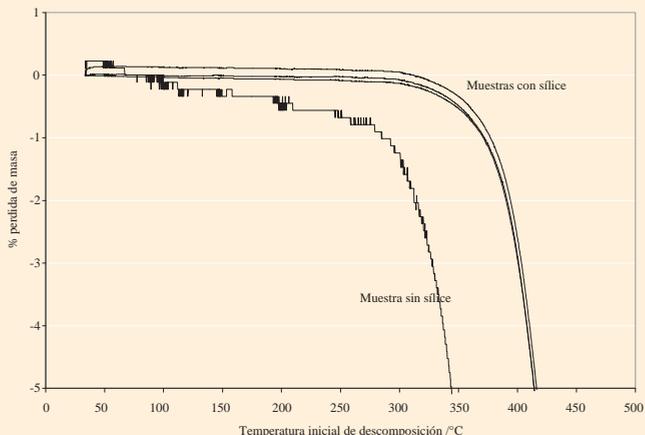
FIGURA 5. Temperatura de fusión y entalpía de fusión de los poliuretanos que contienen sílices con distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

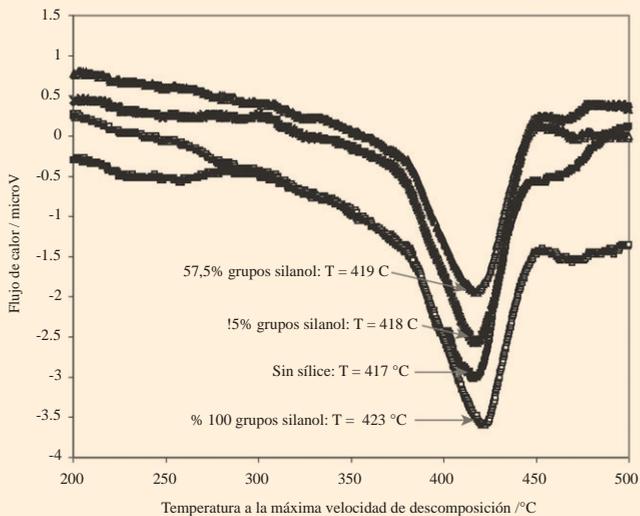
El análisis termogravimétrico (figura 6) muestra un considerable aumento en la temperatura a la cual el poliuretano que contiene sílice comienza a degradarse, es decir, este compuesto inorgánico actúa como un retardador de la descomposición térmica. No se observan diferencias significativas entre las muestras con diferentes sílices. En la figura 7 se observa que el material que presenta la mayor velocidad de descomposición es el que no tiene incorporado la sílice.

FIGURA 6. Curvas TG de los poliuretanos que contienen sílices de distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

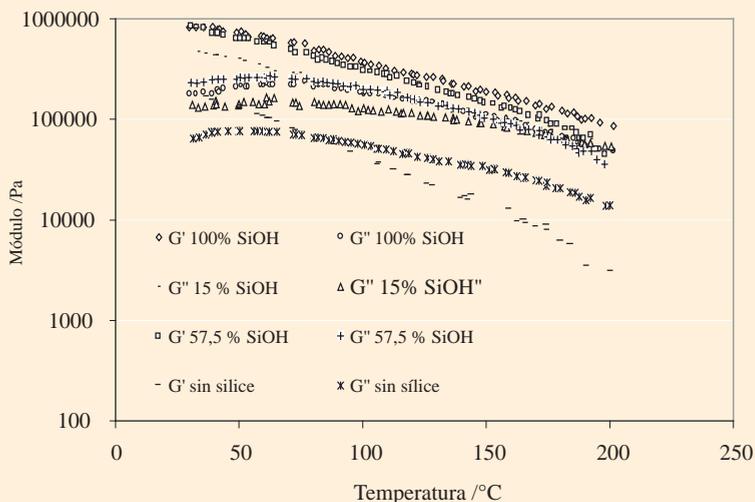
FIGURA 7. Temperatura de máxima velocidad de descomposición obtenida mediante análisis termogravimétrico de los poliuretanos que contienen sílices de distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los resultados obtenidos en la reología de platos paralelos, mostrados en la figura 8, se observa un incremento tanto en el módulo de almacenamiento (G') como de pérdida (G'') en función del aumento de la hidrofiliidad de la sílice que está incorporada en el poliuretano. La curva reológica de la película de poliuretano sin sílice muestra un punto de cruce entre el módulo viscoso y elástico cercano a los 85 °C.

FIGURA 8. Curvas reológicas obtenidas mediante reometría de platos paralelos para los poliuretanos que contienen sílices de distintos grados de hidrofiliidad.



Fuente: Elaboración propia.

Si se compara la curva del material que no contiene la carga inorgánica, respecto a las demás, se observa que la adición de sílice hace desaparecer ese cruce de módulos. A mayor contenido de grupos silanol, se observa una mayor diferencia entre las curvas de G' y G'' , producto de la mayor interacción entre dichos grupos de la sílice y los segmentos blandos del poliuretano, lo cual, a su vez, ocasiona un aumento mayor en el módulo de almacenamiento respecto al de pérdida. En términos generales, la presencia de la sílice pirogénica, incrementa el módulo de almacenamiento y de pérdida del material, observándose un comportamiento elástico predominante.

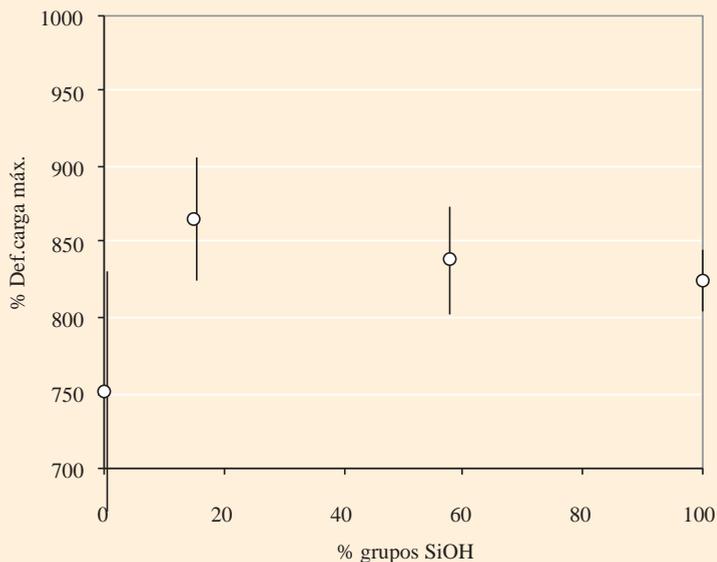
En las figuras 9a y 9b, se observan las propiedades mecánicas de los poliuretanos que contienen las diferentes sílices.

Al aumentar el grado de hidrofobicidad de la sílice se mejoran las propiedades mecánicas, pues tanto el porcentaje de deformación en la carga máxima como la tensión soportada en ese punto aumentan.

Otros grupos de investigación, utilizando un sistema similar de MDI, un poliéster derivado del ácido adípico y 1,4-butanodiol, encontraron que propiedades como el módulo de Young se incrementaron al incorporar sílices, y lo explicaron en función del aumento de la densidad de entrecruzamiento causado por las interacciones polímero-carga. Mencionan que el efecto de refuerzo depende fuertemente de la densidad de grupos silanol en la superficie de la sílice. Así, materiales con sílice de bajo contenido de grupos silanol no mostraron cambios significativos en el módulo o la dureza [5, 6].

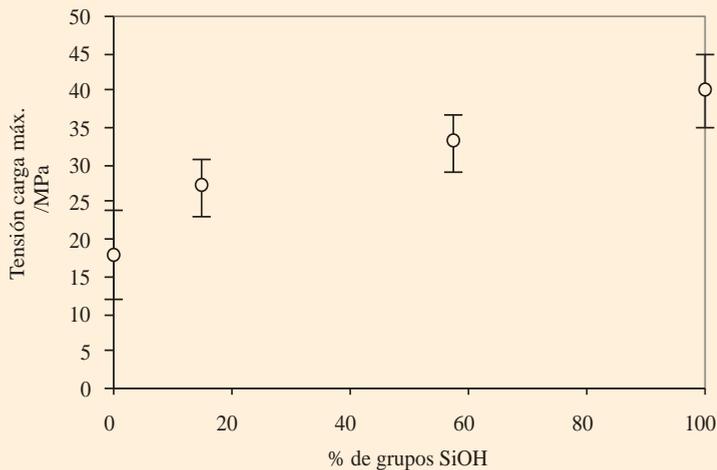
Los resultados de la evaluación de la dureza se dan en la figura 10. Se observa un incremento del valor conforme se aumenta el contenido de grupo silanol de la sílice respecto al valor obtenido en el material sin sílice. Asimismo, no se observan diferencias significativas entre los valores de la dureza para los materiales que contienen

FIGURA 9a. Evaluación de las propiedades mecánicas (porcentaje de deformación) para los poliuretanos con y sin sílice.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 9b. Evaluación de las propiedades mecánicas (tensión en la carga máxima de deformación) para los poliuretanos con y sin sílice.

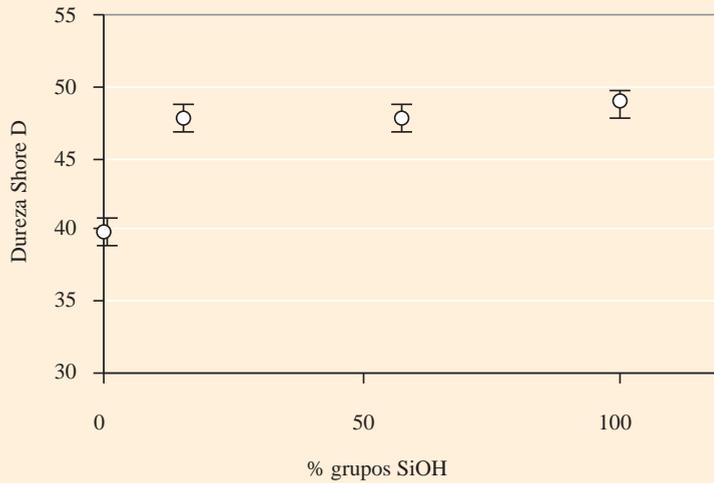


Fuente: Elaboración propia.

diferentes sílices. Este incremento corresponde a un aumento de la cristalinidad del poliuretano [3], lo que se debe a la presencia de grupos silanol de las sílices y a su interacción con las cadenas del poliuretano.

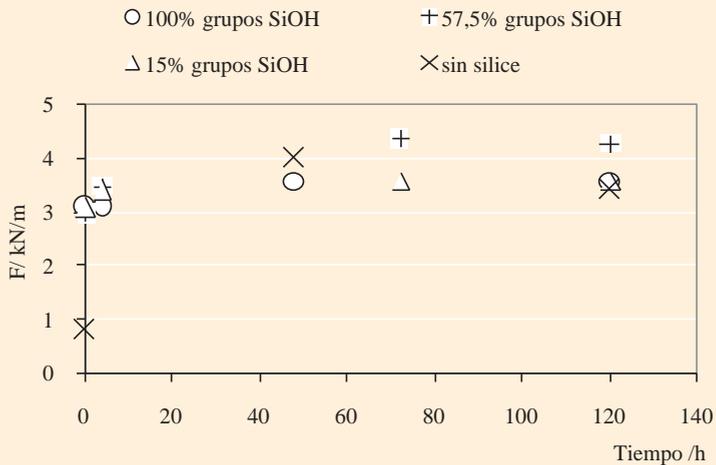
Finalmente, los ensayos de pelado en T (figura 11) muestran un incremento en las propiedades de adhesión inicial en las uniones realizadas con los poliuretanos que contienen sílice.

FIGURA 10. Dureza Shore D para los poliuretanos con y sin sílice.



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 11. Resultados obtenidos en los ensayos de pelado en T de uniones PVC/adhesivo de poliuretano que contiene sílice.



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En términos generales, la presencia de la sílice pirogénica mejora las propiedades térmicas, mecánicas, dinámicas y de adhesión de los adhesivos de poliuretano, debido a la interacción que se produce entre la sílice y las cadenas del poliuretano, específicamente los segmentos blandos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Macía-Agulló, T.G., J.C. Fernández-García, N. Pastor-Sempere y A.C. Orgilés-Barceló (1992) "Addition of silica to polyurethane adhesives". *J. Adhesion*, 38, 31-53.
- [2] Ferrándiz-Gómez, T.P., J.C. Fernández-García, A.C. Orgilés-Barceló y J.M. Martín-Martínez (1996) *J Adhes Sci Technol.*, 10, 833.
- [3] Oertel, G. (1985) *Polyurethane handbook*. New York: Hanser Publisher.
- [4] Pastor-Sempere, N., J.C. Fernández-García, A.C. Orgilés-Barceló y J.M. Martín-Martínez (1995) Fumaric acid as a promoter of adhesion in vulcanized synthetic rubbers. *J Adhesion*, 50, 25-42.
- [5] Nunes, R.C.R., J.L.C. Fonseca y M.R. Pereira (2000) Polymer-filler interactions and mechanical properties of a polyurethane elastomer. *Polymer Testing*, 19, 93-103.
- [6] Nunes, R.C.R., R.A. Pereira, J.L.C. Fonseca y M.R. Pereira (2001) "X-ray studies on compositions of polyurethane and silica". *Polymer Testing*, 20, 707-712.

Percepción social sobre nanotecnologías en Cuba: Realidades y desafíos

ARIAMNIS TOMASA ALCAZAR QUIÑONES*

RESUMEN: El artículo aborda la percepción social de grupos sociales relevantes (GSR) que investigan el tema de las nanotecnologías en Cuba. A través de cada una de las dimensiones e indicadores del concepto de percepción social, se investiga el cuantioso mundo de conocimientos, de informaciones, de interacciones, de relaciones de cada grupo productor e investigador de esta tecnología en el país.

El estudio de la percepción social, de conjunto con varias técnicas y métodos del campo de estudios sociales de ciencia y tecnología (ESCT) permite encontrar un mapa gráfico de los principales colectivos de investigación del tema en el país así como de las principales etapas de investigación por las que atraviesa esta tecnología en el país.

PALABRAS CLAVE: Percepción social, nanotecnologías, Cuba.

ABSTRACT: The article discusses the social perception of relevant social groups (GSR) that investigate the topic of nanotechnology in Cuba. Through each of the dimensions and indicators of the concept of social perception, we investigate the large world of knowledge, information, interactions, and relationships of each group producer and researcher of this technology in the country.

The study of social perception, in conjunction with various techniques and methods from the field of Social Studies of Science and Technology (ESCT) to find a graphical map of the main groups of research on the subject in the country and the main stages of research by traversing this technology in the country.

KEYS WORDS: Social perception, nanotechnologies, Cuba

INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos distintivos que caracteriza al mundo contemporáneo es el impetuoso avance que la ciencia y la tecnología han adquirido. Todos los órdenes de la vida social, de una u otra manera, han sentido el impacto de este progreso. Según Núñez (1999) los poderes políticos y militares, la gestión empresarial, los medios de comunicación masiva descansan sobre pilares científicos y tecnológicos. Hasta la vida del ciudadano común está influida por los avances científicos y tecnológicos. Las nanotecnologías constituyen el paso más reciente alcanzado por la Revolución científico-técnica y prometen revolucionar la cosmovisión que se tiene del mundo.

Tradicionalmente, la tecnología ha sido entendida como mero factor productivo, desprovista de sus conexiones sociales. Esta visión aun persiste en nuestro país pues los adelantos tecnológicos no se han visto acompañados en todo momento de un pensamiento social que intente explicar el estado actual de las tecnologías que se aplican, así como sus impactos en la vida social (Pérez, 2008).

* MSc. por la Universidad de La Habana, Cuba. (aria@rect.uh.cu).

El artículo¹ pretende contribuir a la construcción de una visión integral de las nanotecnologías en Cuba, superando así la perspectiva tradicional y fragmentada. Es, además, una respuesta al reclamo de investigadores de la comunidad científica universitaria acerca de la necesidad de que ciencias como la sociología, la historia, entre otras, se interesen por el desarrollo de las ciencias naturales, exactas, por mencionar algunas.

ALGUNOS ANTECEDENTES...

Según Estévez (2009a: 6) “en Cuba las extremas dificultades económicas de la década de 1990, que perduran hasta hoy, contribuyeron al deterioro de la infraestructura científica del país”. Ante esta situación, la nación se vio en la necesidad de enfocar sus esfuerzos hacia aquellos sectores que prometían un retorno a corto plazo de las inversiones, capacidad de auto sostenibilidad e impacto social masivo. Es así como se logró, por ejemplo, el desarrollo de la biotecnología en Cuba, la cual hasta nuestros días obtiene considerables progresos para el avance socioeconómico del país.

Sin embargo, durante el período antes mencionado, otras áreas del desarrollo científico sufrieron un retroceso considerable (Estévez, 2009a). Son algunas de estas áreas las que pudieran permitir el desarrollo de las nanotecnologías en el país, pues una de las aplicaciones de esta tecnología es la capacidad que posee de converger con otras ciencias.² A pesar de esta difícil situación (Estévez, 2009a: 7) “Cuba ya puede hablar de una década de investigaciones en las tecnologías nano”. Según Barrere (2008) instituciones internacionales de vigilancia tecnológica, como el Observatorio Iberoamericano de Ciencia y Tecnología, reconocen no menos de doscientas noventa y siete publicaciones de Cuba en esta área desde el año 2000, lo que la ubica en el sexto lugar en el conjunto de países latinoamericanos y octava en países iberoamericanos.

Diferentes grupos de investigación trabajan el tema de las nanotecnologías en la actualidad en Cuba. El Ministerio de Educación Superior (MES), con todas las instituciones y centros de investigaciones adscritos a él, muestra considerables adelantos. No sólo por las publicaciones que realiza, sino por contar con especialistas reconocidos a nivel nacional e internacional en esta área. Además de estos logros, este ministerio es la única institución en Cuba que posee una red de nanotecnología con varios años de experiencia y que incluye a otras instituciones del Estado. (Estévez, 2009a: 8) La labor desempeñada por esta institución rebasa los marcos de los laboratorios de investigación de ciencias naturales, pues, durante casi veinte años, la Universidad de La Habana, junto a otras instituciones cubanas, viene promoviendo los estudios sociales de la ciencia y la tecnología (CTS). El interés por estos temas se vincula, de un lado, al intenso impacto (social, económico, político, cultural) que ejercen las ciencias y, la tecnología en la sociedad, así como la evidencia de sus profundos condicionamientos sociales, y, de otro, el énfasis colocado por la nación en el desarrollo científico y tecnológico y la necesidad de profundizar sus contribuciones sociales.³

¹ El texto es un resumen de una investigación realizada en el año 2010 por la autora para la obtención de su título en licenciatura en sociología.

² Aquí se refiere a la capacidad que tienen otras ciencias de conjugarse con las nanotecnologías para la formación de nuevos productos y resultados. Dentro de esta convergencia está la informática, la electrónica, la biotecnología, etcétera.

³ Esta información se obtuvo a partir de varias entrevistas exploratorias a diferentes miembros de esta cátedra. Su sitio web es <www.vriep.uh.cu/ctsu>.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) constituye otra de las instituciones que en el país despliega un esfuerzo por desarrollar las nanotecnologías (Estévez, 2009a). El Polo Científico⁴ ubicado en el oeste de la capital cubana cuenta con algunos centros de investigación que también desarrollan e investigan en materia de nanotecnologías. Resulta relevante destacar la existencia de otros actores sociales que trabajan el tema de las nanotecnologías desde diversas instituciones. Ellos son la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), el Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA), el Colegio de Ciencias Sociales de la Universidad de La Habana (UH) y periodistas de los medios de comunicación del país (*Revista Bohemia, Juventud Técnica y periódico Juventud Rebelde*).

Sin embargo, éstas y otras instituciones, consideradas grupos sociales relevantes (Bijker, 2008), tienen conocimiento sobre esta nueva tecnología desde una perspectiva estrecha. Según Estévez (2009b), poseen una visión instrumental de las nanotecnologías y las perciben como mero factor productivo.

Esta visión está condicionada por el enfoque tradicional con el cual se ha entendido la ciencia y la tecnología durante mucho tiempo. El mismo concibe a la ciencia sólo como un conocimiento probado, certero, como fuente de riqueza y bienestar social. Esta visión desconoce las conexiones sociales que tiene la ciencia, no sólo al interior de sí misma sino también con el contexto históricossocial en que se produce. Lo mismo ocurre con la tecnología, entendida como conocimiento aplicado, equipos, herramientas, éticamente neutral (Núñez, 1999). Según Estévez (2009a) el reto para Cuba en cuanto a nanotecnologías se presenta en dos direcciones interrelacionadas entre sí:

- Diseño de una estrategia efectiva de convergencia de la ciencia de los materiales, con la biotecnología, la informática y las ciencias cognitivas en la búsqueda de la sostenibilidad presente y futura de la industria cubana basada en la ciencia.
- Lograr, para esta convergencia, una estrategia efectiva que incorpore la dimensión sociológica y cultural del proceso como única vía de avanzar hacia una sociedad real del conocimiento.

