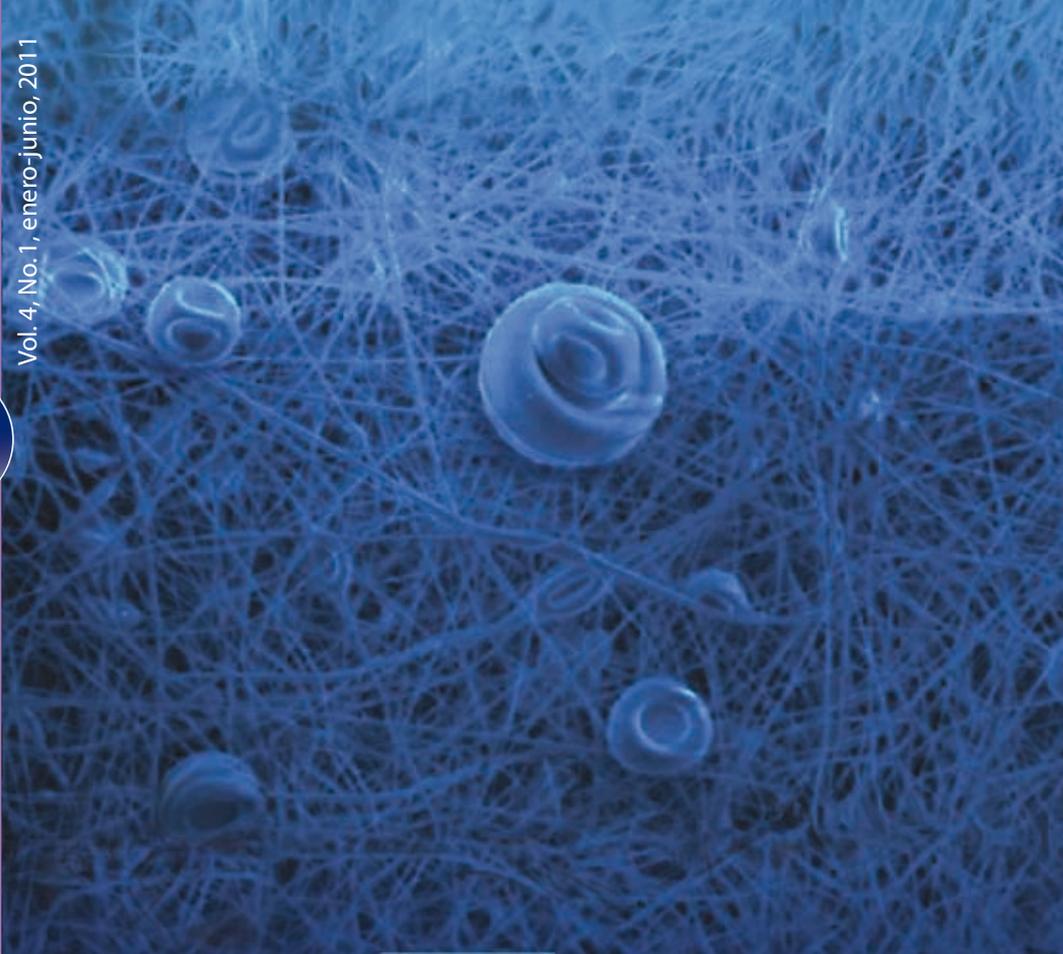


- 
- **Clúster de nanotecnología de Nuevo León**
 - **Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas**
 - **Riesgos en el trabajo a nanoescala. Una visión desde la ética**
 - **Percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología en la UNAM**



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

DIRECTORIO

UNAM

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

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

MUNDO NANO

Editores

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

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

Comité Editorial

Física (teoría)

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

Física (experimental)

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

Ingeniería

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

Microscopía

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

Catálisis

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

Materiales

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

Filosofía de la Ciencia

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

Ciencia, tecnología y género

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

Ciencia, tecnología y sociedad

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

Complejidad de las ciencias

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

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

Medio ambiente, ciencia y tecnología

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

Aspectos éticos, sociales y ambientales

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

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

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



es una publicación semestral de la Universidad Nacional Autónoma de México, editada por el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Nanociencia y Nanotecnología.

Vol. 4, No. 1, México, enero-junio, 2011.

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

Registro en trámite.

Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez

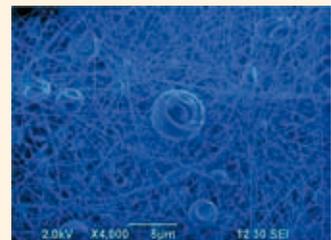
Número financiado parcialmente por el proyecto PAPIME de la DGAPA-UNAM No. PE100709 y por el proyecto No. 117258 del CONACyT-Gobierno del Estado de Baja California.

www.mundonano.unam.mx

CONTENIDO

- 4 EDITORIAL**
- 5 CARTAS**
- 5 Nanomex 2010. Un breve recuento
Lililian Morán Rodríguez
- 7 Reunión sobre “Certificación y comercialización de nanoproductos en México” en el marco del Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencias y Nanotecnología-2010
Gian Carlo Delgado Ramos
- 10 NOTICIAS**
- 10 Nanopartículas de TiO₂ y ZnO afectan negativamente el crecimiento del trigo y las actividades enzimáticas del suelo
- 11 Ciencia Pumita en Minería
- 12 Síntesis de un imán órgano-metálico con un solo-ion
- 13 Auto-enfriamiento en la electrónica del grafeno
- 13 “La nanotecnología llegará a las aulas de los países iberoamericanos”
- 14 Filtro nanotecnológico para separar el agua del aceite
- 15 Nanomateriales: encontrando amigos con una punta dorada
- 16 Optimización de células T para la lucha contra el cáncer
- 17 Noticias “nano” en *Gaceta UNAM*
- 14 ARTÍCULOS**
- 18 El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León: estrategia y operación
Jesús González Hernández
- 23 La fuerza del vacío. El efecto casimir
R. Esquivel Sirvent
- 33 Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas
Fern Wickson
- 57 Ubicación de riesgos en el trabajo a nanoescala
Una visión desde la ética
Carlos Tomás Quirino Fernando Sancén Contreras
- 67 Síntesis por el método sol-gel aplicado al estudio del polimorfismo en nanopartículas de TiO₂
M. P. Gutiérrez y M. A. Castellanos
- 74 Síntesis de captadores y liberadores de fertilizantes a partir de nanomateriales arcillosos
Prado, B., Mora L., Millán, L. y Sampieri, A.
- 85 Análisis de percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de la UNAM
Gian Carlo Delgado Ramos y Judith Sarai Peña Jiménez
- 98 ENTREVISTAS**
- 98 El mundo de lo pequeño desde la mirada de la paleontología. En busca de la huella química
Entrevista a Francisco Riquelme
Liliana Moran Rodríguez
- 101 Energía solar barata, apuesta de celdas de tercera generación
Entrevista a Gerko Oskam
Liliana Moran Rodríguez
- 103 LIBROS E INFORMES**
- 103 Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles. *Current Intelligence Bulletin*.
Departamento de Salud y Servicios Humanos. NIOSH (2009). EUA. Febrero
- 104 *Approaches to Safe Nanotechnology. Managing the Health and Safety Concern Associated with Engineered Nanomaterials*.
Departamento de Salud y Servicios Humanos. NIOSH (2009). EUA. Marzo
- 105 *Securing the promise of nanotechnologies. Towards transatlantic regulatory cooperation*
Breggin, Linda; Falke, Robert; Jaspers, Nico; Pendergrass John y Porter, Read.
Chatham House. Royal Institute of International Affairs. Londres, Reino Unido. Septiembre. 2009
- 106 Clusters. Balancing evolutionary and constructive forces.
Sölvell, Örjan.
Ivory Tower Publishers. Estocolmo, Suecia. 2008.
- 107 Takeuchi, Noboru y Romo, Marisol
El pequeño e increíble Nanomundo.
nanoUNAM-CNyN, UNAM-Canal 40 -Fundación TV Azteca. México. 2010.
- 108 IMÁGENES**
- 110 INSTRUCTIVO PARA AUTORES**
- 111 EVENTOS**

▼ Foto de nanofibras y nanodonas de TiO₂.
Microscopía electrónica de transmisión.
(Premio en NanoMex 2010)



Correspondencia:

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

EDITORIAL

El número que abre este año recoge aportes nuevos así como trabajos premiados presentados en el marco de NanoMex 2010: Tercer Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencias y Nanotecnología, celebrado el 18 y 19 de noviembre de 2010 en Cuernavaca, Morelos.

Como es usual, la revista ofrece trabajos científicos, avances de investigación, trabajos de divulgación y entrevistas. Los temas abordados incluyen una presentación sobre el estado del clúster de nanotecnología en Nuevo León que se complementa con la recomendación de uno de los principales informes en la temática cuyas referencias se encuentran en la sección de Libros e Informes. También se presentan algunos aspectos básicos sobre la fuerza de Casimir que resulta de las fluctuaciones del vacío cuántico. Para ello se discuten los experimentos recientes para medir esta fuerza, su conexión con las fuerzas de Van der Waals y, finalmente, las maneras de modular dicha fuerza. Se acompaña de otro trabajo que analiza teórica y empíricamente la situación actual de la gobernanza de la nanotecnología, dando cuenta de las implicaciones, riesgos e instrumentos de manejo del riesgo y la regulación del área. A la par de tal análisis, se ofrece una reflexión sobre la ubicación de los riesgos asociados a los nanomateriales en los espacios de trabajo. Se sugieren algunas lectu-

ras de reportes relativamente recientes sobre dicha temática. Se suma una evaluación de la percepción social de la nanociencia y la nanotecnología en México, tomando como referente de análisis la comunidad de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. El trabajo es un primer acercamiento, ciertamente limitado a un universo particular, pero que, sin embargo, permite apreciar algunos aspectos útiles para una mejor comprensión de la realidad y los contextos en los que se inserta el avance de la nanotecnología.

Se incluyen dos trabajos premiados en NanoMex 2010 bajo la modalidad de cartel. El primero aborda el “Estudio del polimorfismo de nanopartículas de TiO_2 sintetizado por el método sol-gel”, mientras que el segundo, la “Síntesis de captadores y liberadores de fertilizantes a partir de nanomateriales arcillosos”.

En este número hay algunos textos referentes a las actividades realizadas en el marco de NanoMex2010, abarcan una breve nota periodística y una memoria de la reunión celebrada sobre “Certificación y comercialización de nanoproductos en México”. Se trata tal vez de una de las primeras reuniones del país que aborda tal temática con actores provenientes de distintas disciplinas y de espacios propios a la academia y la industria.

Nanomex 2010. Un breve recuento

Por Lillian Morán Rodríguez

- Nanomex'10 en su tercera edición anual, impulsó el encuentro de opiniones, avances e ideas para continuar con la nanociencia y la nanotecnología en el país.
- El encuentro se distinguió con participantes de México, Portugal, Noruega y Estados Unidos. Hubo 44 presentaciones orales, 6 plenarias y 3 ponencias invitadas, así como 68 presentaciones de *pósters*.
- NanoMex 2011 se llevará a cabo en Mérida, Yucatán, del 9 al 11 de noviembre de 2011.

Nanomex'10, fue el tercer congreso anual dedicado a la difusión, discusión y avances en nanociencia y nanotecnología, organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Se llevó a cabo en Cuernavaca del 17 al 19 de noviembre del 2010.