El éxito de las nanotecnologías en Cuba no depende únicamente de la convergencia señalada y de la dimensión sociológica que ésta necesita sino también del apoyo del gobierno cubano para su aplicación y posterior difusión. A pesar de que en el país aún no se ha madurado y consensuado una estrategia para el desarrollo de las nanotecnologías (Estévez, 2009a) el gobierno cubano siempre le ha prestado especial atención al tema de la tecnología en el país. Ello se evidencia en el apoyo político e institucional (Núñez, Pérez y Montalvo, 2009) que se le ha dado a la biotecnología en el país, la cual cuenta con el apoyo y la iniciativa del líder cubano Fidel Castro.

⁴ A partir de 2011, Cuba ha experimentado notables cambios en su política económica y social para perfeccionar el modelo socialista. Uno de estos cambios ha sido la integración del Polo Científico de biotecnología con instituciones farmacéuticas. En la actualidad BioCubaFarma es una empresa estatal con el objetivo de producir y comercializar medicamentos y servicios de alta tecnología para la salud de la población.

FUNDAMENTOS TEÓRICOMETODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN:

Los presupuestos teóricometodológicos empleados en la investigación provienen del campo de estudios sociales de ciencia y tecnología,⁵ en especial de la sociología de la tecnología.

A principios de los años 70 del siglo pasado se produce un movimiento, provocado en su origen por Thomas Kuhn, (Lamo de Espinosa *et al.*, 1994) pero ampliado y sostenido por la crisis del estructural- funcionalismo y por el auge de las tradiciones fenomenológicas en la teoría sociológica, que produce una compleja metamorfosis en buena parte de la sociología de la ciencia que se genera a partir de este momento (Torres, 1994).

La sociología de la ciencia se encargó en su primer momento de analizar la ciencia como institución social, pero esta nueva interpretación se encarga de ver a la ciencia en acción y en torno a los procesos de estructuración del conjunto de las relaciones sociales científicas.⁶

En la década de los 80 comienza a desarrollarse el programa relativista, más conocido como el Programa Empírico del Relativismo (EPOR). Este programa, para el estudio que persigue, se traza tres etapas en las cuales declara sus proposiciones. La primera se refiere a la flexibilidad interpretativa de los resultados experimentales. Según Torres (1994) para este programa son muy importantes las diversas interpretaciones que se elaboran en torno a la ciencia y a sus investigaciones, por eso se entiende que los descubrimientos científicos pueden tener varias interpretaciones, cada una de las cuales hay que tenerlas en cuenta. La siguiente etapa apunta a los mecanismos de diversa índole que afectan la flexibilidad interpretativa señalada anteriormente. En este momento se consideran también el cierre de las controversias científicas al promoverse un consenso entre los investigadores. Por último, estas formas de cierre de las controversias científicas son analizadas en relación con el medio social y cultural en que se desarrollan dichas controversias. La cuestión de las controversias científicas considera que los hechos relevantes de la vida científica contemporánea no se dan tanto en los laboratorios, sino en otros espacios que se proporcionan en el marco científico.

Una interesante y fructífera extensión del EPOR es el programa SCOT (Social Construction of Science and Technology) desarrollado desde mediados de 1980 por Wiebe Bijker y sus colaboradores. En el SCOT se trata de estudiar empíricamente los artefactos y sistemas tecnológicos del mismo modo que el EPOR trata de abordar los produc-

⁵ Puede catalogarse con carácter interdisciplinar por concurrir en él materias como la filosofía y la historia de la ciencia y la tecnología, la sociología del conocimiento científico, la teoría de la educación y la economía del cambio técnico. (Cerezo, 1999; Bruun y Hukkinen, 2003) e incorporar a sus investigaciones los conocimientos tácitos. Propone conceptos integradores y transdisciplinares que den cuenta de la multiperspectiva y compleja realidad tecnológica actual. Es por ello que en su seno se generan conceptos y categorías analíticas para la comprensión de la tecnología como práctica social, artefactos, políticas, actores, valores, sistemas de gestión, patrones culturales etc. (Pacey, 1999; González, 2003, Thomas, 2008).

⁶ Posteriormente a la aparición del Programa Fuerte en la década de los años 70 del siglo XX, surgen a fines de este decenio otras orientaciones en torno a la nueva sociología del conocimiento. Estas orientaciones se constituyen en los estudios de vida de laboratorio, el programa relativista y de estudio de las controversias científicas, la etnometodología del trabajo científico, el análisis del discurso y la reflexividad y la teoría actor-red. Cada una de estas propuestas contienen diferentes enfoques de análisis para la tecnología.

tos científicos. Se muestra la flexibilidad interpretativa y se analiza los mecanismos sociales mediante los que, en determinado contexto histórico y cultural se cierra tal flexibilidad y se consolidan las formas concretas de tecnología.

La metodología empleada en este programa consiste en la identificación de actores relevantes para el desarrollo de una tecnología dada, y de los problemas que estos actores se plantean en relación con la misma. Diferentes actores asociarán significados y problemáticas distintas a la misma tecnología, de tal modo que la evolución de su definición, la priorización de problemas a resolver y la estabilización de determinadas soluciones para los mismos dependerán del reparto de fuerzas y las estrategias negociadoras de los conjuntos de actores (González, 2003). Ejemplos clásicos los encontramos en el estudio del origen de la bicicleta, la baquelita y la bombilla fluorescente.

El concepto de **grupos sociales⁷ relevantes (GSR)** es uno de los conceptos clave dentro de la perspectiva constructivista en la sociología de la tecnología. Aunque fue en lo fundamental desarrollado por Pinch y Bijker (2008) su uso se ha extendido al resto de los estudios sociales de la tecnología.

Pinch y Bijker (2008) apuntan que este concepto es utilizado para denotar instituciones y organizaciones (como los militares o alguna compañía industrial específica), así como grupos de individuos organizados o desorganizados. El requerimiento clave es que todos los miembros de un determinado grupo social comparten el mismo conjunto de significados, vinculados a un artefacto específico. Al decidir qué grupos sociales son relevantes, primero debemos preguntar si el artefacto posee algún significado para los miembros del grupo social bajo investigación. Lo importante dentro de la sociología de la tecnología es que cada grupo representa una particular versión sobre un fenómeno determinado. En el caso de Pinch y Bijker se refieren a la bicicleta. Esta versión está en función de los intereses y necesidades de determinados GSRs en relación con la bicicleta.

Con el SCOT, el estudio social de la ciencia y el estudio social de la tecnología, que habían transitado por caminos independientes, comienzan a beneficiarse mutuamente.

Para Bijker (2008), la nueva sociología de la tecnología es “una excelente forma de comprender mejor cómo la tecnología es desarrollada, es decir, el proceso que lleva a lo que solemos llamar una invención, pero que no termina en eso, y nos permite entender por qué algunas tecnologías parecen funcionar en un sentido puramente técnico, pero luego fracasan cuando son injertas en la sociedad. O bien cuando una tecnología parece inferior, según la opinión de algunos expertos, y termina siendo exitosa”. Este autor considera además, que la nueva sociología de la tecnología puede ampliar su agenda hacia las estandarizaciones que se realizan en las tecnologías

⁷ Este concepto tiene antecedentes en autores clásicos y contemporáneos de la sociología. Según Sutz (2003) la aproximación weberiana considera que el término relación social será usado para designar la situación en la cual dos o más personas se involucran en conductas; en las cuales cada una toma en cuenta significativamente el comportamiento de los otros, hecho que orienta dichas conductas. Según Giner (1998: 42) “un grupo está constituido por un número de individuos en una situación de mutua integración (aunque sea mínima), que sea relativamente duradera. El elemento numérico varía ampliamente, yendo desde los dos individuos hasta una vasta comunidad nacional. Estas colectividades son grupos en tanto sus miembros los son con un cierto grado de conciencia de pertenencia y, por ende, actúan de un modo que revela la existencia grupal; en otras palabras, su conducta sólo se explica enteramente si suponemos su pertinencia a esa estructura que llamamos grupo”. Este autor considera que los miembros de los grupos deben tener cohesión en la interacción e integración mutua. Reconoce además, la dinámica de los grupos en tanto permite la interacción entre seres humanos y con las estructuras sociales.

porque en definitiva “las estandarizaciones son tecnologías sociales que disciplinan y que empujan tanto a las personas como a las máquinas hacia un mismo marco conceptual” (Bijker, 2008).

Según Pinch (2008), la sociología de la tecnología sigue la trayectoria de los diferentes significados de una tecnología para poder observar cómo surgen nuevos significados y se desvanecen los antiguos, o cómo coinciden durante un periodo determinado.

Según Giner *et. al.* (1998), la sociología constructivista de la tecnología sostiene que los criterios científicos y técnicos no predominan en la configuración de las teorías y en la selección de las tecnologías. Existe un conjunto de soluciones para cada problema y los actores sociales intervienen en la elección final, mientras que la definición del problema cambia con frecuencia en el curso de la solución.

Estudios posteriores sobre la sociología de la tecnología consideran que esta perspectiva constructivista no le ha prestado atención a las consecuencias sociales (González, 2003) que pudiera tener la aplicación de una determinada tecnología, aunque Bijker (2008) ha reconocido la importancia de estos temas. Se evidencia una ingente preocupación por las decisiones que se deben tomar en torno al desarrollo tecnológico así como por los actores relevantes que deben tomar dichas decisiones.

Según Iañez y Sánchez (1998) se trataría, por tanto, de develar intereses y procesos sociales más profundos que pueden estar en la base de las elecciones sociales de la tecnología. Todas estas preocupaciones se dirigen no sólo a revelar la construcción social de los procesos tecnológicos sino también a la evaluación de dichos procesos. Con estas preocupaciones en relación con la tecnología, se introduce también una preocupación por los tomadores de decisiones en materia de tecnología. Quién establece las agendas políticas y con qué intereses lo hacen, son algunas de las interrogantes inferidas de estas investigaciones (Winner, 2000).

Estos análisis tienen como referente un concepto de tecnología no sólo artefactual sino además como un complejo que encierra políticas, valores, intereses, percepciones, etc. Por ello, Arnold Pacey sugiere que el fenómeno tecnológico sea estudiado, analizado, valorado, gestionado, en su conjunto, esto es como una práctica social, haciendo explícitos los valores que subyacen en la tecnología. Pacey (1990) aboga por una visión de tecnología no únicamente desde su dimensión instrumental sino, además, incluyente de los aspectos administrativos-organizativos, culturales etcétera:

- Dimensión técnica: conocimientos, capacidades, destrezas técnicas, instrumentos, herramientas y maquinarias, recursos humanos y materiales, materias primas, productos obtenidos, desechos y residuos.
- Dimensión organizativa: políticoadministrativa y gestión, aspectos de mercado, economía e industria, agentes sociales, cuestiones relacionadas con la actividad profesional productiva, la distribución de productos, usuarios y consumidores.
- Dimensión ideológica-cultural: finalidades y objetivos, sistema de valores y códigos éticos, creencia en el progreso, etcétera.

Según Núñez (1999), la superación del enfoque estrictamente técnico permite una mejor definición del papel de los expertos. La tecnología, en tanto proceso social, debe tener en cuenta los factores que se relacionan con ella como la participación pública, las expectativas, las percepciones y juicios de los no expertos quienes también participarán en el proceso tecnológico.

Para Estévez y Aragón (2008), la tecnología en apariencia neutral es en realidad, a través de su uso, portadora de una filosofía determinada, de relaciones de poder y condiciona en muchos casos la respuesta individual y colectiva de los fenómenos sociales.

Ante este enfoque que percibe la tecnología como proceso social permeado de valores, intereses, creencias sociales que pueden condicionar la visión social que se tenga de un fenómeno determinando; se hace imprescindible la investigación de los científicos sociales en la “caja negra de la tecnología” así como de su grupo productor para desarrollar análisis e investigaciones, desde diversas aristas, que tributen a una mejor comprensión de los procesos tecnológicos. Esta visión de tecnología como proceso social es la que se asume en el presente artículo.

Dichas consideraciones permitirán el estudio de la percepción social de las nanotecnologías en Cuba en grupos sociales relevantes de la nación. La percepción social se emplea en la presente investigación como una herramienta que permitirá analizar los conocimientos, intereses, actitudes, significados de las nanotecnologías para los grupos sociales relevantes investigados.

La percepción es un concepto tratado desde la psicología, la filosofía y la sociología. Dentro de la sociología, la fenomenología le ha prestado gran interés a este término y a los significados. La sociología de la comunicación, con el análisis de los *mass media*, también ha considerado este término.

Resulta pertinente aclarar que en la bibliografía, los términos percepción, apropiación, cultura científica se emplean como sinónimos. Según López Cerezo (2010), la percepción es una etapa dentro de la cultura científica la cual puede abarcar otros procesos. Este autor entiende la cultura científica como un complejo multidimensional que integra elementos cognitivos, actitudinales, etc. Éste es un modo más amplio que incluye, además, disposiciones o inclinaciones al comportamiento.

Según Cerezo (2010), la cultura o la incorporación de la cultura científica, que podría ser apropiación, es un proceso analizable de un modo escalonado con escalones que interactúan entre sí.⁸

Una de las conceptualizaciones de percepción social según Cabo (2004) es la que sostiene que este término alude a una actividad que se estructura alrededor de los sentimientos, intenciones, motivaciones, valores, inserciones sociales y normativas que caracterizan al perceptor y al objeto percibido. La percepción social de ciencia y tecnología es el conocimiento o la idea que tiene una sociedad sobre ciencia y tecnología.

En el caso de esta investigación ese objeto percibido serán las nanotecnologías y el perceptor los actores que forman parte de los grupos sociales relevantes.

Cabo (2004) considera que la percepción social de ciencia y tecnología tendría su origen, más en el contexto concreto en el que ciencia y tecnología interaccionan con la sociedad, y en las significaciones sobre ciencia y tecnología, que en las características

⁸ El primer escalón sería la percepción la cual se refiere al interés por la ciencia, el segundo se refiere a la atribución de la importancia al desarrollo de la ciencia, una importancia que se puede expresar no solamente en términos de beneficios, sino también de perjuicios. Un tercer escalón será el del nivel de conocimientos de la ciencia, no sólo de los hechos sino también de conocimientos meta científicos, es decir, de conocimientos de las ciencias sociales acerca de la ciencia y la tecnología. Este escalón permitirá conocer los conflictos éticos y la postura de las ciencias sociales sobre el tema a investigar. Otro escalón alude a la asimilación de conocimientos científicos y que estos produzcan cambios en los sistemas de creencias de las personas y también en sus formas de comportarse. Este último es el de la apropiación pues es el de la incidencia de la ciencia en los sistemas de conducta y la vida de las personas.

propias de la ciencia y tecnología en cuanto atributos objetivos que permiten discriminar lo que es o no científico.

La investigación se circunscribe al estudio de la percepción social de las nanotecnologías pues lo que pretende es la búsqueda de los significados, los conocimientos, valoraciones que realizan grupos de actores relevantes en el país con respecto a estas tecnologías en el contexto social cubano. Se reconoce la riqueza conceptual de la apropiación social, así como de sus más recientes aplicaciones en estudios empíricos.⁹

Los referentes empíricos en relación con la percepción social de las nanotecnologías en América Latina se ubican en Colombia, donde se han realizado estudios en un grupo de actores de ese país. Dicho estudio arrojó resultados muy relevantes y muy en concordancia con la lógica competitiva que se evidencia en la gran mayoría de los países latinoamericanos. Se percibe un gran conocimiento en el tema por parte de los estudiantes y profesores en áreas específicas, pero sobre los riesgos que pudiera generar dicha tecnología se evidencia una percepción difusa. En Cuba no se encuentra ninguna investigación acerca de la percepción social de esta tecnología.

Analizar la percepción social de estos grupos sociales relevantes en Cuba, con respecto a las nanotecnologías, permitirá representar circunstancias presentes y no presentes, anticipar situaciones venideras, recordar e interpretar sucesos, tejer narraciones, conservar y retransmitir discursos (Bueno, Santos, 2003) para poder ir configurando el destino y evolución de esta tecnología en el país.

Según Desdin (2010) la percepción social de las nanotecnologías en Cuba seguirá el mismo camino que la percepción social con la energía nuclear y los transgénicos.¹⁰ La percepción social se inclina en las etapas iniciales a los aspectos positivos que tiene una determinada tecnología. Asimismo (Desdin, 2010), cuando comienza a trabajarse con una tecnología todo el mundo ve los beneficios que pudiera brindar la misma. Sin embargo, cuando ocurren las catástrofes, los perjuicios, la tecnología es vista ya como algo totalmente perjudicial.

La opinión de Desdin (2010) es que eso es lo que ha pasado con la energía nuclear. Se ha ido a los dos extremos sin tener en cuenta los matices. Con las nanotecnologías ocurrirá algo similar, pues el foco de atención hoy está en los grandes beneficios de esta tecnología. Y las personas que conocen del tema están muy a favor de ella.

El análisis de la percepción social de los actores pertenecientes a los grupos sociales relevantes en cuanto al tema de las nanotecnologías permitirá conocer las bondades y desventajas de estas tecnologías para tener en cuenta los matices a los que se refiere Desdin (2010). Por ello, es pertinente la inclusión de las investigaciones de corte social en el desarrollo de las nanotecnologías en el país antes de que se atrinchiere esta tecnología y sea difícil modificar la trayectoria de la misma en el país (Cerezo, 2010).

⁹ Uno de estos estudios empíricos es la cultura científica en Iberoamérica. Encuesta a grandes núcleos urbanos. Proyecto Estándar Iberoamericano de Indicadores de Percepción Pública y percepción ciudadana desarrollada por la organización de Estados Iberoamericanos (OEI).

¹⁰ En el año 2007, se publicó un estudio en la revista *Nucleus* acerca de la percepción de la energía nuclear en la población de Ciudad de la Habana. Este estudio arrojó que el 89.5 % de los encuestados acepta el uso de las técnicas nucleares por sus bondades y beneficios. Los medios de comunicación masiva son reconocidos como la mayor fuente de información de esta energía entre los encuestados. El 76.7 % de los encuestados considera que la información sobre las técnicas nucleares en el país es insuficiente. Este autor considera, además, que todo descubrimiento científico en su génesis se considera la panacea a todos los problemas que enfrenta la realidad.

Las herramientas metodológicas empleadas están sustentadas en la metodología cualitativa para la investigación social.¹¹

El análisis cualitativo del comportamiento humano no se limita a la concepción positivista que considera que los hechos sociales ejercen una influencia externa y causal sobre el hombre, sino que también valora la importancia de cómo es vivida y percibida la realidad y su influencia en las ideas, sentimientos y motivaciones del hombre.

Se utiliza la entrevista en profundidad, el análisis de documentos y la técnica de bola de nieve¹² para la consecución de los objetivos propuestos. Se emplea, además, un esquema sobre la trayectoria contexto/tecnológica que han tenido las nanotecnologías y la nanociencias en el país hasta el presente año. La entrevista a expertos se utiliza para indagar acerca del fenómeno en cuestión.

Para una mejor comprensión del objeto de análisis de la presente investigación resulta significativo conocer los términos técnicos y teóricos que emplean las nanotecnologías. Según Kreimer (1999), el desarrollo de metodologías sensibles es un requisito fundamental para los estudios empíricos de sociología de la ciencia. Dentro de estas metodologías sensibles uno de los problemas fundamentales es el de las competencias necesarias para internarse en el estudio de la práctica de los científicos (Knorr Cetina, 2005). Estas premisas de investigación permitieron a la investigadora participar en talleres, eventos y escuelas de verano.¹³ Dicha "formación" le permitió a la autora conocer los problemas condensados alrededor de los diferentes colectivos que trabajan el tema de las nanotecnologías en el país en la actualidad.

La muestra seleccionada para la realización de esta investigación la componen un grupo de actores pertenecientes a los grupos sociales relevantes identificados.

Los actores pertenecen al Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CINIC), Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales (IMRE), Facultad de Química de la Universidad de la Habana, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN). La Academia de Ciencias de Cuba (ACC) y la Facultad de Filosofía e Historia de la UH. Dentro de los medios de comunicación masiva, la *Revista Juventud Técnica*, el periódico *Juventud Rebelde*, la revista *Bohemia*. El Consejo de Estado y el Partido de la Universidad de la Habana son otros espacios en los que se le ha prestado atención al tema que se investiga. El Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) es uno de los centros que investiga sobre el tema. Dos centros del Polo del Oeste de la Habana, CIGB y CNIC, cuentan con patentes en productos que incorporan nanotecnologías. Los especialistas de ambos centros de propiedad intelectual también forman parte de esta muestra.