El congreso, además de ofrecer un curso avanzado de nanoquímica para conocedores de lo nano y un taller introductorio a estudiantes y público en general, incluyendo a la prensa, también buscó, como en otras ediciones, impulsar la presentación de avances o resultados de investigación, el diálogo entre especialistas de las ciencias exactas, las ingenierías y las sociales sociales y las humanidades, así como con la industria. El encuentro tuvo más de 120 asistentes, 21 participantes en el taller introductorio, 52 participantes en el curso de nanoquímica, 44 presentaciones orales, 6 plenarias y 3 ponencias invitadas, y 68 presentaciones de *pósters*. Se contó con participantes y asistentes de México, Portugal, Noruega y Estados Unidos.

Los especialistas, convocados por los centros de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) y de Nanociencia y Nanotecnología (CNyN) coordinadores del consorcio nanoUNAM, se reunieron con el mismo objetivo de las dos ediciones anteriores: impulsar, difundir y apoyar la nanociencia y la nanotecnología en el país.

Entre los conferencistas invitados, destacaron: el Dr. José Rivas Rey del Laboratorio Ibérico



Internacional de Nanotecnología; el Dr. Eric Stach Del Center for Functional Nanomaterials, Brookhaven National Laboratory, N.Y., EUA; el Dr. Gerko Oskam del Departamento de Física aplicada CINVESTAV, IPN-Mérida; y la Dra. Fern Wickson del GenOk Centre for Biosafety de Noruega.

Los temas principalmente abordados fueron sobre materiales nanoestructurados, energía, medio ambiente, medicina, eco-toxicidad, industria y aspectos sociales y regulación. Cabe destacar que en esta edición, se realizó una reunión, por invitación, entre científicos y otros especialistas y la industria. En ésta se trataron temas como etiquetación, regulación, certificación, comercialización, seguridad y validación de las nanoaplicaciones. Como producto de la reunión, se identificó el interés mutuo de estudios o protocolos que demuestren: 1) que lo que se tiene es verdaderamente nano, 2) que realmente cumple con lo que dice hacer o que en efecto funciona el



producto y, 3) cuál es el grado de toxicidad —seguridad de los procesos y productos. Todo con el objeto de dar más garantía a la investigación, a la producción y a la población, de tal suerte que se sienta y esté segura al momento de adquirir un nanoproducto (véase la siguiente carta de este número).

La apreciación de algunos asistentes entrevistados acerca del evento fue positiva. De 20 asistentes entrevistados, la mayoría reconoció que algunos nanomateriales pueden ser tóxicos, pero sólo 3 indicó realizar algún tipo de investigación o indagación en el área. No obstante, dos terceras partes expresaron interés en hacer ese tipo de investigación, mientras que otros agregaron la falta de recursos para ello.

En el evento se escucharon diversas opiniones, como por ejemplo la de Romeo de Coss del CINVESTAV-Mérida afirmó que “es importante aclarar que un nanomaterial, dependiendo de la aplicación puede ser más o menos tóxico pero no por ello significa que no se pueda usar. Por ejemplo, cuando una tecnología está altamente integrada como la microelectrónica, celulares, pantallas, entre otras, se puede decir que prácticamente tiene grado cero de toxicidad porque no tiene contacto con el ser humano.” Un nanomaterial, precisó, “puede ser más tóxico si es ingerido por una especie o un sistema biológico pero también se tiene que evaluar el paso y desecho de ese material y dar cuenta de cómo se va a manejar; a dónde va a ir, y cuáles serán las consecuencias. Debemos buscar un equilibrio para evaluar

la toxicidad o los riesgos de los nanomateriales, tenemos que ir avanzando de manera gradual. Será difícil pero es necesario generar un protocolo de seguridad (mexicano).”

Por su parte, Milton Jorge Reyes de Milton Jorge International precisó que “México tiene una estructura científica de muy alto nivel, pero por desgracia la experiencia nos dice que no necesariamente las estructuras están diseñadas para vincularse con la industria y las que existen seguramente no se dan abasto. Hay muchas ideas que no están saliendo al mercado. Urge, por tanto, que las universidades y todas las agencias de transferencia de conocimiento se puedan ligar con el campo industrial, en especial con temas tan delicados como la relación directa del cuerpo humano con la medicina y la tecnología porque las personas merecen seguridad”.

Gerko Oskam, de Cinvestav-Mérida, indicó que “es importante trabajar en el desarrollo de las nuevas tecnologías y aprovechar todas las opciones posibles. Al final alguna funcionará. Por ejemplo, las celdas solares de tercera generación aún están en proceso de investigación y modificación pero son prometedoras para incrementar la conversión energética por sus bajos costos en el proceso de fabricación y compra de materiales bases”.



NanoMex2010 premió tres carteles y a un autor de fotografía. El material ganador de este último aparece en este número.

Reunión sobre “Certificación y comercialización de nanoproductos en México” en el marco del Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencias y Nanotecnología-2010

Responsable de la publicación: Gian Carlo Delgado Ramos

En el marco de NanoMex'2010, fueron convocados algunos expertos para discutir los principales problemas, retos, soluciones y tareas prioritarias frente al etiquetado y certificación de productos y servicios que hacen uso de nanoinnovaciones. Asimismo, se introdujo la pertinencia de incluir el tema de otras regulaciones, especialmente en lo referente a materiales nanoestructurados, por un lado, y de su empleo en laboratorios y espacios de trabajo, por el otro.

Quince fueron los principales puntos planteados por los 15 especialistas participantes:

- 1) Es adecuado tener claro que la regulación (incluyendo el etiquetado y la certificación) tiene aspectos positivos tanto en lo económico comercial, como en lo socioambiental.
- 2) No se conoce qué es la nanotecnología lo que complejiza que el consumidor crea en lo “nano”. Se piensa entonces que el producto es un engaño. se observa un relativo miedo a lo nuevo. Hay una resistencia social a lo nano, primero en tanto a su costo (lo nano *versus* otras tecnologías). El empresariado comienza a observar la necesidad de certificar sus productos ante la interrogante de: ¿mi nanoproducto tiene más funcionalidad que otras tecnologías similares? La necesidad proviene de empresas mexicanas que importan productos nano y de empresas que producen sus productos en el país. Los productos van desde recubrimientos, aditivos, pegamentos y químicos similares, hasta productos médicos y cosméticos.
- 3) Además del etiquetado y certificación, se apunta la eventual pertinencia de generar una normatividad nacional (NOM) dado que pudiera contribuir en la generación de confianza pública sobre la nanotecnología, en general, y sus aplicaciones en lo concreto. Y es que es claro que el mercado va mucho más rápido que la reacción legal-regulatoria.
- 4) El etiquetado no es lo mismo que la certificación. El etiquetado sólo informa lo que contiene el producto. La etiqueta no hace ninguna mención sobre el riesgo potencial o la toxicidad de los nanomateriales empleados y en su caso de la necesidad de manejos específicos del producto durante su uso o desecho. En el caso de la certificación, se acredita que el producto tiene lo que dice tener (forma, material, concentración, etcétera) y comprueba, por tanto, que el producto, en efecto, hace lo que supone debe hacer. Asimismo, la certificación puede precisar el grado de su seguridad en tanto a sus implicaciones medioambientales y sus efectos en la salud. Lo anterior significa que hay dos niveles de certificación: el de calidad y el de seguridad.
- 5) No existe norma sobre etiquetado de productos nano en el país y a nivel mundial al cierre de 2010 seguía una difícil discusión en el marco de la OECD y la ISO. Tampoco hay certificación que ampare los productos “nano” en tanto a calidad, características y seguridad en el país. Se consideró la pertinencia de que entidades de reputación científica puedan dar cierta certidumbre.
- 6) Para cualquier proceso de certificación serio es necesario estandarizar medidas en la escala nano y estandarizar procesos. Para ello se requieren laboratorios de certificación nacional y validación, así como las normas que los regirían. La vinculación

- y sinergia entre los centros de conocimiento, la empresa y el gobierno es necesaria y debe ser autofinanciable en la medida de lo posible, de ahí que se sugiera que las cámaras de la industria y comercio pudieran financiar los laboratorios de certificación pero bajo regulación gubernamental y en un esquema operativo que garantice la independencia y la ausencia de conflictos de interés. Por tanto, entidades tripartitas (universidad/centro de investigación –CENAM– empresas/cámaras de industria y comercio) podrían ser una fórmula viable para facilitar la conformación de laboratorios de certificación.
- 7) Se observa la existencia de una “curva de aprendizaje” de lo nano. En el proceso, las instituciones con experiencia son claves para suavizar dicha curva, por ejemplo, enseñando y comunicando la complejidad del mundo nano a otros profesionistas, distribuidores y demás actores involucrados o interesados.
 - 8) Para certificar es necesario partir de notar la asociación existente entre medida y requisitos del producto. Para ello es imprescindible tomar cuenta, por un lado, la medida —qué queremos medir y cómo (distribución de tamaño de partícula, área superficial, etcétera); por el otro, los efectos a la salud humana y el medio ambiente que obliga a tomar un compromiso básico y práctico sobre protocolos de análisis de riesgos (ecotoxicidad). Se trata de una cuestión que necesariamente tomará tiempo; c) el proceso requiere de la existencia de laboratorios acreditados, los cuales, a su vez, han de ser acreditados y utilizar mediciones trazables a los patrones nacionales de medida correspondientes bajo la responsabilidad del Centro Nacional de Metrología. Los organismos de certificación dependen de los mencionados laboratorios acreditados para certificar las características de un producto. La formalización de este sistema no podrá resultar en el lapso de un año y la rapidez dependerá en buena medida de los tiempos del quehacer político y la voluntad de los actores.
 - 9) Los criterios para certificar/acreditar los nanoprodutos aún deben ser definidos con claridad, considerando que el nanómetro es la medida estándar para longitud (derivada del metro como la medida a escala macro). Medidas de otra naturaleza deben también ser fundamentadas, por ejemplo, en términos de mol (cantidad de sustancia) por gramo. Determinando con ello las características del (nano)material empleado y el contenido de éste (o éstos) en el producto. El proceso precisa de la participación y experiencia de las universidades.
 - 10) El equipamiento de laboratorios acreditados es esencial, así como lo es también la inclusión de equipo de control para medir los contenidos “nano” en las propias empresas fabricantes. Sin embargo, es de tomar nota la necesidad insatisfecha en el país de implementar patrones de medida para calibrar los equipos utilizados en la certificación.
 - 11) Es importante no abusar de incluir todo en el rubro “nanotecnología” como tal. Se requiere hablar en términos más precisos, dígase áreas de aplicación e incluso de material(es) empleado(s). En los casos en que los materiales nanoestructurados o su empleo puntual resultasen en impactos nocivos para el medio ambiente y la salud, se deben explorar opciones tecnológicas para contrarrestar dicha situación como lo puede ser la funcionalización de los mismos o el uso de mecanismos para activar/desactivar sus propiedades. De no logarse, medidas precautorias podrían plantearse e implementarse.
 - 12) Resulta urgente consolidar una red de investigadores que pudieran impulsar estudios serios y bien coordinados de eco(nano)toxicidad. Estos esfuerzos podrían ser enriquecidos con comunicaciones y mesas de trabajo interdisciplinarias, tanto con el CENAM, como con la COFEPRI.