Otra de las entrevistas realizadas para la investigación fue la que se le realizó al Dr. José Antonio López Cerezo, catedrático del Consejo Superior de Investigaciones

¹¹ Entre los antecedentes de esta propuesta se encuentran los estudios etnográficos, el interaccionismo simbólico con sus significados sociales y la fenomenología (Sandoval, 1996; Ritzer, 1993; Pérez, 2003).

¹² Herramienta de investigación que permite indagar acerca de las personas consideradas relevantes para un determinado campo de acción. En el transcurso de la investigación los entrevistados sugieren nombres, centros de investigación etc. los cuales llegan a repetirse en un momento dado. Aquí se cierra la muestra y se tiene la "bola de nieve"

¹³ Entre los eventos en que se participó como asistente están: Congreso Internacional Universidad 2010, Conferencia Internacional de la Ciencia de los Materiales en la Era Nano, Seminario Taller "Impactos de la Nanociencias y la Nanotecnología: Retos y Perspectivas para América Latina: Llamado Único y en varios talleres y seminarios de investigación de la Cátedra CTS+I de la UH. Además, asistió al Curso Sociología de la Tecnología ofrecido por el Dr. Hernán Thomas de la Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.

Científicas (CSIC) y profesor de la Universidad de Oviedo en España, quien se dedica al tema de la percepción y apropiación social de la ciencia en Iberoamérica, a la MSc. Isarelis Pérez Ones de la Cátedra CTS+I de la Universidad de La Habana y al Dr. Julio César Casals Fernández de la Facultad de Psicología de la UH.

RESULTADOS

Teniendo en cuenta las características del contexto históricosocial en que surgen y se desarrollan las nanotecnologías en Cuba, presentamos el análisis de su trayectoria en tres etapas. Dichas etapas pueden ser consideradas como una primera aproximación a una periodización. Es un recurso que se utiliza para facilitar la comprensión del objeto de estudio.

- Primera etapa: su inicio se ubica entre finales de la década de los años 80 e inicio de la de los 90 del siglo pasado y se extiende hasta 2005. Al interior de la etapa se pueden apreciar dos fases de desarrollo. La primera caracterizada por el derrumbe del socialismo europeo, el comienzo del “periodo especial” y la creación de grupos de investigación en las universidades cubanas. La segunda por el inicio de la investigación en nanotecnologías en diferentes grupos de investigación.
- Segunda etapa: se ubica su inicio en el año 2005 a partir de la propuesta de crear el Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEA). Lo consideramos como el primer esfuerzo de integración para unir los diferentes grupos de investigación que investigan el tema de las nanotecnologías y las nanociencias en el país. Creación de la Comisión *ad-hoc*.
- Tercera etapa: en el año 2009 comienza una nueva etapa. El desarrollo de la Conferencia Internacional “La Ciencia de los Materiales en la Era Nano” organizada por el IMRE. Este evento lo consideramos como el segundo esfuerzo de integración de grupos de investigación.

PRIMERA ETAPA

Esta etapa tiene dos fases fundamentales. La primera está relacionada con los elementos económicos, políticos y sociales que sirven de antecedente a la propia etapa y al proceso completo de surgimiento y desarrollo de las nanotecnologías en Cuba. La segunda fase responde a los comienzos mismos de la investigación en esta área en el país.

Primera fase. El derrumbe del campo socialista a partir de 1989 ocasionó graves problemas a la economía del país. En los años siguientes el PIB cayó en un 35%, las exportaciones en un 85% y el suministro de combustibles en más del 75 % (Núñez, Pérez, Montalvo; 2009). Estos disturbios afectaron directamente la actividad científica del país. Según Pérez (1997), a partir de 1990 comienza un proceso de transformación de la investigación científica en la Universidad de la Habana. La autora señala que luego del derrumbe del socialismo europeo y el cese casi total de los vínculos con la comunidad científica de estos países, ocurre un notable cambio en la reinscripción de los grupos de investigación en el escenario científico internacional. En un periodo cor-

to de dos o tres años estos grupos lograron restablecer sus vínculos orientados hacia América Latina, aunque de forma paralela fomentaron relaciones con países desarrollados. Se produjo un descenso del financiamiento para la investigación científica, universitaria, provocado por la situación económica que enfrentó el país desde inicios de la década de los años 90 del siglo XX el cual fue asimilado por los grupos de investigación, desarrollando diferentes estrategias para la gestión financiera.

Otra de las estrategias adoptadas por estos años estaba orientada hacia la solución de los problemas económicos del país. El principal móvil de desarrollo de esta estrategia era una preferencia por la investigación científica de corte más aplicado. Esta política incluía la actividad productiva como parte de la labor científica universitaria. La principal forma de adquisición de financiamiento en este caso era por vía de las empresas, ministerios que solicitaban determinada investigación a los grupos a través de la Universidad de La Habana (UH), Ministerio de Educación Superior (MES) y al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

Según un entrevistado del GSR “comunidad de científicos de ciencias naturales” por estos años se desarrolla la base instrumental que acompaña al desarrollo actual de las nanotecnologías a nivel internacional. Por la situación precaria del país, así como de los grupos de investigación científica, Cuba se perdió esta revolución instrumental. Esta realidad condujo a que muchos grupos de investigación concentraron sus investigaciones en ciencias básicas.

Otra entrevistada de este GSR recuerda que como consecuencia del “periodo especial”, los profesores de la Facultad de Física de la UH, tenían que arreglar sus propios instrumentos de trabajo. Muchos de los instrumentos que en la actualidad existe en la Facultad de Física, dice la entrevistada, datan de la década de los años 70. “No se han podido remplazar y cuando se rompen los arreglamos nosotros mismos”. Esta entrevistada cuenta que cuando salía al extranjero tanto ella como sus compañeros de trabajo traían partes de instrumentos en sus equipajes.

Como resultado de este contexto de carencias económicas, ingenio científico y a través del contacto con el exterior es que se pudo realizar el microscopio de efecto túnel en Cuba. Ello fue posible, según la entrevistada, “por la tenacidad de un grupo de científicos cubanos en medio de tantas carencias y dificultades”. Estos científicos son calificados por ella como “especies raras”.

Antes de exponer el surgimiento de las nanociencias y de las nanotecnologías es necesario señalar que en el país, según refiere un entrevistado del GSR “comunidad de científicos de ciencias naturales”, se habían realizado desde inicios de la década de los años 80 investigaciones enmarcadas en la escala nanométrica. Lo que pasa es que no se empleaban, señala este científico, los términos de nanociencias y nanotecnologías sino que se les conocía como física de baja dimensionalidad.

Segunda fase. En el año 2000, el Dr. Carlos Rodríguez ofrece una conferencia titulada “Materiales para el siglo XXI”, con motivo de su ingreso como Académico de Mérito en la Academia de Ciencias de Cuba. Durante la preparación de la conferencia encuentra que acaba de salir la Iniciativa Americana y toda una conceptualización, un proyecto integrador en ese ámbito. La conferencia giró sobre el tema de las nanotecnologías, sobre la idea de que la frontera del conocimiento ahora estaba en los nanomateriales. Comenzaba así el interés por parte de científicos cubanos en esta área de investigación empleando ya los términos de nanociencia y nanotecnología.

De manera independiente, relata el entrevistado, comenzó a trabajar este tema Rolando Contreras, un médico del CNIC que trabaja en microbiología y que se intere-

só por el tema desde el punto de vista de la biomedicina y de las aplicaciones médicas. Este científico comenzó a divulgar el tema dentro del Polo Científico del Oeste de la Habana. El interés por este científico y el CNIC de trabajar el tema de las nanotecnologías surge por una inspección del CITMA que obligaba a proyectar el desarrollo de este centro con vistas al año 2015, en los años 1999, 2000. Las soluciones encontradas estaban ligadas a la producción de las nanociencias y las nanotecnologías.

Según Rodríguez (2009), otra de las personas que impulsó el tema en el país por estos años fue Joaquín Tutor quien trabajaba en el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Tutor creó a fines de 1990 la red CYTED que se llamó "Nanoestructuras Semiconductoras para la Electrónica y la Optoelectrónica". Se hacía énfasis en la parte de los semiconductores, pues en este tema el país tenía más experiencia desde años anteriores. Era ésta una de las pocas redes CITED que Cuba coordinaba y en la que participaban personalidades de otros países. Funcionó desde 1998 hasta el año 2003. Esta red realizó muchas actividades, publicaciones de libros, reuniones internacionales. Agrupaba a físicos en su mayoría.

Según Rodríguez (2009), el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) comenzó a organizar talleres y escuelas de verano relacionadas con el tema a partir de 1999. Por esta época se presentó un punto en una reunión del Polo, que no tuvo trascendencia y en la cual hablaron del tema los actores antes mencionados. Para el año 2002 se creó en uno de estos talleres la Red de Nanotecnologías del Ministerio de Educación Superior con el apoyo de José Luis García Cuevas, director de Ciencia y Técnica de este ministerio. A la conformación de la Red asistieron Contreras por el CNIC, Ofelia Martínez por la CUJAE, Roberto Cao por la Facultad de Química, el Centro de Proteínas y Enzimas de la Facultad de Biología, el IMRE.

También la Universidad Central de Las Villas y más tarde el Dr. Villalonga de la Universidad de Matanzas.

Cuando comenzó la Batalla de Ideas en diciembre de 1999 hubo un proceso que se llamó "La ciencia y los científicos". En el marco de este proceso se realizó una reunión en la cual se planteó la necesidad de hacer prospectiva científica y tecnológica. Se mencionó y se abordó la importancia del estudio de las nanociencias y las nanotecnologías en este espacio. Esta propuesta fue asumida por el Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología en la persona de Soledad Díaz. Para el año 2002, se puso en circulación un documento titulado "Elementos para un análisis de las nanotecnologías en Cuba" dirigido a los niveles de dirección de primer nivel del país.

Hacia el año 2004 se consolidó el Programa Nacional de Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada, e incorporó en su agenda la temática de las nanotecnologías, en la parte de materiales avanzados. Aunque se dieron algunos pasos, no se tomó la decisión a nivel de país de abrir un Programa Nacional de Ciencia y Tecnología (PNCT) en nanotecnologías. El Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales (IMRE) promovió un taller con el Reino Unido para compartir ideas acerca del tema con especialistas ingleses, pero la idea de hacer un programa sin presupuesto no funcionó.

SEGUNDA ETAPA

Según Rodríguez (2009), en el año 2005, Fidel Castro Díaz-Balart plantea la idea de hacer un esfuerzo por desarrollar áreas de la ciencia a las que el país no había prestado la atención suficiente. Se pensaba desarrollar la bioinformática y las nanotecnolo-

logías. A partir de ahí, señala Rodríguez (2009), se comenzó a trabajar en la idea de crear un Instituto, que no estuviera dentro del Polo Científico pero que le sirviera de retaguardia y como un lugar que se pudieran hacer investigaciones. La creación de este centro permitiría además el empleo del instrumental científico y tecnológico que nuestro país no conoció por la precaria situación económica que atravesó a inicios de la década de los años 90 del siglo pasado.

Se comenzó a elaborar una propuesta en la cual participó la Universidad de La Habana. Existía un pequeño comité integrado por Rolando Pérez, Óscar Rodríguez del INSTEC y Carlos Rodríguez del IMRE. Después se incorporó Fernando Guzmán, rector del INSTEC en aquel momento, y Ariel Felipe de Física, que actuaba como coordinador. Según Rodríguez (2009) se elaboró un documento que se le presentó a Fidel Castro, presidente del Consejo de Estado y de Ministros en aquel momento. La recomendación de Carlos Rodríguez, en torno a las áreas en que se pudieran desarrollar las nanociencias y las nanotecnologías, planteaba que era necesario acotar el Centro a aquellas áreas que interesaran más al país; las cuales serían áreas de desarrollo y de interés estratégico para la industria cubana y la seguridad nacional. Ejemplo de ello sería la biotecnología, la industria medicofarmacéutica, la defensa, la protección del medio ambiente y la producción de energía. Entre las líneas de investigación propuestas por este autor están los estudios de proteínas y otras moléculas, química supra molecular, nanomedicina, biología intracelular, nano toxicología, sistemas de liberación controlada de drogas, nano partículas para aplicación biomédica, interacción de nano objetos con organismos vivos, nano sensores, nano robots, diagnóstico y manipulación de células individuales. Considera este científico que este nuevo centro debería de estar abierto a la cooperación, que contara con un buen equipamiento analítico y otros materiales básicos; al que pudieran asistir científicos y proyectos relacionados con estas líneas de investigación y que serían aprobados por el consejo científico del centro. Podrían converger estudiantes de maestría y doctorado, profesores del país y del extranjero, un centro con una clara estrategia de generación y transferencia de propiedad intelectual y un *staff* relativamente pequeño.

Carlos Rodríguez, en el año 2007, le envía al rector de la Universidad de la Habana una nota acerca de este centro. Esta nota expone la concepción del plan inicial de este centro de investigación:

El Centro de Estudios Avanzados (CEA) es un centro de investigación adscrito al Consejo de Estado que se encuentra en construcción en el marco de la Batalla de Ideas. El primer edificio operativo sería para el 2008. La primera etapa de inversión concluiría en el 2010. Responde a la necesidad de fortalecer el campo emergente de las nanotecnologías, nanociencias, de las ciencias habidas, que son estratégicas para el futuro de la biotecnología y la industria medicofarmacéutica cubanas. El CEA se ha concebido como un centro abierto, con una plantilla relativamente reducida de físicos, químicos, ingenieros y especialistas que desarrollen proyectos conjuntos con profesores e investigadores del país y del extranjero dándole el máximo aprovechamiento a las capacidades experimentales que allí podrán encontrarse. El CEA en este sentido debe jugar el mismo papel que el CNIC en las décadas de los años 60, 70 y 80 del siglo pasado. Debe constituirse en un lugar para las investigaciones de ciencias básicas que se encuentran tan debilitadas de material en la actualidad. El proyecto científico del CEA se viene realizando con participación de especialistas de la UH, el Polo Científico, el INSTEC y el Consejo de Estado. En la actualidad se ha comenzado la creación de la cantera del CEA con la reserva de científicos de la universidad, estudiantes egresados de estas ciencias básicas, líderes científicos de otros centros de investigación.

En la actualidad este centro aún se encuentra en fase constructiva, aunque en la parte de computación ya se están haciendo algunas cosas. Según un entrevistado del GSR “comunidad de ciencias naturales” se espera que este centro se encuentre funcionando completamente dentro de cinco años.

Este centro ha tenido muchas dificultades para la adquisición de los equipos de alta tecnología que se requieren para la investigación nanotecnológica. Según un entrevistado del GSR “tomadores de decisiones” ello se ha hecho evidente en la negativa de la empresa alemana Carl Zeiss de no venderle equipos al país para no poner en riesgo sus relaciones comerciales con el gobierno norteamericano.

Según un funcionario del GSR “tomadores de decisiones” se tiene la visión de crear una red del polo y una del CITMA para posteriormente enlazar todas estas redes junto a la del MES, única de su tipo en el país.

Según este entrevistado con el CEA se pretende elaborar plataformas tecnológicas que permitan desarrollar productos, aunque ello no signifique que no se le preste atención a la parte teórica, básica. Se proyecta extrapolar la experiencia del polo, no sólo desarrollar e investigar los conocimientos sino también la obtención de productos.

Se propuso además la creación en este periodo de la comisión *ad hoc* compuesta por diferentes especialistas quienes se han encargado de elaborar acciones estratégicas de seguridad de las nanotecnologías con respecto a la salud, la alimentación y el entorno. Esta comisión aun continúa trabajando en el tema. Está compuesta por especialistas del CITMA, del MES, y de salud pública, así como otros centros de investigación del país.

A pesar de estos esfuerzos, señala un entrevistado del GSR “tomadores de decisiones políticas”, “actualmente se carece de una masa crítica de investigadores con el equipamiento y recursos necesarios para lograr una competitividad real a nivel internacional en nanotecnologías. Desde una perspectiva de la industria cubana, existe un casi completo desconocimiento de las implicaciones que a mediano plazo van a tener los desarrollos de las nanotecnologías”.

Se financian hasta el presente un reducido número de proyectos de investigación en esta especialidad. No obstante, resulta evidente que el tránsito del saber básico a la aplicación industrial es a mediano y corto plazo según el comportamiento internacional y se requiere sentar las bases desde ahora para podernos insertar en esta Revolución tecnológica —considera este funcionario—.

Un análisis de esta etapa permite comprender la influencia del contexto social así como de otros factores en el cumplimiento de un fenómeno determinado. Las circunstancias políticas, económicas, sociales, etc., surgidas a partir del 2007, reconfiguran el plan inicial de este centro de investigación en el país.

TERCERA ETAPA

La Universidad de La Habana ha sido uno de los espacios que ha tratado el tema de las nanotecnologías y las nanociencias en el país. Según Rodríguez, en la actualidad, el MES cuenta con una red de nanotecnologías compuesta por la Universidad de La Habana (IMRE, BIOMAT, Facultad de Física y Facultad de Biología), Instituto Superior José Antonio Echevarría (ISPJAE), Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME), Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), Universidad Central de las Villas (UCLV), Centro de Bioactivos Químicos, el Centro de Ingeniería Genética y

Biotecnología (CIGB), CEADEN, INSTEC, Centro de Química Farmacéutica (CQF), ICI-MAF. Esta red tiene como objetivos impulsar la cooperación científica nacional e internacional en materia de nanociencias y nanotecnologías con vistas a mantener al país actualizado y desarrollar capacidades para la investigación científica y la formación de recursos humanos en este campo.

Promover especialmente la ejecución de proyectos de investigación, desarrollo e investigación tecnológica relacionados con las aplicaciones de las nanotecnologías a la industria biotecnológica y medicofarmacéutica cubanas.

El IMRE, un centro de investigación perteneciente a esta universidad, ha sido el centro que con más fuerza ha desarrollado estos temas hasta el presente. Según un entrevistado de la “comunidad de científicos naturales” ese interés se ha materializado en las escuelas de verano del año 2009 y en el Evento Internacional de noviembre del propio año que contó con la participación especial del premio Nobel de Química de 1996, Robert Curl. Significativo de este centro resulta el interés en torno a las implicaciones sociales, éticas, políticas y económicas de las nanotecnologías. Preocupación manifiesta en otros centros de investigación del país, pero que no se ha materializado en la realidad social.

Según Rodríguez (2009), el centro tiene varias fortalezas, entre ellas la formación de recursos humanos, una experiencia en esta materia de más de diez años, más de 200 artículos publicados, posicionamiento internacional, los profesores e investigadores de este centro son invitados a diferentes centros y universidades internacionales. Tienen acceso sistemático a facilidades multinacionales: European Synchrotron Research Facility (Francia), Laboratorio Internacional de Luz Síncrotron en Brasil, entre otras. El centro tiene, además, proyectos de colaboración con el CEA en la realización de nanomateriales para aplicaciones biomédicas y en la estructura y morfología de nanomateriales.

Resulta relevante destacar que la mayoría de los entrevistados reconoce la labor desplegada por este centro en materia de nanociencias y nanotecnologías. Ello se refleja en el análisis del sociograma (técnica de la psicología social que se emplea) donde el IMRE es el centro más reconocido por los colectivos de investigación, desde diversas áreas, que trabajan e investigan el tema de las nanociencias y las nanotecnologías. Este centro de investigación se preocupa además por realizar extensión universitaria de los conocimientos que poseen en estas tecnologías. Según un entrevistado del GSR “comunidad de científicos de ciencias naturales” y perteneciente al IMRE, esta institución tiene entre sus líneas de trabajo desarrollar esta actividad extensionista no sólo de las nanociencias y las nanotecnologías, sino también de otras líneas de investigación que ellos desarrollan. Los contactos de este centro rebasan los marcos de sus laboratorios y se encuentran extendidos en otros sectores de la población cubana.

GRUPOS SOCIALES RELEVANTES IDENTIFICADOS

- (i) El GSR “comunidad científica de las ciencias sociales”.
- (ii) El GSR “comunidad científica de ciencias naturales”. Este GSR tiene como problemática común hacer avanzar el conocimiento en el país en materia de nanociencias y nanotecnologías. Es común a este grupo, la cuestión de integrar aún más las disciplinas de las ciencias naturales para lograr de manera

eficiente la convergencia que propugna el desarrollo actual de las nanociencias y las nanotecnologías.