- 13) Se propone considerar la necesidad de conformar un laboratorio nacional interdisciplinario, dígase en nanomedicina como una de las áreas prioritarias para México. Deberá enfocarse esencial aunque no exclusivamente en las necesidades más apremiantes a nivel nacional.
- 14) El proceso de certificación y regulación de la aplicaciones nanotecnológicas obliga a la evaluación de potenciales riesgos, de la formulación de esquemas para su manejo social y su comunicación. Ello sugiere la necesidad de conformar grupos de trabajo interdisciplinarios que pudieran definir los riesgos que no se puedan evaluar por los propios científicos de tal suerte que ayuden a la toma de decisiones de modo más amplio. Ello se sugiere se haga por áreas de aplicación. Lo que se requiere pues, es “caminar en los riegos y avanzar en lo tecnológico”, se precisó. En la coyuntura actual, se plantea pertinente tomar, de otros países, normas y criterios en el entendido de que se trata de una situación provisional mientras se hacen las normas nacionales.
- 15) La Red de Nanociencias y Nanotecnología del Conacyt se propone estar receptiva al tema. Esto es relevante dado que la Red incluye en su más alto nivel, por ejemplo, al propio subsecretario de Economía.

*Cuernavaca, Morelos
19 de noviembre de 2010*

▼ 25 de enero de 2011

Nanopartículas de TiO_2 y ZnO afectan negativamente el crecimiento del trigo y las actividades enzimáticas del suelo

Según un estudio de Wenchao Du *et al* investigadores de la Universidad de Nanjing (China), publicado en el *Journal of Environmental Monitoring* (2011, 13, 822-828), las propiedades de las nanopartículas de óxido de titanio (TiO_2) y óxido de zinc (ZnO) pueden tener efectos negativos en condiciones de producción reales. Las nanopartículas fueron compradas a Sigma-Aldrich Co. (EUA) con una pureza de $>97\%$, un tamaño de 100 nm y un área superficial de $>14.0 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (TiO_2) y $15\text{-}25 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (ZnO). La morfología y la distribución de tamaño fue examinada mediante microscopio electrónico de transmisión (Hitachi H-600).

Los experimentos realizados indican una pérdida de la biomasa como producto de la interacción de las plantas con las mencionadas nanopartículas.

Los resultados precisan que las nanopartículas de TiO_2



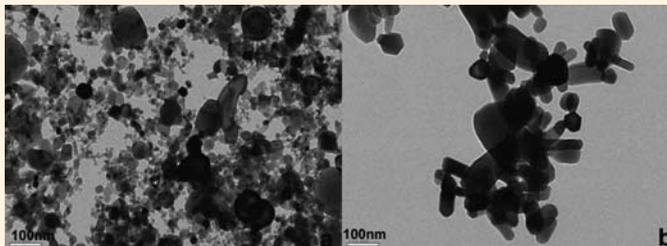
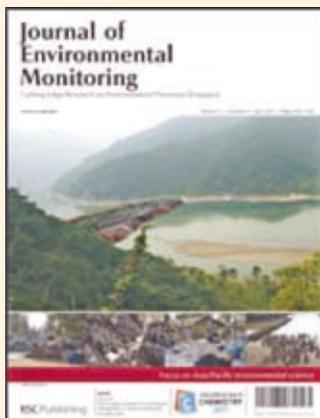
permanecieron en el suelo por periodos largos y fundamentalmente se adherieron a las paredes celulares del trigo. Las partículas de ZnO se disolvieron en el suelo incrementando la captación de la planta de trigo de zinc tóxico.

Las nanopartículas en cuestión, precisa el estudio, también indujeron cambios significativos en las actividades enzimáticas del suelo, mismas que son bioindicadores de la calidad y salud del suelo. La proteasa del suelo, la enzima

catalasa, y las actividades peroxidasa se vieron inhibidas en la presencia de nanopartículas. No obstante, la actividad ureásica no se vio afectada. Los autores concluyen que las nanopartículas en sí mismas o sus iones disueltos fueron claramente tóxicos en el ecosistema del suelo.

§

Disponible en: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2011/em/c0em00611d>



TEM micrographs of nanoparticles used: (a) TiO_2 ; (b) ZnO .

▼ 13 de febrero de 2011

Ciencia Pumita en Minería



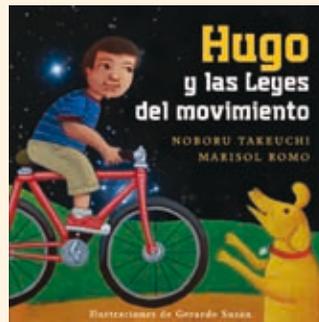
Logo Ciencia Pumita-UNAM.

El Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN) de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Ensenada presentó en la XXXII Feria Internacional del Libro del Palacio de Minería, el programa de divulgación de la ciencia para niños denominado "Ciencia Pumita". El objetivo principal de este programa, coordinado por el investigador Noboru Takeuchi, es acercar a los niños a temas de ciencia y tecnología. En la organización y atención de actividades participan académicos, estudiantes del CNYN-UNAM, colaboradores de otras instituciones y externos.

Actualmente, se visitan escuelas primarias y se les imparte una charla de divulgación sobre temas de ciencia. También se invita a algunos grupos escolares a que visiten las instalaciones del Centro, donde los niños y maestros tienen la oportunidad de ver los modernos equipos que están en los laboratorios, y aprender di-

rectamente de los investigadores sobre su funcionamiento y las investigaciones que se hacen con ellos. Además, se están elaborando páginas de internet, videos y una colección de libros con temas sobre ciencia dirigidos a un público infantil.

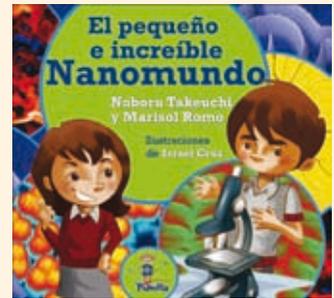
En la feria internacional del libro del Palacio de la Minería se presentaron los primeros libros de la colección "Ciencia Pumita": *Hugo y las leyes de movimiento*, publicado en coedición UNAM/Editorial Resistencia, nos relata la historia de un jovencito llamado Hugo, quien, con una inusual ayuda, aprende las leyes de movimiento para poder rescatar a su perro Frijolito de un malvado villano y de paso salvar al mundo de un gran peligro.



Portada del libro *Hugo y las leyes del movimiento*.

El pequeño e increíble nanomundo (UNAM/Editorial Resistencia, Círculo Editorial Azteca de Fundación Azteca, y NanoUNAM), enseña a los niños sobre la nanociencia y la nanotecnología, un área de in-

vestigación que por sus posibles aplicaciones prácticas, puede impactar prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas. Las expectativas son tales que se piensa que estamos ante una nueva revolución tecnológica.



Portada del libro *El pequeño e increíble nanomundo*.

En la presentación participaron por parte de Editorial Resistencia Aldo Alba, quien fungió como moderador; Josefina Larragoiti, directora del Círculo Editorial Azteca, Jesús Ortega, quien representó a Galileo Galilei y los autores del libro, los ensenadenses Noboru Takeuchi y Marisol Romo.



Foto de la presentación: de izquierda a derecha Marisol Romo, Noboru Takeuchi, Jesús Ortega y Josefina Larragoiti.



Charla de divulgación presentada en el Instituto Tlalpan.

La Lic. Larragoiti habló del Círculo Editorial Azteca y de su interés por la divulgación de la ciencia para niños, mientras que Marisol Romo relató cómo nació la idea de la escritura de los dos libros. Además, chicos y grandes se divertieron con los experimentos que realizó el Dr. Noboru Takeuchi para explicar el nanomundo, y también escuchando como Galileo Galilei les

hablaba de los problemas que tuvo en su tiempo por defender sus ideas sobre el movimiento de los planetas.

Ciencia Pumita es un programa apoyado económicamente por el gobierno de Baja California y el Conacyt a través del proyecto Fomix-BC 117258.

§

Fuente: nanoUNAM.

▼ 14 de marzo de 2011

Síntesis de un imán órgano-metálico con un solo-ion

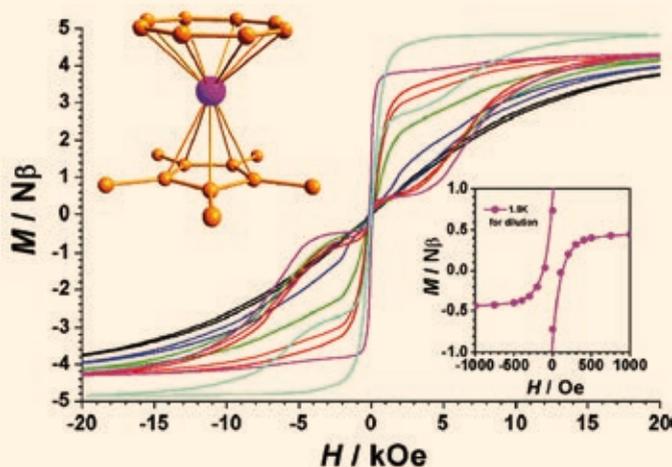


Imagen: *Journal of the American Chemical Society*.

Un nuevo estudio muestra un comportamiento magnético único en un complejo organo-metálico inusualmente asimétrico formado por un átomo de erbio entre dos diferentes anillos aromáticos de hidrocarburos. Este complejo puede convertirse en un prototipo para el desarrollo de imanes de una sola molécula (ISM), que

se está buscando para aplicaciones tales como el almacenamiento de información de alta densidad y la computación cuántica.

Los imanes convencionales se basan en el comportamiento colectivo de los espines no apareados de electrones de millones de átomos de metal individuales en un material. Al

contrario, los ISM muestran un comportamiento individual de imán. Un dispositivo magnético hecho con estos complejos (cada uno almacenando un bit de datos) podría almacenar miles de veces más información que los dispositivos de almacenamiento actuales.

La mayoría de ISM se basan en cúmulos con múltiples núcleos de iones metálicos, tales como el $Mn_{12}O_{12}$, y solamente se conocen alrededor de 10 ejemplos de ISM de un solo ion metálico. Un equipo de investigación de la Universidad de Pekín, en China, sintetizó y estudió las propiedades magnéticas de este nuevo compuesto.

§

Fuente: *Chemical and Engineering News*:
<http://pubs.acs.org/cen/news/89/i13/8913notw2.html>

▼ 3 de abril de 2011

Autoenfriamiento en la electrónica del grafeno

Con la primera observación de efectos termoelectricos en contactos de grafeno, investigadores de la Universidad de Illinois encontraron que los transistores de grafeno tienen un efecto de enfriamiento en la nanoescala que reduce su temperatura.

La velocidad y el tamaño de los chips de computadoras están limitados por la cantidad de calor que disipan. Las computadoras con chips de silicio utilizan ventiladores o agua que fluye para enfriar los transistores, un proceso que consume gran parte de la energía necesaria para accionar un dispositivo.

Los futuros chips informáticos hechos de grafeno (hojas de carbono de un átomo de espesor) podrían ser más rápidos que los chips de silicio y funcionar a una energía más baja. Sin embargo, hasta ahora no había sido posible alcanzar un conocimiento profundo de la generación y distribución de calor en los dispositivos de grafeno debido a las reducidas dimensiones involucradas.