- (iii) El GSR “medios de comunicación masiva”. El grupo tiene en común difundir el tema de las nanotecnologías así como los avances que se van experimentando en el país en esta materia.
- (iv) GSR “Organismos Regulatorios”. Los entrevistados enmarcados en este grupo social relevante presentan una subdivisión; pues dos de ellos tienen en común la protección de la propiedad intelectual e industrial de las patentes en nanotecnología que se realizan en el país. Otras personalidades se dedican a investigar y estimular investigaciones acerca de los riesgos de las nanotecnologías en el medio ambiente para poder establecer regulaciones ambientales.
- (v) GSR “Tomadores de Decisiones”. El significado que comparten es la pretensión de centralizar las decisiones en materia de nanociencias y nanotecnologías.
- (vi) GSR “Extensionistas” (Activismo Social). Este grupo tiene como misión crear cultura científica en la población en relación con el tema.
- (vii) GSR “Seguridad Nacional” Sabemos que tanto el Ministerio del Interior (MININT) como el Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR) trabajan en el desarrollo de las nanotecnologías; sin embargo, por cuestiones relacionadas con la seguridad nacional es imposible acceder a ellos.
- (viii) GSR “Incógnito”. La muestra no se cerró y se representa con un signo de interrogación para otros colectivos que trabajen el tema en el país y no hayan salido dentro de la técnica de bola de nieve.

El empleo del sociograma permite ver gráficamente las relaciones y vínculos que se establecen entre estos grupos sociales relevantes. Un análisis del esquema que se propone da cuenta de la acumulación de las relaciones entre varios centros de investigación (CNIC, IMRE, CIGB, Facultad de Química, Facultad de Biología, CEA). Coincidentemente son éstos los centros que más investigan en el tema de las nanociencias y las nanotecnologías en el país en la actualidad. El resto de los centros de investigación o se conectan entre ellos (CEADEN y CICA, por ejemplo) o no se relacionan con los centros de investigación que más investigan el tema.

La comunidad de las ciencias sociales no se encuentra relacionada con ninguno de los centros de investigación; ello evidencia la poca atención que estas especialidades le han prestado al tema de las nanotecnologías en el país. Los medios de comunicación constituyen otro de los GSR que conocen el estado del tema en el país e incluso se relacionan y tienen conocimiento acerca de lo que se investiga en el país en estas tecnologías. Ello se muestra en una serie de trabajos periodísticos desarrollados por varios espacios de divulgación realizados sobre el tema. La mayoría de los entrevistados de este GSR consideran que dichos trabajos se encuentran en una fase inicial, muy informativa, y con el objetivo de crear cultura científica en el país en materia de nanociencias y nanotecnologías. Ello se evidencia en el análisis de los artículos publicados por la revista *Juventud Técnica* en los cuales se aborda el estado actual del tema así como los logros que se han obtenido en algunos centros de investigación del país.¹⁴ Con toda esta labor desplegada por los medios, ningún GSR reconoce la parti-

¹⁴ Esta revista ha publicado una serie de artículos relacionados con las nanotecnologías. Ellos son: “De nanociencias y otros micromundos”, “Tras la quimera de oro”, “Correteando entre átomos”. Éstos son los artículos a los que se alude en este análisis.

cipación de ellos en materia de nanociencias y nanotecnologías. Ello permite corroborar la carencia de una visión social de las nanotecnologías entre los GSR analizados que integre a todos los sectores de la vida social. El tema de las nanotecnologías despierta miedos, temores e incertidumbres en la actualidad. Aún se desconocen a corto y mediano plazo los efectos que tendrán estas tecnologías en el entorno social y en la vida humana. Debido a las crecientes expectativas que se han generado en torno a estas tecnologías así como a sus potenciales aplicaciones, existen diversos sectores a los que no se pudo acceder. Aunque se conoce que se encuentran trabajando en el tema.

CONOCIMIENTOS, VALORES, PERCEPCIONES....

La mayoría de los entrevistados comparte un concepto común de nanociencias y nanotecnologías. Las nanociencias se refieren al estudio de las partículas en la escala nanométrica. Las nanotecnologías se refieren a la creación de productos teniendo como base la nanoescala. Un entrevistado de la comunidad de ciencias naturales considera que existen distintas comunidades científicas trabajando en esa escala, las cuales proponen producir una integración de ciencias distintas en esa escala. Integración, señala el entrevistado, “que por el momento es una potencialidad, no es una realidad.”

Según este científico, el término nanotecnología es una construcción de la política científica, que refleja cosas objetivas, con el propósito de impulsar un grupo de ramas de la ciencia y de la tecnología y proponer posibles integraciones.

El asumir tanto uno como otro concepto no está en la dimensión técnica de los conceptos según diría Pacey, sino que está en el contexto en que se gestó este campo del conocimiento. Ello permite corroborar la tesis de que la tecnología es un proceso social (Núñez, 1999) y no puramente técnico como lo considera la visión tradicional de tecnología.

Ante la carencia de la infraestructura instrumental necesaria para el desarrollo de este campo, no quedó otra alternativa que centrarse en la investigación básica (Cao, 2010). Según un entrevistado perteneciente al GSR “Tomadores de decisiones políticas” lo que sí ha tenido un desarrollo notable en el país son las nanociencias. En lo esencial, “todas estas investigaciones han estado enmarcadas como nanociencias sin avanzar en desarrollos tecnológicos propios de las nanotecnologías. Es decir, artículos científicos, tesis de maestrías y doctorados con escasas patentes y nula transferencia tecnológica a la industria”.

Sin embargo, a pesar de lo anterior, hoy en el país no se habla de nanociencias sino de nanotecnologías. La causa fundamental de esto está relacionada con el hecho de que el impacto real para el desarrollo del país hoy en día son las aplicaciones prácticas, o sea, las nanotecnologías (entrevistado del GSR “tomadores de decisiones políticas”).

La nación cuenta con un personal calificado, con grandes conocimientos en investigaciones básicas en esta materia. Sin embargo, carece de la infraestructura tecnológica para poder aplicar dichas investigaciones básicas. Se percibe en el GSR “tomadores de decisiones políticas” una intención por incentivar en el país el desarrollo de nanotecnologías teniendo como base el alto nivel alcanzado en el país en materia de nanociencias.

Un entrevistado de este GSR considera que el país necesita aplicaciones prácticas, concretas en materia de nanotecnologías y los grupos de investigación que desarrollen esas aplicaciones prácticas deben reconocerse. Este entrevistado se cuestiona el

otorgamiento de un premio a alguien que ha escrito veinte artículos y no a un grupo de investigación que desarrolló el microscopio de efecto túnel en Cuba.

En relación con esta intención de desarrollar productos en nanotecnología en el país, existen grupos de investigación que han logrado la creación de productos e instrumentos que incorporan y permiten el trabajo de esta tecnología. Ejemplo de ello ha sido el logro del interferón pegilado en el CIGB, el microscopio de efecto túnel logrado por un grupo de investigadores del IMRE, los endrímicos en el CNIC.

Los conocimientos en materia de nanociencias y nanotecnologías en su mayoría están permeados por la visión tradicional de tecnología. Sólo uno de los entrevistados, del GSR de la comunidad de ciencias sociales reconoce que “las nanotecnologías representan una forma contemporánea del conocimiento científico que tiene una problemática central de interés social y filosófico, es un área del conocimiento donde la ciencia se enfrenta al conocimiento no manejable, es decir, a una forma de producción de conocimiento científico donde la incertidumbre del conocimiento es lo estable, incertidumbre con respecto a las intervenciones, incertidumbre con respecto a las consecuencias, a las utilidades.”

El reconocimiento de las nanotecnologías más allá de su dimensión técnica, artefactual, por parte de este autor, obedece a la formación que tiene este entrevistado en ciencias sociales y en el interés creciente en los adelantos e investigaciones que realiza el país en materia de biotecnología y nanotecnología.

La mayoría de los entrevistados de cada uno de estos grupos obtiene los conocimientos de nanotecnologías y nanociencias de Internet. Ésta es la principal fuente de información sobre el tema. Aunque algunos investigadores de la comunidad de científicos de ciencias naturales se han preocupado por difundir en la sociedad esta nueva tecnología, según una entrevistada de los medios de comunicación; esta acción no ha sido asumida por los otros grupos relevantes que se investigan. Los conocimientos sobre estas tecnologías en menor medida, según los entrevistados de la comunidad de científicos internacionales, provienen de los vínculos que tienen los centros de investigación con el exterior.

Algunos de los GSR (comunidad de ciencias naturales y tomadores de decisiones) tienen relaciones con distintos grupos de investigación provenientes del exterior. Ello se comprueba en el análisis de la matriz sociométrica. La cooperación internacional en materia de estas tecnologías en Cuba es muy amplia. El Observatorio Iberoamericano de Ciencia y Tecnología reconoce que en la región iberoamericana, Cuba es el país que más relación tiene con grupos de investigaciones foráneas.

El tema de las nanociencias y de las nanotecnologías despierta un gran interés en el país. Ello se evidencia en la preocupación por parte de los medios de comunicación de dar a conocer e informar sobre los avances que tiene Cuba en materia de esta tecnología. Según la mayoría de los entrevistados del GRS “medios de comunicación” los espacios en los medios para difundir este tema están muy debilitados y cuentan con poca participación en los principales medios de difusión masiva. Conuerdan estos entrevistados que su participación en la difusión de los adelantos científicos y tecnológicos en el país es prácticamente nula, pues sólo se cuenta con ellos para la celebración de los aniversarios de los centros de investigación

Esta tesis demuestra que los medios no son considerados por otros grupos sociales relevantes como para difundir estos conocimientos. Sin embargo, la totalidad de los entrevistados han realizado trabajos periodísticos relacionados con las nanotecnologías y se han encargado de difundir a la población los conocimientos que han

adquirido. Ello se evidencia en el análisis de las publicaciones de la revista *Juventud Técnica*. Espacio que, según su directora, “no le dedica más atención al tema debido al poco espacio que tiene para hacerlo y el poco alcance que tiene esta revista.”

La comunidad de ciencias sociales, en menor medida y no con la participación que debería tener, según un entrevistado de esta comunidad, no le presta gran atención al tema. Sólo científicos sociales aislados se preocupan por el tema.

Según un entrevistado del GSR “tomadores de decisiones”, “hay grupos trabajando en el tema de las nanotecnologías en el país pero no hay unidad de esfuerzos, hay quienes quieren unir esfuerzo pero a su manera. Estamos trabajando en unir esos esfuerzos, estamos en muchas cosas a la vez, pero hoy ese tema no es estratégico para el país.” Otra de las entrevistadas para la realización de esta investigación, perteneciente al GSR “medios de comunicación” considera que cuando se aborda el tema “da la sensación de la existencia de celos, cuestiones de búsqueda de reconocimiento entre los grupos que están trabajando en las nanociencias y las nanotecnologías, y eso, refiere la entrevistada, “puede despertar incomodidades.”

El análisis de las opiniones, valoraciones, criterios de los entrevistados de los grupos sociales relevantes que se investigan, refleja la fragmentación de los grupos que trabajan el tema en el país. No se tiene aún una comunidad de esfuerzos en cuanto a nanociencias y nanotecnologías se refiere.

Según un entrevistado del GSR “tomadores de decisiones” las nanotecnologías se desarrollan en el país en función de las prioridades nacionales. Hoy es estratégico producir alimentos, esto no quiere decir que no le prestemos atención a este tema de las nanotecnologías. Según otro entrevistado del GSR “tomadores de decisiones” sí existe una voluntad política en materia de nanociencias y nanotecnologías. Este entrevistado cita las palabras textuales de Fidel Castro a mediados de 2006 cuando señala que “el CEA debía ser un centro ambicioso y de servicio a la humanidad”. Señala este entrevistado y en consonancia con el entrevistado anterior, la necesidad de enmarcar ese centro en el contexto económico que vive el país.

La preocupación por el impacto que pudieran ejercer las nanotecnologías sobre el medio ambiente es otra de las líneas que más preocupa entre los investigadores del tema. Desde el punto de vista de las regulaciones ambientales no existe ninguna regulación en Cuba en materia de las nanotecnologías, ni siquiera en el mundo están muy difundidas estas regulaciones según un entrevistado del GSR “organismos regulatorios”.

Este entrevistado considera que “en todo lo nuevo que surge siempre, la tecnología va delante, después los riesgos y problemas, y sólo después las regulaciones para controlar esos riesgos”.

Las nanotecnologías están en una fase inicial pero a nivel de restricciones existen muy pocas. Según otro entrevistado del GSR “organismos regulatorios” la problemática en esta situación inicial de desarrollo de las nanotecnologías está en caer en una sobre regulación que puede ser más dañina que la misma carencia de regulación porque se pueden frenar futuros desarrollos.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) ha tomado algunas medidas para el país en relación con estas tecnologías. Hemos abogado, señala el director del centro de Control e Inspección Ambiental (CICA) por “realizar reuniones de colaboración con otros centros como el CEADEN en un proyecto de nano seguridad, por capacitarnos por aprender, y también por la colaboración de códigos de ética en el país relacionados con este tema por la carencia de regulaciones legales, de buscar normativas éticas, morales con la Academia de Ciencias de Cuba”.

En la actualidad en el país no puede haber una regulación en nano —considera este entrevistado—, pues sólo se puede pedir una licencia o una regulación a partir de que la ley lo disponga.

Un análisis de la Ley 81 del Medio Ambiente aprobada por la Asamblea Nacional del Poder Popular (ANPP), en 1997, establece la necesidad de contar con el CITMA para poder desarrollar algún proceso que se relacione con la tecnología o el medio ambiente. Esta ley es la principal ley ambiental en el sistema jurídico cubano. Su objetivo es establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado, y las acciones de los ciudadanos y sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible del país. Esta ley no tiene en cuenta las nanotecnologías, pues data de 1997, y en el país no se hablaba con estos términos por esas fechas. El artículo 24 de dicha ley establece que

Toda actividad susceptible de producir efectos significativos sobre el medio ambiente o que requiera de un debido control a los efectos del cumplimiento de lo establecido por la legislación ambiental vigente, estará sujeta al otorgamiento de una licencia ambiental por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de conformidad con lo que al respecto estipule ese organismo, quien establecerá asimismo los tipos y modalidades de dicha licencia. El CITMA tiene la facultad de desarrollar resoluciones ministeriales para poder desarrollar algún proceso que ejerza influencia sobre el medio ambiente.

Este artículo le adjudica la potestad al CITMA de desarrollar resoluciones ministeriales para determinadas tecnologías. Esto se puede hacer si el CITMA decidiera desarrollar algo para las nanotecnologías. No se ha hecho aún posible por el poco conocimiento que hay en el tema y sobre el cómo después se van a controlar esas regulaciones. “Hace falta conocer los impactos ambientales que ejerce esta tecnología y cómo evitarlos para poder otorgar licencias”, eso aún en Cuba no está claro, considera el director de este centro de control ambiental.

La realización de investigaciones sociales dentro de fenómenos tan complejos como la ciencia y la tecnología actuales resulta trascendental por el papel que dichos fenómenos ejercen en las sociedades modernas. Estas investigaciones permitirán poner de relieve los valores, fines, metas de los científicos y especialistas que realizan estos descubrimientos. Según una entrevistada del GSR “medios de comunicación” les responda a los sociólogos, a los investigadores de las ciencias sociales en general, encargarse de estos valores, fines, de los riesgos que pudiera generarse, evaluar además estos riesgos. Además, señala esta entrevistada, “tienen el compromiso de percibir y dar a conocer cuál es la mejor manera en que pueden hacerse llegar todos estos conocimientos a la población en general, para que no se identifique como algo dañino, en este caso la nanotecnología, cuando ésta no lo sea.”

Otro entrevistado de este GSR considera que los grandes fracasos en Cuba de las nuevas tecnologías han sido no por el factor tecnológico sino por el factor cultural. Las ciencias sociales tienen un trabajo sumamente importante en esta readecuación entre tecnología y cultura. Las mentalidades tradicionales, de hábitos arraigados, a veces no permiten una correcta aplicación de las nuevas tecnologías.

Según este entrevistado, los países del primer mundo ya se han percatado de la necesidad de las ciencias sociales en el mundo nanotecnológico y, por ello, ya tienen personas trabajando en estos temas, en las dinámicas sociales, en las relaciones inter-

personales, las regulaciones legales, patentes, etc. En Cuba lamentablemente no se ha comenzado en esta área como se debiera, señala este entrevistado.

Refiere este científico que en Cuba es necesario incluir a especialistas legales en el tema de las nanotecnologías por los peligros creados alrededor de estas tecnologías en el mundo capitalista. El centro al cual pertenece este entrevistado no cuenta con ninguna patente relacionada con estas tecnologías. Además, carecen de personal especializado para atender estos temas.

Otros centros de investigación pertenecientes al polo del oeste de la capital cubana cuentan con especialistas encargados de las patentes y de la propiedad intelectual. Estos centros (CNIC y CIGB) ya han desarrollado patentes en relación con las nanotecnologías.

CONCLUSIONES

El estudio de la percepción social de las nanotecnologías así como la puesta en práctica de un conjunto de métodos y técnicas nos ha permitido el establecimiento de una trayectoria del desarrollo de las nanotecnologías en el país. Dicha trayectoria está condicionada por los fuertes cambios estructurales, sociales y políticos que ha padecido la nación cubana en las últimas décadas. Dicha percepción ha permitido conocer los criterios de un grupo de actores relevantes relacionados con el tema en cuanto a determinados tópicos referentes a las tecnologías nano. En la actualidad, el centro de atención en el país se concentra en las nanotecnologías, aun cuando éstas se hallan en un estado incipiente de desarrollo. Esto se debe, en lo fundamental, a la necesidad que tiene el país de potenciar las posibles aplicaciones industriales de estas tecnologías, por ejemplo, las asociadas con el sector de la industria biotecnológica y farmacéutica. Otro factor incidente en esta situación está relacionado con las fuentes de obtención y de legitimación de los conocimientos, así como con las fuentes de financiamiento. En ambos casos están asociadas a la cooperación internacional. La sociología, como ciencia reflexiva de la sociedad y de sí misma, debe explicar y comprender creencias, intenciones y significados si pretende explicar satisfactoriamente la vida social. La ciencia y la tecnología alcanzan espacios más preponderantes en nuestras sociedades actuales, dándole un sello distintivo al desarrollo social. Es por ello que este ensayo intenta responder algunas interrogantes en relación con el objeto de análisis que pretende; pero también puede realizar nuevos cuestionamientos a partir del espacio social investigado. ¿La fragmentación de la comunidad nanotecnológica es problema de esta tecnología en sí o del sistema de innovación tecnológica en general del país? ¿El problema es inherente a la tecnología o es producto de un sistema de relaciones sociales, del contexto social en que se investiga?

Resulta relevante cuestionar la división percibida entre las universidades y los centros de investigación del polo del oeste de la capital cubana. Un análisis del sociograma y de los resultados obtenidos permite comprender que son estos sectores quienes en la actualidad asumen los papeles más importantes en cuanto a nanotecnologías y nanociencias se refiere, pero en condiciones de estructuras muy diferentes. A pesar de la existencia de proyectos de investigación y procesos de formación entre ambos sectores, este estudio reconoce la fragilidad que tienen esas relaciones. Reconoce también la necesidad “de seguir trabajando en fomentar las interacciones sistémicas entre actores de la innovación con una perspectiva más intersectorial”.

La historia parece repetirse una vez más, lo que cambia es el foco de atención, en este caso las nanotecnologías. Se reconocen las interacciones y relaciones entre los dos sectores anteriormente mencionados, sin embargo, el panorama muestra grandes limitaciones. El polo científico cuenta con estructuras que le permiten un mejor funcionamiento. Posee los recursos económicos y legales, entre otros, para poder desarrollar de manera más eficaz sus productos. La universidad, por su parte, realiza esfuerzos gigantescos para poder lograr un desarrollo en esta materia. No cuenta con recursos económicos ni legales para poder proteger sus invenciones fuera de las fronteras cubanas (Estévez, 2010). Estas conclusiones no sólo dan una panorámica sobre el tema en cuestión sino que abren la posibilidad a futuras investigaciones en el ramo, tan necesarias y pertinentes para nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado *et al.* (2007) "Actitudes de la población de Ciudad de La Habana hacia las técnicas nucleares". *Nucleus*, 42. Publicación semestral de la Agencia de energía nuclear y Tecnologías de Avanzada en Cuba. Ciudad de La Habana.
- Barrere, Rodolfo *et al.* (2008) *La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias. Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología e Innovación*. <<http://www.oei.es/salactsi/nano.pdf>>. Cátedra CTS+I de la Universidad de la Habana, <www.catedracts+i.vriep.uh.cu>.
- Bijker, Wiebe y Pinch Trevor (2008) "La construcción social de hechos y de artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden beneficiarse mutuamente". En: Thomas, Hernán; Fressoli, Mariano y Lalouf, Bruno (comps.). *Actos, actores y artefactos. Herramientas para el análisis de los procesos de cambio tecnológico y cambio social*. Buenos Aires.
- Bijker, Wiebe (2008) "La tecnología tiene que encajar en la sociedad". Entrevista concedida por este autor durante la *Primera Jornada Internacional de Estudios sobre Tecnología y Sociedad*, organizada por el Instituto de Estudios sobre la Ciencia de la Universidad de Quilmes. <<http://www.carlosianni.com.ar/blog/etiqueta/5/sociedad.html>>, (diciembre, 2009).
- Bueno, Carmen y Santos María Josefa (coords.) (2003) *Nuevas tecnologías y cultura*. Editorial Anthropos. Universidad Iberoamericana.
- Cabo Hernández José M. y Enrique, Carmen (2004) *Percepción social de la ciencia y la tecnología*, tesis de maestría en CTS. Cuba: Universidad de Cienfuegos (disponible en formato digital).
- Cao, Roberto (2010) Entrevista concedida a la autora (disponible en formato digital).
- Casals Fernández, Julio César (2006) "Análisis del método sociométrico". En: Casals Fernández, Julio César (comp.). *Conocimientos básicos de psicología social*. La Habana: Editorial Félix Varela.
- Desdin, Luis Felipe (2010) Entrevista concedida a la autora. Disponible en formato digital.
- Escobar, Alberto M. (2008) *NBIC: Nano, Bio, Info, Cogno. La convergencia de tecnologías. Informe del Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología (OCCYT)*. La Habana: Academia de Ciencias de Cuba (disponible en formato digital).
- Estévez Rams, Ernesto (2008) "Las nanotecnologías: buscando un enfoque integrador". Conferencia impartida por este autor en el IMRE. Universidad de La Habana.

- Estévez Rams, Ernesto y Aragón Fernández, Beatriz (2008) "Las nanotecnologías en un mundo disfuncional". Trabajo presentado en el evento *Universidad 2010* (disponible en formato digital).
- Estévez Rams, Ernesto (2009a) *La fábula de los tres hermanos: las nanociencias y las nanotecnologías en el contexto cubano*. Texto sin publicar.
- Estévez Rams, Ernesto (2009b) Entrevistas concedidas por Ernesto Estévez, director del IMRE, mayo- junio del 2009.
- Estévez Rams, Ernesto y Aragón Fernández, Beatriz (2009) *Deshojando margaritas: ¿nanociencia o nanotecnología?* (disponible en formato digital).
- Estévez Rams, Ernesto (2010) Entrevista concedida por este científico cubano a la autora.
- Giner, Salvador (1998) *Sociología*. Barcelona: Ediciones Península.
- Giner, Salvador, Lamo de Espinosa, Emilio y Torres, Cristóbal. (1998) *Diccionario de Sociología*. Madrid: Alianza Editorial.
- González García, Marta I. (2003). Tema 5: Nuevas Aportaciones en los estudios sociales de ciencia y la tecnología. Curso Virtual. Escuela de Ciencia. Centro de Altos Estudios Universitarios OEI (disponible en formato digital).
- Iañez Pareja, Enrique y Sánchez Cazorla, Jesús A. (1998) *Una aproximación a los estudios de la sociología de la tecnología*. <<http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/cts.htm>>, (2 de diciembre, 2009).
- Knorr Cetina, Karin (2005) *La fabricación del conocimiento. Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Kreimer, Pablo (1999) *De probetas, de computadoras y ratones. La construcción de una mirada sociológica sobre la ciencia*. Buenos Aires: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.
- Lamo de Espinosa et al. (1994) *La sociología de la ciencia y del conocimiento científico*. Madrid: Editorial Alianza Universal.
- López Cerezo y Cámara Hurtado (2009) "Apropiación Social de la ciencia y participación ciudadana". En: *Cultura científica en Iberoamérica. Encuesta a grandes núcleos urbanos. Proyecto estándar iberoamericano de indicadores de percepción pública y percepción ciudadana (2005-2009)*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Organización de Estados Iberoamericanos. 85-105.
- López Cerezo et al. (2002) *Políticas del bosque*. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos. Cambridge University Press.
- López Cerezo, José Antonio (2010). Entrevista concedida a la autora en el marco del Congreso Internacional Universidad 2010. Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba.
- Núñez Jover, Jorge; Pérez Ones, Isarelis y Arriete Montalvo, Luis Félix. (2009) *Biotecnología, universidad y política científica y tecnológica en Cuba: mirada a los avances y desafíos*. La Habana.
- Núñez, Jover Jorge (1999) *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. La Habana: Editorial Félix Varela.
- Pacey, Arnold (1990) *La cultura de la tecnología como proceso social*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pérez Ones, Isarelis (1997) *Aproximación al estudio de de las transformaciones actuales de la investigación científica en la Universidad de La Habana. Estudios de casos, tesis de licenciatura*. Ciudad de La Habana.

Pérez Ones, Isarelis (2008) Informe de oponencia a la tesis en opción al grado de licenciatura en sociología *Análisis del programa de alfabetización informacional de Infomed: ¿Proceso tecnológico o proceso social?*

Pérez La O, Julio (2003). Introducción al estudio de la Metodología de la Investigación Científica en las Ciencias Naturales. La Habana (disponible en formato digital).

Ritzer, George (1993). *Teoría sociológica contemporánea. Primera y segunda parte*. La Habana: Editorial Félix Varela.

Rodríguez, Carlos (2009). Entrevista concedida a la autora (disponible en formato digital).

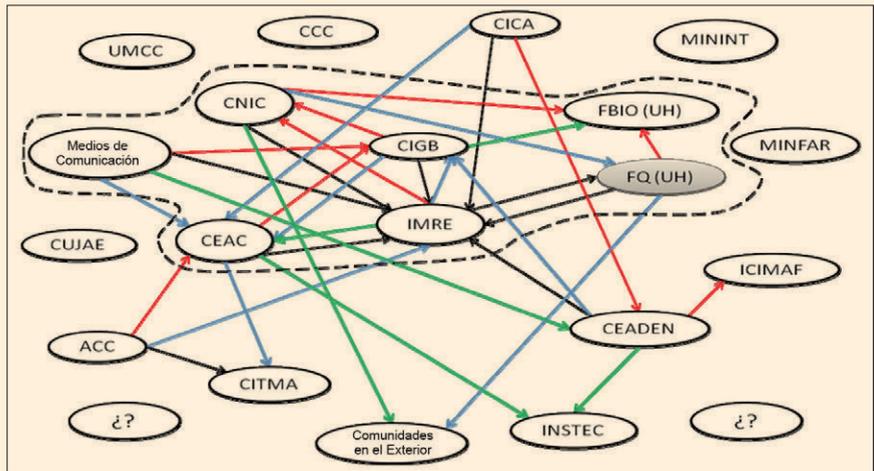
Sandoval Casilimas Carlos A (1996) Módulo cuatro. Investigación cualitativa. Instituto colombiano para el fomento de la Educación Superior. ICFES (disponible en formato digital).

Sutz, Judith (2003). Grupos de investigación en la Universidad de la República, Montevideo.

Winner, Langdon (2000) Más allá de la innovación: ética y sociedad en una era de cambio incesante. Resumen de la conferencia 10 del *Ciclo sobre Tecnología y Política*, celebrado en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, octubre, Valencia. <<http://www.rpi.edu/>>, (febrero, 2010).

ANEXO

Mapa/Sociograma con los Grupos Sociales Relevantes identificados



Leyenda:

- Flecha negra: Primera elección.
- Flecha azul: Segunda elección.
- Flecha roja: Tercera elección.
- Flecha verde: Cuarta elección.

Uso de nanomateriales magnéticos para la remoción de arsénico del agua para consumo humano*

BARRIENTOS J.E.,¹ MATUTES A. J.²

RESUMEN: Se obtuvieron nanomateriales magnéticos por medios físicos como lo es el aerosol asistido por deposición de vapor (ACCV) y medios químicos (coprecipitación química), los cuales demostraron tener una excelente capacidad de remoción de arsénico (As) y otras impurezas contenidas en agua empleada para consumo humano, esta opción de tratamiento de agua contaminada con As es una alternativa viable al ser comparada con otros métodos comerciales de tratamiento disponibles en el mercado. Los materiales obtenidos por dos técnicas de síntesis se analizaron desde el punto de vista técnico y económico; de acuerdo con su costo de obtención y la capacidad de remoción; en ambos procesos de síntesis se usaron reactivos de alta pureza: Cloruro Férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, (JT Baker)), Cloruro Ferroso ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, (JT Baker)), agua tridestilada (JT Baker), e Hidróxido de Amonio (NH_4OH). El tamaño y composición de las nanopartículas fueron conseguidos variando las condiciones experimentales, se obtuvo Hierro (Fe) metálico y Hematita (Fe_2O_3) por métodos físicos, donde la capacidad de remoción es del 100% a los 5 minutos de contacto con el agua contaminada de arsénico; también se obtuvo magnetita por medios químicos que al mismo tiempo de contacto tuvo el 95% de remoción de arsénico. Ambos materiales se analizaron por medio de microscopía electrónica de transmisión (TEM) y microscopía electrónica de barrido (SEM). La magnetita demostró que tiene la capacidad de remover otros elementos químicos presentes en el agua para consumo humano como: Cl, Ca, Na y S.

PALABRAS CLAVE: nanopartículas, arsénico, ACCVD y coprecipitación.

ABSTRACT: Nanomagnetic materials were obtained by physical method like chemical vapor deposition assisted by aerosol (ACCV) and chemical method (coprecipitation), which materials shows high capacity to remove arsenic (As) and other content impurities in water to human consume and could be a viable alternative to remove impurities if is compared with other commercial methods available. Both materials obtaining by different methods were evaluated in obtaining cost and removal capacity technical, the reactants agents were high purity: utilizing reagent grade materials: Iron (III) Chloride Hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (JT Baker)), Iron (II) Chloride Tetrahydrate ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (JT Baker)), NH_4OH and tridistilled water. Size and composition of nanoparticles were reached varying experimental conditions, metallic pure iron (Fe) and hematite (Fe_2O_3) were obtained by physical method. The magnetic materials removed 100% of arsenic contained in water after 5 minutes contact with water contaminated with As, also magnetite was obtained by chemical method and to 5 minutes of contact the remotion was 95%. Both materials were analyzed by transmission electronic microscopy (TEM) and scanning electronic microscopy (SEM). The magnetite shows capability to remove other chemical elements presents in water consume human how: Cl, Ca, Na and S.

KEY WORDS: nanoparticles, arsenic, ACCVD y coprecipitation.

* Avance de investigación.

¹ Estudiante de doctorado. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Campana-Madera. Km. 33.3 Carretera Chihuahua-Ojinaga, Aldama, Chihuahua.

Área de especialización: materiales magnéticos nanoestructurados empleados para mitigación del impacto ambiental en el sector agropecuario y forestal. Tel. 6144510601. (barrientos.eutiquio@inifap.gob.mx).

² Ph. D. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.

Miguel de Cervantes No. 120 CP 31109, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, México. Tel. 6144391100. Área de especialización: materiales magnéticos.

ANTECEDENTES

El arsénico (As) es un elemento químico tóxico para humanos, plantas y animales. La presencia de niveles de arsénico mayores a 10 partes por billón (ppb) puede presentar problemas tales como cambios de color en la piel, malformaciones parecidas a costras en las palmas de las manos y las plantas de los pies, cáncer de piel, vejiga, riñón y pulmón, así como enfermedades presentes en los vasos sanguíneos de las piernas y los pies, presión arterial alta y trastornos de la reproducción según reporta la organización mundial de la salud en su sitio de internet. Agua empleada para consumo humano contaminada con arsénico es uno de los problemas graves alrededor del mundo [1]. Las partículas magnéticas son de gran interés para fluidos magnéticos, biotecnología, biomedicina, resonancia magnética, almacenamiento de datos y remediación ambiental. Dependiendo del estado de oxidación (Fe^{+2} o Fe^{+3}), los óxidos de hierro exhiben diferentes estructuras cristalinas que incluyen la hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) y maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), la hematita es termodinámicamente más estable que la magnetita Fe_3O_4 . Hay varios métodos para producir Fe_2O_3 y Fe_3O_4 , éstos incluyen rutas químicas húmedas como la coprecipitación, decomposición térmica en líquidos y microemulsiones o síntesis hidrotérmica, pero también formación de partículas en fase gaseosa en hornos tubulares o por descomposición de flama. Diferentes hornos existentes han sido usados para la síntesis de Fe_2O_3 incluyendo difusión de flamas o spray pyrolysis operando con precursores de Fe disueltos en una solución líquida [2].

INTRODUCCIÓN

Arsénico contenido en agua para consumo humano fue removido con nanomateriales magnéticos obtenidos por dos diferentes técnicas de síntesis, el tamaño promedio de las nanopartículas magnéticas obtenidas por coprecipitación química fue de 7 nm [3], también se sintetizaron nanopartículas magnéticas por medio de la técnica ACCVD [4] logrando tener partículas de entre 100-1000 nm de una sola fase magnética, las cuales presentan una alta capacidad de remoción de arsénico y otros elementos químicos presentes en el agua.

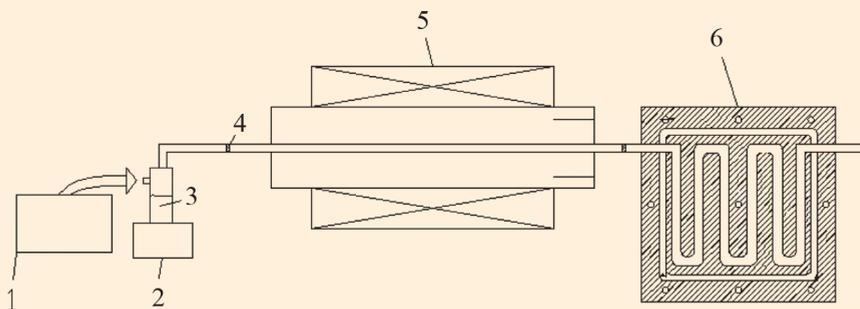
ACCVD es una técnica para obtener nanopartículas que muestran la posibilidad de obtener bajo una atmósfera y temperatura controlada nanopartículas magnéticas que pueden ser sintetizadas, Fe_2O_3 and Fe_3O_4 [5]. El proceso de generar spray es comúnmente usado para una amplia variedad de materiales en forma de polvo. El método de spray proporciona grandes ventajas sobre las técnicas de procesamiento convencional de materiales [6, 7].

En este trabajo, las nanopartículas magnéticas fueron obtenidas por coprecipitación química debido a que por este método se obtiene un tamaño de nanopartículas muy pequeño [8]. Se demuestra la eficiencia de remoción del arsénico contenido en agua para consumo humano por medio de las nanopartículas magnéticas y que se puede llevar a cabo un proceso sencillo y de fácil aplicación.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Nanopartículas magnéticas fueron sintetizadas por el método ACCVD usando materiales de grado reactivo: cloruro de hierro hexahidratado (III) ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (JT Baker)), agua tridestilada como solvente. En la figura 1, se muestra el procedimiento utilizado para la síntesis. Donde (1) es un controlador de flujo y donde se realiza la mezcla aire-argón como gas de arrastre, (2) es un ultrasonificador que genera gotas de la solución, (3) solución inicial, (4) tubo de cuarzo de 9mm de diámetro donde pasan las gotas de la solución precursora, (5) horno y (6) es el impactor donde las nanopartículas son colectadas para su posterior análisis.

FIGURA 1. Procedimiento de síntesis de nanopartículas de hematita por ACCVD.



Variando la concentración de la solución de cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) de 0.01 M a 0.1M y la temperatura del horno, nanopartículas magnéticas con diferentes fases fueron sintetizadas. La solución fue atomizada usando una mezcla de aire-argón como gas de arrastre, la temperatura del horno fue de 440 °C a 590 °C, donde la solución fue evaporada para la formación de nanopartículas; y se modificó la composición del gas de arrastre, la concentración de la solución así como la temperatura del horno para que el tamaño y composición de las nanopartículas pudiera ser modificado. En la tabla 1, se puede observar la variación de la concentración de la solución, la relación aire-argón que hace posible obtener Fe o hematita, así como obtener partículas de diferentes tamaños. La hematita es simple de obtener por este método y Fe puede ser obtenido por la ausencia de oxígeno.

La síntesis de materiales magnéticos por medio del método de la coprecipitación química, presentada en el diagrama de flujo en la figura 1, ayuda a obtener materiales con especificaciones especiales. Dicho método consiste en mezclar una solución de cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y cloruro ferroso ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) agitando mecánicamente hasta alcanzar una temperatura entre 60 °C y 70 °C y se le agrega un agente precipitante como el hidróxido de amonio (NH_4OH) al 10% en volumen para obtener las nanopartículas magnéticas. En este método de obtención de nanopartículas, al controlar el pH y la temperatura de la solución, se controla el tamaño y la fase deseada del material magnético. Después de la coprecipitación química, se lavan las nanopartículas con agua destilada para eliminar los residuos no deseados y que puedan afectar

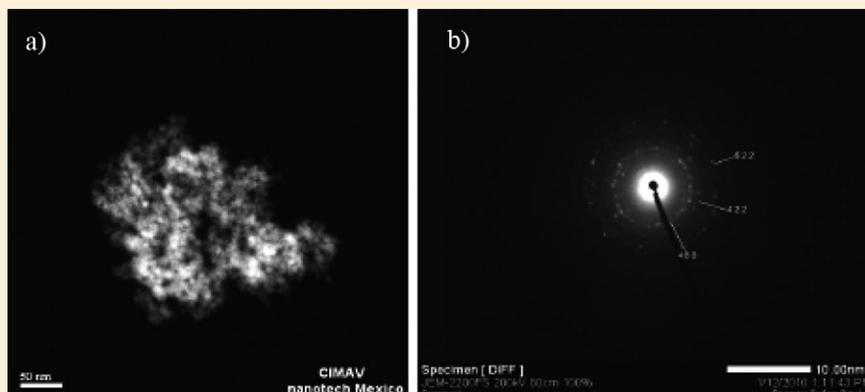
tar el proceso de captura de arsénico y otros elementos químicos contenidos en agua contaminada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Microscopia electrónica de transmisión

En la figura 2a) se muestran anillos de un patrón de difracción característicos de magnetita y en la figura 2b) un aglomerado de partículas nanométricas, las nanopartículas tienen un tamaño promedio aproximado de 7 nm. La composición química de las nanopartículas afecta la estructura interna de las mismas, por lo que los patrones son característicos para cada fase de los materiales magnéticos.

FIGURA 2a) y b). Nanopartículas y patrón de difracción de magnetita obtenidas por medio químico.



Fierro puro (Fe) y hematita fueron obtenidos por ACCVD; la figura 3a) muestra anillos de un patrón de difracción característicos de Fe y en la figura 3 b) se muestra una partícula con partículas nanométricas aglomeradas, las nanopartículas aglomeradas tienen un tamaño aproximado de 5 nm. La variación en la composición fue obtenida variando la relación de aire-argón del gas de arrastre. La composición de las nanopartículas afecta la estructura interna de las partículas.

La figura 4 muestra la imagen del análisis realizado por microscopia de nanopartículas de magnetita y se puede observar la capacidad de remover otros elementos químicos presentes en el agua tomada para realizar las pruebas de remoción.

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

En las figuras 5a) y 5b) se muestran imágenes obtenidas por microscopia electrónica de barrido de las nanopartículas magnéticas, donde se observa que son de tamaño diferente, el tamaño de las nanopartículas obtenidas por medio químico son de un

FIGURA 3a) y b). Nanopartículas y patrón de difracción de hematita obtenidas por medio físico.

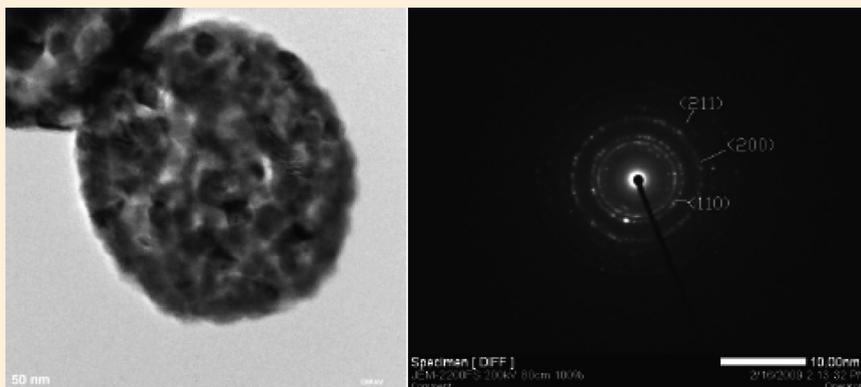
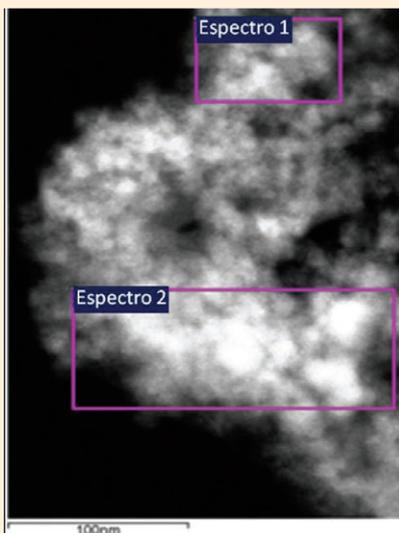


FIGURA 4. Zonas donde se realizó el análisis mediante microscopía electrónica de transmisión.



tamaño menor que las obtenidas por el medio físico, esto tiene su explicación por el proceso de nucleación y crecimiento en la obtención. Es notable la diferencia de tamaño promedio, en la figura 5a) se puede observar que el tamaño promedio está en 7 nm mientras que en la figura 5b) se observa un tamaño promedio de 250 nm.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La figura 6a) muestra un patrón característico de nanopartículas magnéticas de hematita, estas partículas fueron usadas para remover arsénico de agua contaminada, el ancho y la alta intensidad de los picos es debida al tamaño de las partículas. El tama-

FIGURA 5a). Imagen de nanopartículas de magnetita obtenida por medio químico.