El equipo de Illinois utilizó una punta de microscopio de fuerza atómica como una sonda de temperatura para hacer las primeras mediciones de temperatura a escala nanométrica de un transistor de grafeno en funcionamiento. Las mediciones revelaron sorprendentes fenómenos de temperatura en los lugares donde los transistores de grafeno tocan las conexiones metálicas. Los investigadores encontraron que los efectos de refrigeración termoelectrica en los contactos de grafeno pueden ser más grandes que la calefacción debido a la resistencia eléctrica, de hecho bajando la temperatura del transistor.

Este efecto de autoenfriamiento significa que la electrónica basada en el grafeno podría requerir muy poca o nula refrigeración, logrando una mayor eficiencia energética y aumentando el atractivo de grafeno como un reemplazo del silicio. A continuación, los investigadores planean utilizar

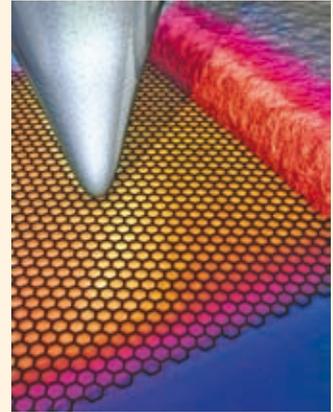


Imagen: Alex Jerez, Beckman Institute Imaging Technology Group.

la sonda de temperatura AFM para estudiar la calefacción y la refrigeración en los nanotubos de carbono y otros nanomateriales.

§

Referencia:

Buró de Noticias, Universidad de Illinois
http://news.illinois.edu/news/11/0404graphene_WilliamKing_EricPop.html

▼ 4 de abril de 2011

“La nanotecnología llegará a las aulas de los países iberoamericanos”

Durante la primera semana de abril se celebró en la sede del ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas (Madrid, España), la primera reunión de coordinación de la Red Iberoamericana “José Roberto Leite” de

Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF). Dicho encuentro fue organizado por investigadores del ETSI-ICAI de la Universidad Pontificia Comillas y del Instituto de Ciencia de Materiales

de Madrid del CSIC, y contó con expertos de una decena de países de Iberoamérica.

La Red Temática NANODYF forma parte de las acciones del Área 6 “Ciencia y Sociedad” del Programa Iberoame-

ricano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED, y tiene como objetivo promover la incorporación de contenidos relacionados con la nanociencia y la nanotecnología en los planes de estudios de educación primaria, secundaria y universitaria de los países iberoamericanos. La red también pretende establecer canales adecuados para la divulgación a toda la población del impacto que tiene la aplicación de estas tecnológicas emergentes.

La nanotecnología tendrá un impacto considerable en los métodos de producción industrial, las telecomunicaciones, la salud, y el transporte, entre otras áreas de aplicación,

por lo que es imprescindible que la sociedad esté preparada para la llegada masiva de nuevos bienes de consumo y nuevos servicios. La red NANODYF pretende que la sociedad iberoamericana se acerque a esta nueva realidad tecnológica siguiendo esquemas y programas que ya se han implantado en países como EUA, Alemania, Japón, Taiwán, Francia, Australia, Irán, etc. Además, otro aspecto que se trató en la reunión es la forma en la que se deben dar a conocer los posibles riesgos que entraña el uso de las nanotecnologías.

Durante la celebración de esta reunión se intercambiaron experiencias que se han lleva-

do a cabo en diferentes países de la región en el ámbito de la divulgación y de la educación de la nanotecnología, y se iniciaron los trabajos para elaborar el *Libro blanco sobre la divulgación y formación de la nanotecnología en Iberoamérica*. Este documento, a partir del análisis de la situación actual, diseñará estrategias y planteará actuaciones concretas para que la nanotecnología se incorpore en las aulas de colegios e institutos.

El coordinador de la Red NANODIF es el Dr. Joaquín Tutor, ICAI-Comillas y el asesor científico es el Dr. Pedro A. Serena, ICMM-CSIC. Contacto: pedro.serena@icmm.csic.es.

▼ 13 de abril de 2011

Filtro nanotecnológico para separar el agua del aceite

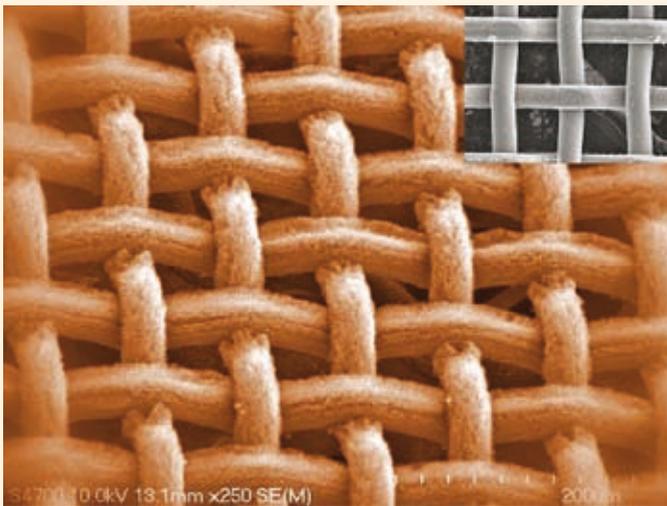


Imagen: Michigan Tech. News.

Científicos de la Universidad Tecnológica de Michigan han creado un filtro que separa el agua del aceite en forma rápida y limpia. Su fina malla de acero inoxidable, recubierta con nanotubos de carbono de cerca de 10 micrones, tiene una estructura súper-panal de abeja que repele el agua, pero le gusta la materia orgánica, como el petróleo.

El equipo vertió una emulsión de agua y la gasolina sobre el filtro para probarlo. Efectivamente, la gasolina goteó a través del filtro, mientras que el 80% del agua se quedó puesto. El prototipo tiene aproximada-

mente el tamaño de una moneda y tiene el problema de que las gotas de agua pueden obstruir los espacios entre los nanotubos. Lo atractivo es que es muy simple y funciona por gravedad.