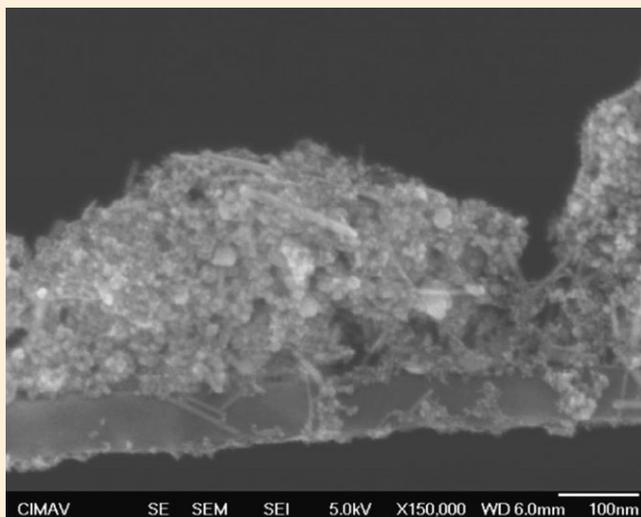
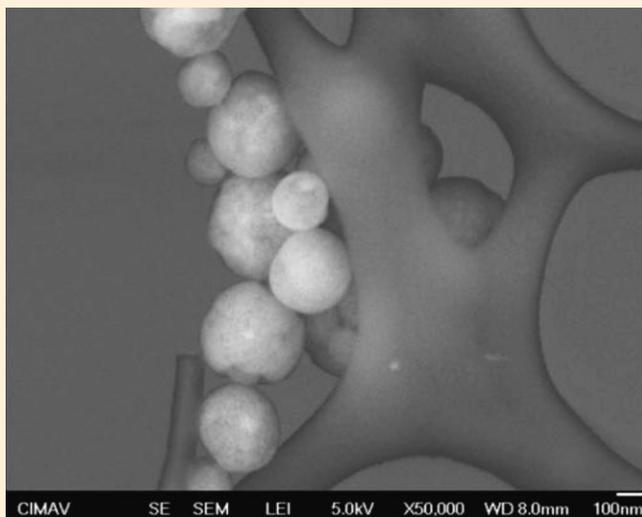


FIGURA 5b). Imagen de nanopartículas de hematita obtenidas por medio físico.



ño de las nanopartículas con una concentración de 0.01 M es de 250 nm. La figura 6b) muestra un patrón para las nanopartículas de magnetita el tamaño promedio de las nanopartículas se puede evidenciar por ensanchamiento de los picos. Para la hematita se pueden observar picos más intensos, esto es debido a que hay presente una mayor cantidad de cristales orientados en la misma dirección en un tamaño más grande de partícula, por lo tanto al tener menor cantidad de cristales, las nanopartículas de magnetita tienen picos con menor intensidad.

FIGURA 6a). XRD de hematita obtenida por medios físicos.

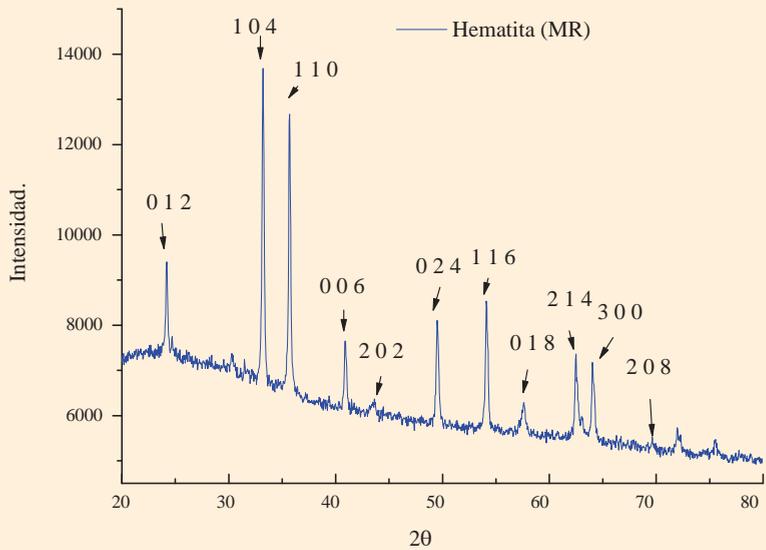
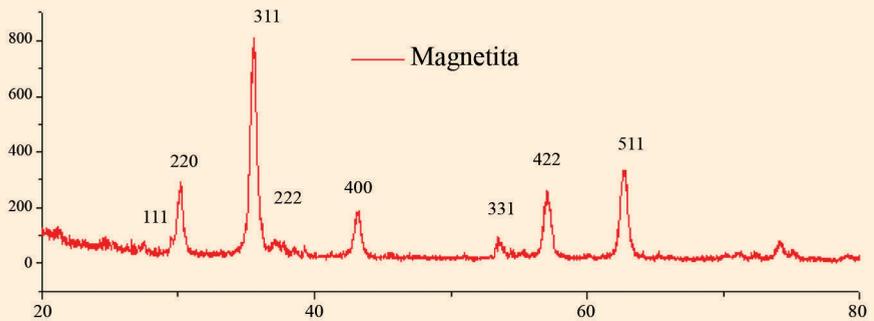


FIGURA 6b). XRD de magnetita obtenida por medios químicos.



En la tabla 1 se pueden observar los elementos presentes en las nanopartículas empleadas para la remoción de arsénico contenido en agua para consumo humano, por lo que demuestran una alta capacidad de remoción de diferentes contaminantes presentes en el agua.

TABLA 1. Elementos químicos removidos por las nanopartículas de magnetita

Espectros de la figura 6	% en peso	O	Na	Si	S	C1	Ca	Fe	As	Total
Espectro 1		42.12	6.69	9.39				41.02	0.78±.50	100.00
Espectro 2		38.70	8.05	6.75	4.76	2.42	5.63	33.69	0.00	100.00

En la tabla 2 podemos ver el tiempo de remoción, así como el costo estimado por m³ de agua tratada con las nanopartículas por ambos métodos y la capacidad de remoción, las nanopartículas de hematita obtenidas por medio físico son más eficientes al remover al mismo tiempo de contacto que con las nanopartículas obtenidas por medio químico, pero el tiempo de obtención y la cantidad obtenida por experimento es mayor. La magnetita tiene un tiempo de obtención sumamente bajo por lo que se compensa con un porcentaje bajo de remoción comparado con la hematita.

TABLA 2. Tratamiento de agua contaminada con 0.020 mg/L de As

Tipo de muestra	As mg/L	Fe mg/L	Tiempo de ultrasonificación (min)	% de Remoción	Costo de remoción por m ³
Agua contaminada con arsénico.	0.020	0	0	0	
Agua después de ser tratada con nanopartículas de hematita.	N.D.	0	5	100	\$400.00 M.N.
Agua después de ser tratada con nanopartículas de magnetita	0.001	0	5	95	\$40.00 M.N.

CONCLUSIONES

- El tamaño de las partículas de hematita es mayor que las partículas de magnetita.
- La capacidad de remoción de las nanopartículas de hematita es del 100% a los 5 minutos de contacto con agua contaminada y para las nanopartículas de magnetita es del 95% para el mismo tiempo.
- La temperatura de obtención de las partículas de magnetita es de 70 °C y para la hematita es de 590 °C.
- El costo de remoción de arsénico por cada m³ es de \$40.00 pesos con nanopartículas de magnetita y de \$400.00 con nanopartículas de hematita.

REFERENCIAS

- [1] J.T. Mayo, C. Yavuz, S. Yeanb, L. Congb, H. Shipleyb, W. Yua, J. Falknera, A. Kanb, M. Tomsonb, V.L. Colvina. "The effect of nanocrystalline magnetite size on arsenic removal". *Science and Technology of Advanced Materials* 8 (2007) 71-75.

- [2] R. Strobel, S.E. Pratsinis. "Direct synthesis of maghemite, magnetite and wurstite nanoparticles by flame spray pyrolysis". *Advanced Powder Technology* 20 (2009) 190-194.
- [3] Barrientos E., Matutes J., Miki M., Santillán R. *Método para remover arsénico de agua para consumo humano por medio de nanopartículas magnéticas, obtenidas por coprecipitación química*. Patente No.MX/a/2011/1005703.
- [4] Monárrez B., Amézaga P., Barrientos E., Miki M. *Proceso para sintetizar nanopartículas mesoporosas y huecas de alta área superficial*. Patente No. MX/a/2012/004874.
- [5] Reto Strobel, Sotiris E. Pratsinis. "Direct synthesis of maghemite, magnetite and wustite nanoparticles by flame spray pyrolysis". *Advanced Powder Technology* 20 (2009) 190-194.
- [6] A. Gurav, T. Kodas, T. Pluym, Y. Xiong. "Aerosol processing of materials". *Aerosol Sci. Technol.* 19 (1993) 411-452.
- [7] S.E. Pratsinis, S. Vemury. "Particle formation in gases". *Powder Technol.* 88(1996) 267-273.
- [8] T. Yavuz, Arjun Prakash, J.T. Mayo, Vicki L. Colvin. "Magnetic separation: From steel plants to biotechnology". *Chemical Engineering Science* 64 (2009) 2510-2521.
- [9] O. Ayala-Valenzuela, J. Matutes-Aquino, R. Betancourt-Galindo, L.A. García-Cerda, O. Rodríguez Fernández, P.C. Fannin, A.T. Giannitsis. "Magnetite-cobalt ferrite nanoparticles for kerosene-based magnetic fluids". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 294, núm. 2, julio 2005: e37-e41.

Nanotecnologías, tierras raras y ética: la defensa por un giro ético

FANNY VERRAX*

RESUMEN: Este trabajo explora los vínculos entre las nanotecnologías y los elementos de tierras raras desde un punto de vista ético. Mientras el campo de la nanoética emerge como un área robusta con muchos estudios de académicos trabajando sobre aspectos éticos y sociales asociados con las nanotecnologías, los elementos de tierras raras han sido en cambio raramente abordados por filósofos y eticistas. El presente artículo sostiene que este tipo de dicotomía en términos de intereses investigativos ilustra una tendencia desafortunada hoy en día en el campo de la ética aplicada que prefiere enfocarse en preguntas sobre “¿y si?” en lugar de aquellas sobre cuestiones del “aquí y el ahora”. En tal sentido, se dibuja un paralelismo entre esta tendencia y la bien conocida dicotomía entre la filosofía moral y la moralidad y la contextualización. Se propone esto último para apreciar los aspectos éticos que la tecnociencia acarrea.

PALABRAS CLAVE: tierras raras, nanotecnología, tecnociencia, moral, ética.

ABSTRACT: This paper explores the links between nanotechnologies and rare earth elements from an ethical point of view. While the field of nanoethics has emerged as a well-investigated area with many scholars addressing ethical and social issues raised by nanotechnologies, rare earth elements have been rather understudied by philosophers and ethicists. The paper claims that this dichotomy in terms of research interest illustrates an unfortunate tendency in the field of applied ethics today that prefers to focus on “what if?” questions rather than on “*hic and nunc*” issues. I draw a parallel between this tendency and the well-known dichotomy in moral philosophy between morality and situatedness, and propound to use the latter in our grasping of ethical issues raised by technoscience.

KEY WORDS: rare earth, nanotechnology, technoscience, morality, ethics.

NANOÉTICA: EL SURGIMIENTO DEL “¿Y SI?”

La nanoética se ha convertido en un área académica bien establecida y las nanotecnologías han “causado el nacimiento de una rama entera de la ética” (Nurock, 2010: 31).¹ La nanoética disfruta incluso de su propia revista dictaminada, *Nanoethics*, publicada por Springer desde 2007. Esta misma revista, interdisciplinaria, ofrece muchas miradas éticas como parte necesaria de la reflexión en torno a las nanotecnologías. Los aspectos nanoéticos incluyen típicamente aquellos alrededor de la privacidad y el control, la percepción pública de las nanotecnologías en diferentes áreas geográficas y contextos culturales, o cuestiones éticas derivadas de distintas aplicaciones nanotecnológicas (en biología sintética, nanomedicina, nanotubos, entre otras). Algunos

* Estudiante postdoctoral de la Escuela Normal Superior de Lyon; su línea de investigación se enfoca en la “antropología del reciclado de materiales estratégicos”. Su principal formación es en filosofía de la ciencia y estudios socioambientales. (Fanny.verrax@ens-lyon.fr).

¹ Uno debe tener en cuenta, sin embargo, que la “singularidad del debate” no se resuelve de una vez por todas. Véase: Grunwald (2005).

autores han explicado exitosamente por qué la ética ha sido un componente importante en el desarrollo de las nanotecnologías desde el surgimiento (Strand y Nydal, 2008) de la reacción social causada por los OGMs en Europa, la cual llevó a reconocer la necesidad de una “coproducción” de ciencia, tecnología y sociedad (Jasanoff, 2004). Esto es, sin embargo, cierto también para el caso de otras tecnologías emergentes, por lo que no se podría explicar la infatuación particular por la nanoética. Así las cosas, ahora será la especificidad de la nanoética explorada y sugeriré una hipótesis: específicamente, la razón por la cual los aspectos éticos han recibido mayor atención en el campo de las nanotecnologías podría ser el tratarse de una área que abre todo tipo de imaginarios, convirtiéndose así en un campo de juego lleno de posibilidades para los eticistas. Las perspectivas en nanoética nos llevarán a distinguir entre tres clases de ética, dependiendo del nivel de imaginación involucrado: *normal*, *futurista* y al que denomino *ética ficción*. Mientras sería delicado trazar una delgada línea entre la segunda y la tercera modalidad, ambas pueden considerarse como la respuesta ética a la clase de cuestionamientos iniciados con el “¿y si?”.

Pero, por qué las nanotecnologías estimulan particularmente la imaginación? Un aspecto puede asociarse al “embrollo de ilustrar e imaginar” (Ruivenkamp y Rip, 2011) la nanoescala, al ser por definición invisible; visualizar e ilustrar siempre involucran algún tipo de habilidades imaginativas, representando usualmente *lo que podría ser* en lugar de *lo que es*.

[...] uno puede distinguir entre ilustrar, esto es, crear imágenes basadas en información y enfocadas a reensamblar, de la imaginación, donde ésta es movilizada para crear una visión del nanomundo. De hecho, ilustrar e imaginar siempre están propiamente entretrejidas, en las denominadas visualizaciones científicas, donde las expectativas acerca de cómo la nanoescala podría verse dirigen las opciones involucradas en el quehacer de las imágenes. (Ruivenkamp y Rip, 2012: 185)

Este enfoque sobre los futuros potenciales, en lugar de ser sobre el desarrollo real, podría explicar la tendencia de muchos nanoeticistas de explorar escenarios, haciendo de la nanoética la esfera del “¿y si?”.

Esta tendencia parece compartida igualmente por ambos proponentes y oponentes de las nanotecnologías. Los primeros enfocándose en los beneficios esperados (¿milagros?) de las nanotecnologías (abastecimiento universal de agua potable, mejor y más barata generación de energía, alimentos interactivos inteligentes, etc.); los segundos más centrados en los riesgos —es interesante notar que esos riesgos pertenecen a las mismas “áreas” en las que suponen estar los beneficios supuestamente a alcanzar: la salud, el ambiente y los aspectos sociales—. Esos tres dominios de preocupación convergen algunas veces en escenarios catastróficos, tales como la hipótesis de la denominada “plaga gris” (*grey goo*) o de la replicación de nanosistemas fuera de control. En este escenario, los robots autorreplicantes, construidos a partir de nanotecnologías moleculares, consumen toda la materia del planeta mientras continúan reproduciéndose, llevando así al fin del mundo.²

Esto obliga a dar cuenta de la necesidad de distinguir en la nanoética entre nanotecnologías “normales” y “futurísticas”, tal y como lo ha teorizado Donlad O’Mathuna (2009).

² Véase, por ejemplo: <www.wired.com/medtech/health/news/2004/07/64235>.

La “nanotecnología normal” refiere a la investigación, desarrollo y producción ordinaria de transistores, fármacos, materiales nanoestructurados, etc., que se ha gestado en décadas. La “nanotecnología futurística” alude al mundo especulativo de los “ensambladores moleculares”, nanobots, y la transformación somática y la inmortalidad. Como O’Mathuna da cuenta en cierto modo superficial, las dos categorías se borran mutuamente y los practicantes de cada una hacen uso extensivo de los practicantes y la retórica del otro. (Mody, 2011: 436)

El problema con el grueso de las perspectivas de la nanoética es que casi toda la atención, y ciertamente toda la pasión, está dirigida hacia el futurista “¿y si?” que hacia el normal “¿qué es?” (Mody, 2011: 437).

Para ir incluso más a fondo, me permito agregar una tercera categoría a la nanoética normal y futurística: “la ética de la ficción”, corolario ético de la ciencia ficción.

Para regresar a la hipótesis de la plaga gris, Richard Smalley, galardonado en 1997 con el Premio Nobel de Química y aficionado temprano de las nanotecnologías, replicó a la pregunta sobre qué tan pronto serían realidad los robots a nanoescala señalando que “simplemente, nunca” (Smalley, 2001: 76). Obviamente, ésta es aún una pregunta controversial y muchos no concuerdan con Smalley, siendo el más famoso Erik Drexler (Drexler, 1986). El punto de este trabajo no es desde luego zanjar la disputa y decir quién está en lo correcto desde una perspectiva nanotecnológica molecular sino más bien enfatizar las profundas incertezas acerca de los avances de las nanotecnologías. Es entonces una pregunta relevante, en este contexto, el si los éticistas deberían o no invertir su tiempo considerando un caso que tal vez nunca ocurra —la distinción entre nanoética futurística siendo ésta la que refiere a desarrollos tecnológicos que podrían suceder o al menos considerados no como totalmente imposibles por una comunidad de expertos bien informados y que sí sería el caso de la ética ficción—.

TIERRAS RARAS Y ÉTICA: ¿PRESENTE... E INEXISTENTE?

El trazo de un paralelismo entre nanotecnologías y las tierras raras podría de algún modo parecer forzado. Los vínculos entre los dos casos existen, tal y como se desarrolla en la sección 3, pero eso no es esencial para nuestro propósito ahora. Las tierras raras usadas como ejemplo sintomático de un material que es esencia para nuestra modernidad³ y que sin embargo ha generado hasta ahora poco interés entre los éticistas y los académicos del campo de los estudios Ciencia, Tecnología y Sociedad (STS, por sus siglas en inglés). Pese a ello, delinearé tres aspectos que son de interés para su análisis ético.

A. El daño y beneficio ambiental: ¿sacrificar el presente por un mejor futuro?

La creciente parte de las aplicaciones de las tierras raras caen bajo la categoría de “tecnologías verdes”: desde turbinas eólicas hasta focos ahorradores de energía, de autos híbridos a baterías recargables. Al mismo tiempo, los proce-

³ Las aplicaciones de las tierras raras son numerosas en múltiples campos que pueden ser vistos como el núcleo de nuestra modernidad: la producción de energía (por ejemplo, en la refinación de petróleo, motores eléctricos, vehículos híbridos, turbinas eólicas), productos de alta tecnología (componentes de *hardware* para computadoras portátiles y teléfonos celulares, pantallas de color para televisores de pantalla plana, etc.), la investigación médica (por mencionar algunos, catalizadores para la investigación química), entre muchos otros.

sos de minado y procesamiento de los elementos de las tierras raras acarrear serios aspectos ambientales, posiblemente provocando problemas a la salud para la población concerniente. Este dilema lleva algunas veces a las siguientes retóricas: “soportemos las consecuencias negativas actuales para un mejor futuro” —no sobra decir que un futuro mejor es también visto en términos de crecimiento económico y oportunidades de trabajo—. Ésa fue, por caso, la retórica desarrollada por la Academia de Ciencias de Malasia en un informe en el que se comienza insistiendo sobre los riesgos globales de calentamiento global y la necesidad de desarrollar tecnologías verdes para así justificar una nueva orientación de la industria de las tierras raras.

“Malasia se coloca, por tanto, estratégicamente, en el desarrollo de sus industrias de tecnologías verdes, al contribuir así a las economías de bajo carbono alrededor del mundo y ayudando a asegurar un planeta sustentable para las generaciones futuras” (ASM, 2011: vii).

La pregunta, no obstante, se mantiene: ¿están sirviendo a las generaciones futuras los mineros de Baotou⁴ o los trabajadores de Malasia, o más bien a los inconformistas europeos y estadounidenses que podrían ser sus hijos *ahora*? La conciencia ética requiere ser cuidadoso en relación a que un discurso intergeneracional no sirve para esconder, de hecho, un asunto actual de injusticia intrageneracional.

B. El monopolio Chino y la dependencia occidental: ¿quién es dueño de qué?

Un aspecto planteado en relación con los elementos de tierras raras es la obligación legal —y moral— de China de exportar sus recursos. Es bien sabido el hecho de que China produce actualmente más del 95% de las tierras raras a nivel mundial. Lo que es menos mencionado es que el país “sólo” tiene un tercio de las reservas conocidas —es decir, que la suerte geológica no lo explica todo—. Pese a ello, los países que son dependientes de las exportaciones de China han hecho quejas formales ante la OMC acerca de las cuotas de exportación chinas.⁵ Es un caso complejo, basado en muchas sutilezas —como la interpretación de los artículos del GATT referentes a la protección del ambiente lo que no es propósito ahora de revisión (mayores detalles en Verrax, 2013)—. Aun así, uno podría plantear la pregunta no en términos legales y de obligaciones contractuales sino más bien en términos de aventuras éticas: ¿hay algún tipo de obligación moral, un proceso de exploración para países con recursos pobres? Y para aquellos como Estados Unidos o Australia, con documentados depósitos de tierras raras, ¿hay algún tipo de obligación de “minar en casa” primero,⁶ es decir, de soportar también asumir el daño ambiental?

C. Usos competitivos

Finalmente, tal y como ya se mencionó, las tierras raras tienen muchas aplicaciones, incluyendo las de la industria militar tanto como las de la investigación médica —sólo por mencionar un par de casos de áreas opuestas en el imaginario popular—. En tiempo de reconocida escasez —si no física, al menos econó-

⁴ En Baotou (Mongolia, China) se localiza la mina más grande del mundo de tierras raras.

⁵ Me refiero al caso registrado conjuntamente en marzo de 2012 por EUA (DS431), la Unión Europea (DS432) y Japón (DS433).

⁶ En años recientes, muchos países se han involucrado en procesos de exploración —Japón, especialmente, cuya dependencia en exportaciones chinas es total—.

mica— ¿quién se adjudica el derecho a decidir qué usos deberían priorizarse? ¿Debería haber algún tipo de regulación vertical (de arriba hacia abajo) planificada para distribuir los recursos por sector industrial? ¿Deberían los ciudadanos tener la palabra en términos de preferencias?

Como se puede observar, éstas son preguntas bien aterrizadas reflejadas en una situación presente y, sus respuestas podrían tener, de hecho, un impacto en el manejo de tales metales a muy corto plazo. Por tanto, básicamente esto sería lo opuesto a la nanoética que tiende a enfocarse más en escenarios futuros (si no es que en aquellos de ética ficción) y hace un llamado por una decisión no específica porque no está tratando con ningún asunto real actual.

Por tanto, cabe plantearse si están estos dos campos conectados a pesar de parecer estar tan alejados y en su caso cómo.

NANOTECNOLOGÍAS Y LOS ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS

Sobre cómo están conectados en el mundo material

La misma idea de comparar las nanotecnologías con los elementos de tierras raras podría sorprender en una primera impresión: mientras las primeras pueden ser definidas por la escala en la que una tecnología dada opera que, además, podría involucrar prácticamente cualquier tipo de desarrollo tecnológico, los segundos representan una familia de elementos químicos con propiedades similares.⁷ Los vínculos entre las nanotecnologías y los elementos de tierras raras pueden observarse en dos sentidos: las tierras raras son empleadas en muchos desarrollos nanotecnológicos; al mismo tiempo, las nanotecnologías son vistas como una forma de mitigar la demanda de tierras raras.

Por un lado, el primer aspecto puede ser revisado exhaustivamente en un libro reciente (Tan, 2012) que ofrece una revisión integral de los diferentes usos de las tierras raras en las nanotecnologías, desde su uso para nanomateriales en LEDs, hasta su uso en la generación de imágenes fluorescentes y por resonancia magnética (MRI, por sus siglas en inglés).

Por el otro lado, puede sostenerse que las alternativas que permiten las nanotecnologías podrían mitigar la presión sobre el mercado de tierras raras. La nanotexturización de materiales electrodo podría, en efecto, ser usada para mejorar la tecnología actual de iones de litio. En relación con una de las principales aplicaciones de tierras raras, los magnetos, la mezcla de nanopartículas de tierras raras con nanopartículas de hierro, podría producir magnetos tan potentes con mucha menor cantidad de tierras raras incorporadas.

Como se ha visto, las nanotecnologías no remplazarán las tierras raras sino, más bien, permitirán disminuir la cantidad de su uso. Los artefactos creados con base en nanopartículas de tierras raras ¿deberían, entonces, seguir siendo analizados a través del prisma de la nanoética?

⁷ El término “tierras raras” se refiere a 17 elementos químicos: la familia de los lantánidos (con número atómico entre 57 y 71), el escandio y el itrio (dadas sus propiedades magnéticas similares a los lantánidos).

Similitudes éticas

En ambos casos el enfoque sobre potenciales riesgos y beneficios tiende a dominar los discursos éticos tal y como ha sido advertido por varios autores (véase, por ejemplo, Strand y Nydal, 2008). Esto nos lleva a muchas formulaciones maniqueas tales como:

Claramente, la tecnología puede producir beneficios como daños. En particular, la nanotecnología ofrece mucho más esperanza para mejorar la condición humana. (Moor y Weckert, 2004: 304)

Ejemplos tomados por tales autores incluyen la limpieza del entorno natural a través del diseño de fotosíntesis artificial y, por tanto, de la manufactura a bajo costo de agua potable y alimentos seguros, la pelea del cáncer mediante el uso de nanobots, etcétera. Como los autores o exponen:

[...] una tecnología que ofrece la esperanza de un ambiente más limpio, mejores materiales, mejorar la salud, abundancia de alimentos, y computadoras más económicas, resulta muy atractiva. (*Ibid.*)

Tan entusiastas como son, los autores reconocen, asimismo, que “los potenciales beneficios son inmensos, pero los potenciales riesgos son inmensos también” (*Ibid.*: 305). Así, de acuerdo con los mencionados autores, dado que “...los resultados dañinos son inevitables, la nanoética será necesaria”. Es interesante observar, que en gran medida basan la necesidad de la nanoética en la predicción de resultados negativos, posicionándose a sí mismos en el reino de lo que Johnson (2007) califica como “ética negativa”.

El problema de tal perspectiva es dar la impresión de que los resultados positivos y negativos son en cierto sentido conmensurables y, por tanto, que un clásico análisis costo beneficio puede resolver todas las cuestiones. Aún más, los resultados negativos son usualmente fraseados en términos de “riesgo”. Y como bien lo ha señalado Jacques Bordé,⁸ el asunto del riesgo es muy diferente del de la ética. La ética es cualitativa, el riesgo, por el contrario, es una noción cuantitativa.⁹

El riesgo de enfocarse mucho en el riesgo y la dicotomía maniquea entre resultados “buenos” y “malos” es que nos limita a una noción costo-beneficio consecuencialista al tiempo que se pierden de vista alternativas potenciales muy fructíferas.

Contrastes éticos

El principal contraste parece ser uno de temporalidad: mientras al tratar con tierras raras algunos aspectos pueden descomponerse en “ignorar el presente para un mejor futuro”, en el caso de la nanoética, como se ha dicho, parece que los eticistas están casi siempre fantaseando sobre catástrofes futuras e ignorando los beneficios modestos actuales.

⁸ Bordé dio pie a la iniciativa para realizar una guía ética en el marco del comité de nanoética, parte del comité de ética del Centro Nacional de Investigaciones. Véase: <www.cnrs.fr/comets/IMG/pdf/10-ethique-nanos.pdf>.

⁹ Textual: “La question du risque est très différente de celle de l'éthique. L'éthique est qualitative, le risque, au contraire, est une notion quantitative”.

Hasta ahora, ninguna vida humana ha sido amenazada con el uso de las nanotecnologías. Contrariamente, el minado y procesamiento de tierras raras suponen haber causado¹⁰ y siguen causando muchos problemas de salud entre los mineros y la población local, todo a la par que se han contaminado los suelos y aguas alrededor de Baotou.

Enfocarse en un futuro incierto en lugar de hacerlo en el presente es problemático por varias razones. Puede inducir, por ejemplo, el riesgo, o puede ser el síntoma de lo que se ha calificado como esquizofrenia moral.

No conmoverse por lo que uno valora —lo que uno considera bueno, agradable, correcto, hermoso, y así sucesivamente— nos habla de una enfermedad del espíritu. No valorar lo que nos conmueve también nos habla de una enfermedad del espíritu. Tal enfermedad, o enfermedades, puede ser adecuadamente calificada como “esquizofrenia moral” —porque son una división entre los motivos de uno y las razones de uno. (Stocker, 1976: 453-454)

Ignorar lo que uno conoce mejor, el presente, y enfocarse en incertezas futuras, puede ser visto como una ilustración de tal esquizofrenia moral.

A continuación delinearé una alternativa ética que se espera pueda ser útil para hacer frente a la esquizofrenia moral que surge de la dicotomía temporal. Pero, en principio, es necesario comprender aquello que interesa a la imperante clase de ética del “¿y si?”.

HACIA UN GIRO ÉTICO SITUADO, INCORPORADO Y ORIENTADO EN EL PRESENTE

Sugiero dos razones que explican la tendencia de la ética para enfocarse en aspectos aún no ocurridos y que tal vez nunca lo hagan. La primera surge del impulso humano por imaginar y prever un futuro con tendencias a verse mucho más interesante de lo que de hecho sabemos y experimentamos en nuestras vidas actuales. El segundo proviene del miedo, del miedo a ser normativo y responsable. De hecho, si los eticistas dejaran de escribir en un estilo propio de la esfera protectora del “¿y si?”, se les solicitaría que dieran una opinión real sobre un aspecto actual y que consideren ser responsables de sus elecciones.

De hecho, la perspectiva temporal es sintomática de otra falacia que podemos llamar “ética abstracta”.¹¹ Si aceptamos el punto de vista contextualizado —en oposición al punto de vista moral— los juicios éticos casi siempre ocurren cuando se incorporan en situaciones de la vida real:

[...] las situaciones en que ejercitamos nuestra experiencia ética sobrepasa por mucho aquellas en las que debemos ejercitar la deliberación ética explícita. (Varela, 1999: 23)

Por tanto, localizar el debate acerca del desarrollo de una tecnología específica en el futuro acarrea dos inconvenientes. Primero y de modo paradójico, hace la discusión más moralística y normativa para las peculiaridades contextuales no consideradas. Segundo, permite a los eticistas rechazar la rendición de cuentas.

¹⁰ Ha sido muy delicado y difícil el acceso a información confiable de parte de la República Popular China.

¹¹ Varela (1999) se pregunta “por qué uno podría confundir el comportamiento ético con el juicio”, distinguiendo así entre lo que él llama la tradición abstracta cartesiana occidental y un nuevo paradigma basado en la idea de que las unidades de conocimiento son concretas. Aboga, por tanto, por un modelo nuevo que denomina “cognición como enacción” (*cognition as enaction*).

La tabla 1 resume las dos visiones discutidas aquí.

TABLA 1. Visión moralizada *versus* visión contextualizada

	Moralidad	Contextualización
¿Cómo? (proceso)	Análisis Deliberación	Promulgación Encarnación / Personificación
¿Qué? (herramientas éticas)	Escenarios Experimentos de pensamiento “ética de ficción”	Descripción de la realidad Fenomenología
¿Quién? (alcance de la <i>expertise</i>)	Expertos académicos y técnicos	Cualquiera es un experto en ética
Tipo de acción	Consciente e intencional	Desinteresado y no intencional
Principales autores	Kant, Habermas, Rawls, MacIntyre	Hegel, Taylor, Varela, Puech

Fuente: Elaboración propia.

Cabe aclarar que en la visión contextualizada cualquiera es un experto en tanto pertenezca a la comunidad humana:

[...] todos somos expertos porque pertenecemos a una tradición textualizada en la que nos movemos fácilmente. (Varela, 1999: 24).

En contraste con la creciente ética de ficción, a continuación se expone una agenda posible para la investigación desde una perspectiva de ética situada en ocuparse de los desarrollos tecnológicos más novedosos como las tierras raras, las nanotecnologías y otras.

En primer lugar, esta agenda implica asumir nuestro poder tecnológico y extraer las consecuencias de ello. Esto no quiere decir confiar en abstracto, descontextualizados —léase “directrices éticas” o “códigos de conducta” que algunos especialistas están tan interesados en producir—. ¹² Ello significa ser consciente de la *textura* de este nuevo contexto tecnológico para que nosotros —los ciudadanos, los científicos, los consumidores que tienen que lidiar con los nuevos productos y tecnologías— podamos identificar situaciones éticas potenciales.

En segundo lugar, asumir la responsabilidad de las compensaciones que son y serán cada vez más necesarias en tal novedoso contexto —que no quiere decir que las tecnologías sólo pueden ser definidas por sus lados “buenos” y “malos”. En este punto vale recordar lo que se conoce como “la ley de Kranzberg”: “la tecnología no es bue-

¹² A modo de ejemplo, citemos un extracto del código europeo de conducta para las nanociencias y nanotecnologías responsables: “las actividades de investigación en nanociencias y nanotecnologías deben ser comprensibles para el público. Deben respetar los derechos fundamentales y llevarse a cabo tanto bajo en su diseño como en su ejecución, difusión y uso, en el interés del bienestar de los individuos y la sociedad” (Comisión Europea, 2009: 14). Estos principios generales, en mi opinión, son inútiles para las acciones éticas, debido en parte a que no están en lo absoluto integrados en un contexto peculiar.

na ni mala, sino neutral” (Kranzberg, 1986). Obviamente es el carácter neutral lo que es importante aquí porque más allá de la evaluación moral, los avances tecnológicos sí cambian nuestro mundo, el contexto de nuestras acciones, y por esa razón, nunca son éticamente neutrales.

“Esto está muy bien” podría estar pensando incluso el lector más benévolo, pero ¿cómo sería concretamente una nanoética situada y actualmente orientada? Estamos tan acostumbrados a pensar en la ética en términos de futuro, en términos de potenciales problemas, que podríamos tener problemas para identificar aquellos que están justo frente a nosotros. Hace un par de años, León Olivé identificaba, en esta misma revista, un problema ético fundamental de la tecnociencia:

Un problema ético fundamental planteado en relación con la tecnociencia es el de si es posible lograr normas de convivencia armoniosa y de resolución pacífica de conflictos, dado que tales sistemas afectan a muy diversos grupos con intereses y valores diferentes. (Olivé, 2009: 56)

El tema de la “coexistencia pacífica” entre los grupos y las comunidades cuyos valores e intereses son divergentes, si no es que incompatibles, ya es algo muy relevante en el mundo en que actualmente vivimos. No es el propósito de este artículo trazar una agenda de investigación exhaustiva para el nuevo enfoque ético que propongo, pero voy a adentrarme con un poco más de detalle con una ilustración. Los aspectos éticos que son usualmente mencionados en torno a la discusión de la nanoética tienen qué ver con la posibilidad de ampliar enormemente la esperanza de vida —de acuerdo con el nanoentusiasta y futurista Ray Kurzweil—, en realidad, casi acercándose a la inmortalidad.

Es la extensión de vida radical. La plena realización de nanobots, básicamente, permitirá eliminar la enfermedad y el envejecimiento biológico. Creo que en 20 años vamos a ver el uso generalizado de nanodispositivos que realizan ciertas funciones para nosotros. En 30 o 40 años vamos a superar la enfermedad y el envejecimiento. Los nanobots podrán explorar órganos y células que necesitan reparaciones y simplemente los arreglarán. Esto dará lugar a profundas extensiones a nuestra salud y longevidad. (Gaudin, sin fecha)

Mi punto aquí no es decir que los avances nanotecnológicos no harán este asunto aún más preciso en el futuro, sino más bien que ya los estamos enfrentando en nuestro mundo actual. Las discrepancias con la esperanza de vida entre los países y dentro de un mismo país, entre las comunidades de bajos ingresos y altos ingresos, o entre diferentes grupos étnicos, que ya es hoy por hoy terrible (menos de 40 años en el África subsahariana de cara a más de 80 años en la mayoría de países europeos, Australia, Japón y Canadá). Sí, el uso de las nanotecnologías aumentaría la brecha aún más, pero y ¿qué estamos haciendo para atender el problema de la discrepancia de vida hoy día? ¿No es acaso ésa una cuestión ética?

CONCLUSIÓN

En este artículo he argumentado que otra forma de abordar los problemas éticos derivados del desarrollo de las nanotecnologías es posible y deseable. Esto es por supuesto aplicable al campo de la “tecnociencia” en general, dígame las nanotecnologías,

la geoingeniería o las biotecnologías en tanto que todas comparten la particularidad de ser tratadas por parte de los especialistas en ética, esencialmente desde una perspectiva futurista.

Las principales consecuencias prácticas de este cambio de paradigma serían, tanto la cesantía de directrices éticas generales o códigos de conducta ya que no están integrados en un contexto particular, como la apuesta por la participación generalizada de los ciudadanos y los consumidores en las deliberaciones públicas —no como personas comunes, sino como “expertos éticos”.

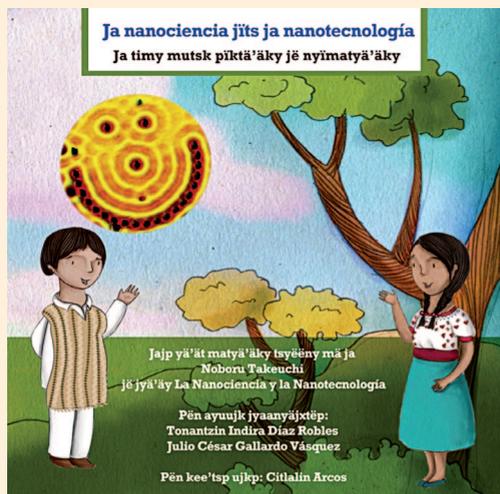
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASM (2011) *Rare earth industries: moving malaysia's green economy forward*. <http://dspace.uniten.edu.my/jspui/bitstream/123456789/4002/1/RARE%20EARTH%20Report_English.pdf>.
- Comisión Europea (2009) *Comission recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research & Council conclusions on responsible nanosciences and nanotechnologies research*. <http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/nanocode-apr09_en.pdf>.
- Drexler, K. E. (1986) *Engines of creation. The coming era of nanotechnology*. Doubleday.
- Gaudin, S. (sin fecha) “Nanotech could make humans immortal by 2040, futurist says”. <www.computerworld.com/s/article/9138726/Nanotech_could_make_humans_immortal_by_2040_futurist_says>.
- Godman, M. (2008) “But is it unique to nanotechnologies? Reframing Nanoethics”. *Science and Engineering Ethics*, vol. 14, núm. 3: 391-403.
- Grunwald, A. (2005) “Nanotechnology – A new field of ethical inquiry?”. *Science and Engineering Ethics*, vol. 11: 187-201.
- Jasanoff, S. (2004) *States of knowledge: The co-production of science and the social order*. Londres, Reino Unido: Routledge.
- Johnson, D.G. (2007) “Ethics and technology ‘in the making’: An essay on the challenge of nanoethics”. *Nanoethics*, vol. 1: 21-30.
- Kranzberg, M. (1986). “Technology and History: “Kranzberg’s Laws””. *Technology and Culture*, vol. 27, núm. 3: 544-560.
- Mody, Cyrus C.M. (2011) “Nanoethics: Big ethical issues with small technology (review)”, *Technology and Culture*, vol. 52, núm. 2: 436-437.
- Moor, J., Weckert, J. (2004) “Nanoethics: Assessing the nanoscale from an ethical point of view”: En i Baird, D., Nordmann, A., Schummer, J. (eds.). *Discovering the nanoscale*. Ámsterdam: IOS Press.
- Nurock, V. (2010) “Nanoethics: Ethics for, from, or with nanotechnologies?”. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, vol. 16: 31-42.
- Olivé, L. (2009) “Problemas axiológicos y éticos de la tecnociencia”. *MundoNano*, vol. 1, núm. 2: 48-60.
- O’Mathuna, D. P. (2009) *Nanoethics: Big ethical issues with small technology*. Continuum.
- Puech, M. (2013) “Ordinary technoethics”, *International Journal of Technoethics*, vol. 4, núm. 2: 36-45.

- Ruivenkamp, M. y Rip, A. (2012) "Entanglement of imaging and imagining of nanotechnology", *Nano Ethics*, vol. 5, núm. 2: 185-193.
- Smalley, R. E. (2001) "Of chemistry, love, and nanobots". *Scientific American*, 285: 76-77.
- Stocker, M. (1976) "The schizophrenia of modern ethical theories". *The Journal of Philosophy*, vol. 73, núm. 14. On motives and morals: 453-466.
- Strand, R., Nydal R. (2008) "Nanoética buena – Nanotecnología buena", *MundoNano*, vol. 1, núm.1: 61-79.
- Tan, T. T.Y. (2012) *Rare earth nanotechnology*. Pan Stanford Publishing.
- Varela, F. J. (1999) *Ethical know-how: Action, wisdom, and cognition*. Writing Science, Stanford University Press.
- Verrax, F. (2013) *Making sense of rare earth elements: An interdisciplinary approach to mineral resources' ethics and governance*, tesis doctoral. Noruega: Universidad de Bergen.

LIBROS E INFORMES

JA NANOCIENCIA JĪTS JA NANOTECNOLOGÍA, JA TIMY MUTSKPIKTÁ'ÁKY JĒ NYĪMATYÁ'ÁKY.
TAKEUCHI, NOBORU; GALLARDO VÁZQUEZ, JULIO CÉSAR Y
DÍAZ ROBLES, TONANTZIN INDIRA.
CIENCIA PUMITA. UNAM.
MÉXICO.
2013



Las propiedades de los materiales a escalas muy pequeñas, del orden de los nanómetros (un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro), son diferentes de las propiedades de los mismos materiales a escalas macro y microscópico. Estas nuevas propiedades se pueden usar en muchas aplicaciones, desde aparatos electrónicos más pequeños y versátiles, hasta nuevas

medicinas y tratamientos contra enfermedades contra el cáncer. Son tantos los posibles usos de la nanotecnología que se piensa que estamos en el inicio de una nueva revolución tecnológica. Es por esto que es fundamental que la sociedad tenga un conocimiento básico sobre esta nueva área de la ciencia y la tecnología. Los autores aseguran que de esta manera, el público sabrá sobre los muchos beneficios que la nanotecnología nos puede traer y, además, se pueden evitar miedos y temores que en algunas ocasiones las nuevas tecnologías pueden generar.

Como parte del programa Ciencia Pumita, proyecto de divulgación de la ciencia dirigido por el Dr. Noboru Takeuchi, se está editando una colección de libros de divulgación sobre nanotecnología en lenguas indígenas. Los primeros dos libros se publicaron en versiones bilingües español-mixteco y español-náhuatl. En el caso de *JananocienciajĪtsja nanotecnología*, el libro ha sido publicado en edición monolingüe en mixe como sucede con la publicación de libros en español. Debido a diferentes procesos sociales y educativos regionales, existe un número considerable de lectores potenciales en lengua mixe que conocen el sistema gráfico, pues cuenta con uno de los abecedarios más estandarizados dentro de las lenguas nacionales.

NANOTECHNOLOGY: THE WHOLE STORY.

ROGERS, BEN; ADAMS, JESS Y PENNATHUR, SUMITA.

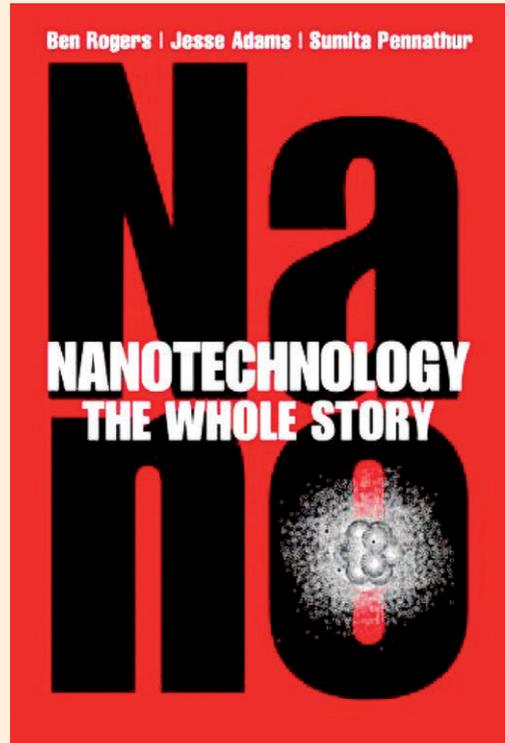
CRC PRESS.

EUA.

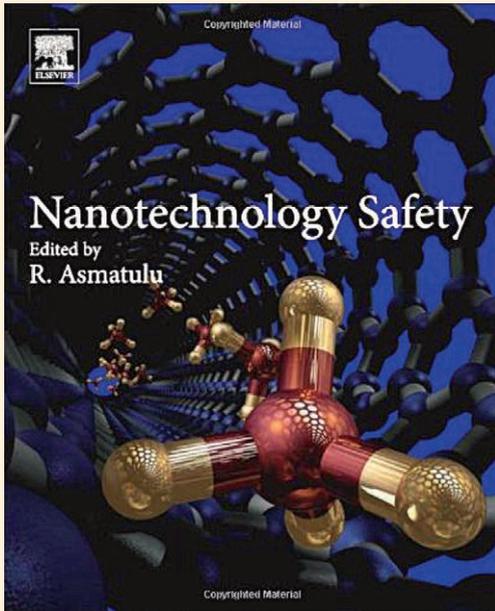
2013

Escrito por dos investigadores de la Universidad de Nevada y una de la Universidad de California-Santa Barbara, todos especialistas en la materia, la obra busca exponer no sólo la amplitud y potencial impacto de los avances de la nanotecnología, sino acercar la temática al público en general a partir de un trabajo de divulgación informado.

Los contenidos incluyen una introducción del origen del acercamiento al mundo nanométrico, comenzando con la famosa ponencia de Feynman de 1959 en la que expresó “hay mucho espacio en el fondo”. Analiza a continuación las características de la física a la nanoescala, la fabricación de nanomateriales, los aspectos de la nanomecánica y los nanoelectrónicos, la transferencia de calor y la mecánica de fluidos a la nanoescala, la nanofotónica, el encuentro de la biotecnología y la nanotecnología y las potenciales aplicaciones médicas.



NANOTECHNOLOGY SAFETY.
ASMATULU, RAMAZAN.
ELSEVIER.
EUA.
2013



Para el editor, Asmatulu, se trata de uno de los primeros libros en la temática de la nanoseguridad, útil para la investigación, la innovación, la manufactura y la transportación, almacenamiento y manejo de nanomateriales y nanoprosesos; es también de interés para propósitos educativos.

En tanto que las nuevas y únicas propiedades de los nanomateriales posibilitan todo un abanico de innovaciones, desde lo especial hasta los alimentos procesados, la revisión de los aspectos de seguridad asociados se vuelve importante, más aun cuando la cantidad de productos que hacen uso de ese frente tecnológico va en aumento: en 2006, se identificaban 700 productos;

en 2009, 1,014 y en 2011 sumaron 1,371 productos.

Enfermedades como bronquitis, asma, cánceres de hígado, pulmón y colón, Parkinson, Alzheimer, y enfermedades del corazón y el riñón se asocian a los nanomateriales. Pese a ello, no hay aún investigación suficiente, los procedimientos de manufactura son variados y por tanto los estudios comparativos resultan limitados, y en sí, no hay reglas y regulaciones claras para muchos casos. En ese sentido los científicos, tecnólogos y reguladores trabajan colectivamente para impulsar el desarrollo de nanomateriales seguros para el consumidor o para reducir o eliminar los efectos no adversos o no deseados de la nanotecnología y los productos que de ésta se derivan.

La edición del libro incluye una introducción a los aspectos económico y las principales preocupaciones sociales. Revisa los fundamentos de la seguridad, la vinculación entre la ética de la nanotecnología y la seguridad de los nanomateriales. Analiza también cuestiones ambientales y de seguridad desde la regulación. A continuación verifica el estado de situación de la nanotecnología y las medidas de seguridad en sectores como el automotriz, la industria biomédica, la aeroespacial, la aplicación de nanopartículas en alimentos procesados, la generación de energía, la industria de las telecomunicaciones y los electrónicos, los sensores y las aplicaciones de seguridad. Cierra con dos capítulos relativos a potenciales herramientas para promover la seguridad nanotecnológica (los análisis de riesgo y la certificación) y con uno final entorno a los fenómenos físico-bioquímicos de riesgo en la nanotecnología que demandan atención.

NANOTECHNOLOGY IN THE AGRI-FOOD SECTOR.

FREWER, LYNN; NORDE, WILLEM; FISCHER, ARNOU Y KAMPERS, FRANS (EDS.).

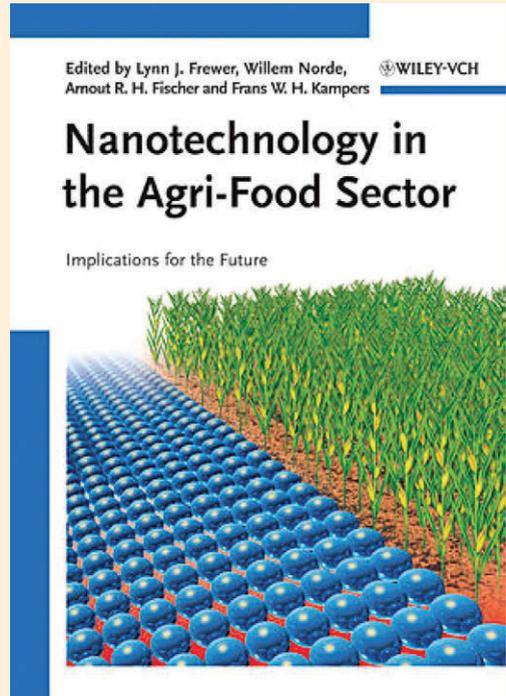
WILEY.

2011

La obra proporciona una visión general de la nanotecnología en el contexto de la agricultura y la ciencia de los alimentos. Aborda temas como nanoaplicaciones tecnológicas en el sector agroalimentario, así como las implicaciones sociales y éticas.

Tras una revisión de los conceptos básicos, el libro revisa en profundidad cuestiones como el procesamiento y la ingeniería, la encapsulación y la entrega de compuestos, embalaje, protección de cultivos y enfermedades. Cuestiones relacionadas con las interacciones intermoleculares, las estructuras supramoleculares y aplicaciones básicas en la producción, procesamiento y empaquetamiento de alimentos son ofrecidas.

A lo largo de la discusión se destacan los aspectos técnicos, económicos, normativos y de seguridad de la nanotecnología en la ciencia de la alimentación y la agricultura. En tal sentido, se incluye una mirada a cuestiones sobre comercialización y comportamiento de los mercados y las inversiones en aplicaciones nanotecnológicas en el sector agroalimentario; en la toxicología de los nanomateriales en los alimentos, en las potenciales implicaciones de seguridad del uso de nanomateriales en alimentos y de materiales que entran en contacto con los mismos (léase, por ejemplo, empaques) y las regulaciones necesarias; en las consideraciones sociales y ambientales de las aplicaciones nano; en la posibilidad de reacciones alérgicas; en la necesidad de comunicar los riesgos y los beneficios a través de



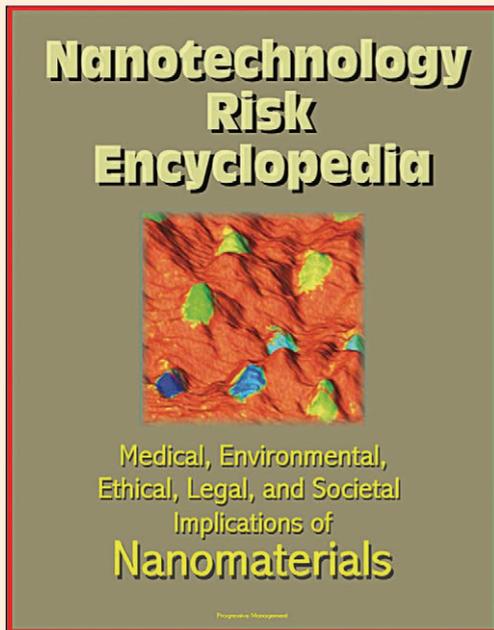
acercar al público cuestiones emergentes; y en lo oportuno de considerar aspectos éticos y de desarrollar buenas prácticas en la gobernanza de las tecnologías emergentes.

NANOTECHNOLOGY RISK ENCYCLOPEDIA: MEDICAL, ENVIRONMENTAL, ETHICAL, LEGAL AND SOCIETAL IMPLICATIONS OF NANOMATERIALS.

REPORT OF THE NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE WORKSHOP.

EPA/NIH/FDA.

2013



Ocho informes federales proporcionan en esta compilación una visión completa de los temas de seguridad, salud y medio ambiente relacionados a la nanotecnología y el desarrollo de nanomateriales. La información deriva de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los Institutos Nacionales de Salud (NIH) y la Administración de Alimentos y Drogas (FDA).

El primer informe relativo a “Métodos de gestión de riesgo, y los aspectos éticos, legales y sociales de la nanotecnología” considera que el desarrollo responsable de la nanotecnología depende de la gestión de los riesgos potenciales que plantea esta tecnología, razón por la cual se asume importante identificar la información

disponible y la investigación necesaria sobre los métodos de gestión de riesgos para informar las decisiones sobre las implicaciones de los nanomateriales en el medio ambiente, la salud y la seguridad (EHS). El ejercicio incluye la exploración del importante papel desempeñado por las implicaciones éticas, legales y sociales de la nanotecnología.

El segundo informe, “Libro Blanco Nanotecnología de la EPA” describe los problemas que dicha entidad debe considerar para asegurar los beneficios sociales que la nanotecnología puede ofrecer para la protección del medio ambiente, y para comprender y abordar los posibles riesgos derivados de la exposición ambiental a los nanomateriales.

El informe sobre “Estrategia de investigación en nanomateriales” precisa que el uso de la nanotecnología en los sectores industriales y de consumo aumentará significativamente en el futuro de ahí que asuma que la nanotecnología ofrece a la sociedad la promesa de grandes beneficios. En tal contexto el reto para la protección ambiental es asegurar que a medida que se desarrollan y utilizan los nanomateriales, se eviten o reduzcan al mínimo las consecuencias no deseadas de la exposición a los seres humanos y los ecosistemas. Además, se necesitan conocimientos sobre cómo aplicar de forma sostenible la nanotecnología para detectar, controlar, prevenir, controlar y eliminar la contaminación.

El informe de la EPA “La construcción de una base científica para decisiones ambientales efectivas - ciencia en acción” indaga en la necesidad de investigación para desarrollar tecnologías de control de contaminación y determinar la aplicación de la nanotecnología para reducir los residuos durante los procesos de fabricación o para

mejorar la eficiencia de fabricación de modo que se evite al máximo la contaminación.

El informe sobre el “Programa de manejo de materiales a la nanoescala” y el de “La nanotecnología en los institutos nacionales de salud” indagan interrogantes sin respuesta acerca de los riesgos potenciales de los nanomateriales para la salud humana y el medio ambiente. Y es que lo anterior se torna importante bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas, que obliga a la EPA a garantizar que los riesgos potenciales sean comprendidos y controlados para proteger la salud humana y el medio ambiente de forma adecuada.

El informe sobre “Nanotecnología programas progreso de opinión de los institutos nacio-

nales de salud” describe tres áreas principales de la inversión en nanotecnología: 1) áreas de financiamiento, 2) iniciativas principales en los Institutos, y, 3) la visión general de las áreas del programa NIBIB y sus inversiones.

Finalmente, el octavo informe que compone la enciclopedia, “Nanotecnología - un informe de los EE.UU de la FDA” aborda cuestiones científicas como algo distinto de las cuestiones de política regulatoria en el reconocimiento de la importancia del papel de la ciencia en el desarrollo de las políticas de regulación en este ámbito, el rápido crecimiento del campo de la nanotecnología, y el estado evolutivo de los conocimientos científicos relacionados con este campo.

INSTRUCTIVO PARA AUTORES

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

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

CARTAS DE LOS LECTORES

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

NOTICIAS

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

ARTÍCULOS

ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN SOBRE ASPECTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS, POLÍTICO-ECONÓMICOS, ÉTICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA NANOCIENCIA 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. (DEBERÁN INICIAR CON EL RESUMEN Y PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL SEGUIDOS DEL RESPECTIVO ABSTRACT Y KEYWORDS EN INGLÉS).

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

AÑIN AL TEMA DEL ARTÍCULO Y CON COPIA A MONDUNO@CNYN.UNAM.MX.

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

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

EVENTOS

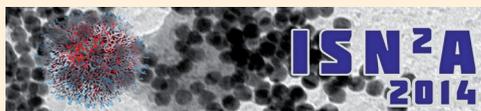
▼ 31 de marzo al 4 de abril de 2014



PACHUCA, HIDALGO, MÉXICO.

▼ 20 al 22 de enero de 2014

**International Symposium /
Nanomaterials and Applications**



HOTEL COSTA DA CAPARICA. LISBOA, PORTUGAL.

INFORMACIÓN:
<WWW.ISN2A2014.COM>.

▼ 29 al 31 de enero de 2014

Nano Tech 2014

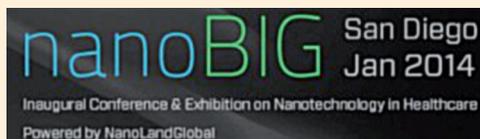


TOKIO BIG SIGHT. TOKIO, JAPÓN.

INFORMACIÓN:
<WWW.NANOTECHEXPO.JP/>.

▼ 30 al 31 de enero de 2014

**nanoBIG–Conference & Exhibition on
Nanotechnology in Healthcare**



SAN DIEGO, EUA.

INFORMACIÓN:
<TCBI.ORG/NANOHEALTH>.

▼ 19 al 21 de febrero de 2014

International Conference on Nanotechnology, Nanomaterials & Thin Films for Energy Applications

NANO ENERGY

UNIVERSITY COLLEGE LONDON. LONDRES, REINO UNIDO.

INFORMACIÓN:
<WWW.NANOENERGY.CO.UK>.

▼ 19 al 20 de febrero de 2014

Iran NanoSafety Congress 2014



AUDITORIO GHODS, UNIVERSIDAD DE TEHERÁN DE CIENCIAS MÉDICAS. TEHERÁN, IRÁN.

INFORMACIÓN:
<[HTTP://IRANNANO.ORG](http://IRANNANO.ORG)>.

▼ 10 al 14 de marzo de 2014

International Conference on the Science of Hard Materials



GRAND CORAL BEACH CANCUN RESORT & SPA , CANCÚN, MÉXICO.

INFORMACIÓN:
<WWW.ICSHM10.ORG>.

▼ 2 al 4 de abril de 2014

Nanotechnology for Health Care Conference



WINTHROP ROCKEFELLER INSTITUTE, ARKANSAS, EUA.

INFORMACIÓN:
<[HTTP://ARKANSASNANOHEALTH.COM/](http://ARKANSASNANOHEALTH.COM/)>.

▼ 7 al 9 de abril de 2014

Nanomaterials for Industry

CROWNE PLAZA. SAN DIEGO, CALIFORNIA., EUA.
CONFERENCIA DIRIGIDA A EJECUTIVOS, INGENIEROS Y CIENTÍFICOS PARA OBTENER CONOCIMIENTO ESENCIAL Y DE GRAN ALCANCE SOBRE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LAS APLICACIONES DE LOS NANOMATERIALES.

INFORMACIÓN:

<[HTTP://WWW.EXECUTIVE-CONFERENCE.COM/CONFERENCE/NANO13.PHP](http://www.executive-conference.com/conferences/nano13.php)>.

▼ 6 al 9 de mayo de 2014

Graphene 2014



CENTRO DE CONGRESOS PIERRE BAUDIS, TOULOUSE, FRANCIA.

INFORMACIÓN:

<[WWW.GRAPHENECONF.COM](http://www.grapheneconf.com)>.

▼ 17 al 19 de junio de 2014

NanoLondon



LONDRES, REINO UNIDO.

INFORMACIÓN:

<[WWW.NANOLONDON.COM](http://www.nanolondon.com)>.