Los investigadores dicen que ésta es una primera prueba y que se puede mejorar. Se podría suministrar electricidad al filtro para calentarlo, lo que

reduce la viscosidad del aceite y la evaporación del agua. También podría crear un vacío que podría succionar el petróleo a través del filtro. Un buen diseño de ingeniería podría resolver el problema de la obstrucción. Esta tecnología podría ayudar a purificar el aceite de las arenas bituminosas de Canadá, que está contaminado por restos de agua salada corrosiva. O,

podría ser utilizado para recuperar el petróleo de las aguas residuales de los buques oceánicos.

§

Fuente:
Michigan Tech News.
<http://www.mtu.edu/news/stories/2011/april/story38568.html>

▼ 4 de mayo de 2011

Nanomateriales: encontrando amigos con una punta dorada

Investigadores de la Universidad Nacional de Singapur han desarrollado una técnica que permite depositar metales en nanopartículas semiconductoras más fácil que nunca. Mediante el uso de luz ultravioleta para activar nanoalambres con puntas de oro, los investigadores han incorporado con éxito paladio catalítico y átomos magnéticos de hierro en nanoestructuras heteroestructuradas usando agentes reductores leves, allanando el camino para una amplia gama de nuevas aplicaciones de los puntos cuánticos.

Los nanoalambres contienen una partícula 'semilla': un punto cuántico esférico cuántica de CdSe, rodeado por una cáscara cilíndrica de moléculas de CdS, de decenas de nanómetros de largo. Bajo las condiciones adecuadas, los investigadores encontraron que las puntas de estos nanoalambres pueden actuar como

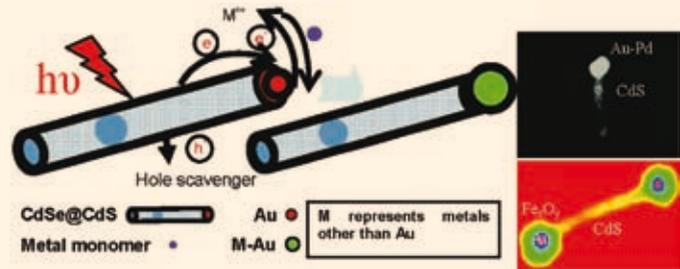


Imagen: *Journal of the American Chemical Society*.

puntos de nucleación para el crecimiento del metal. Por ejemplo, cationes de oro son depositados espontáneamente en uno o ambos extremos de las varillas de CdS, pues pueden ser fácilmente transformados en átomos cristalinos con un suave agente reductor. Cationes de metales menos reactivos como el paladio y el hierro, sin embargo, no se nuclean en ninguna de las puntas de los nanoalambres con el uso de reactivos leves. Los investigadores se dieron cuenta de que una manera de evitar este pro-

blema era explotar la sensibilidad de los semiconductores a la luz. La exposición de este material a la radiación ultravioleta produce un electrón fotogenerado y un «agujero» positivo en el nanoalambre. Normalmente, estas partículas se recombinan en una fracción de segundo, pero los investigadores creen que en presencia de una molécula como el etanol que busca los agujeros, los electrones pueden migrar a la punta de oro y mejorar su capacidad reductora. Los experimentos revelaron que esta hipótesis era

correcta, las puntas recubiertas de oro reaccionaron con los cationes de paladio resultando en una aleación de nanoestructura sorprendente, mientras que los cationes de hierro se unieron al nanoalambre en una

organización núcleo-concha (véase imagen).

Los investigadores están estudiando cómo las combinaciones de puntas de metal y semiconductores diferentes puede afectar la eficiencia de

otros procesos catalíticos foto-inducidos.

§

Fuente: physorg.com.

▼ 5 de mayo de 2011

Optimización de células T para la lucha contra el cáncer

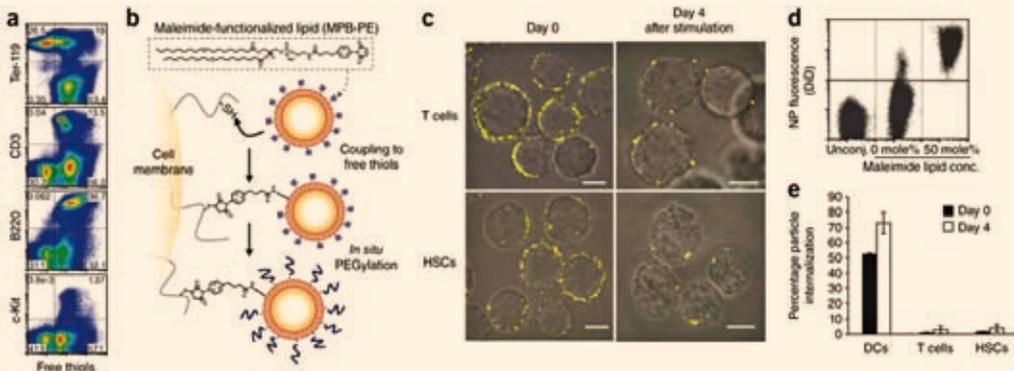


Imagen: *Nature Medicine*.

Las células T son un grupo de glóbulos blancos de la sangre que funciona con el sistema inmunológico del cuerpo. Cuando las células cancerosas se encuentran en el cuerpo, enjambres de células T las rodean, tratando de destruir el cáncer. Sin embargo, muchos tumores emiten una sustancia química que trabaja para debilitar las células T, permitiendo que el cáncer siga creciendo.

Un equipo del Instituto Tecnológico de Massachusetts descubrió que eran capaces de conectar 100 cápsulas de nanopartículas a una célula T sin afectar su función. Posteriormente, el equipo llenó estas cápsulas

con interleucinas. Las interleucinas son unas proteínas fabricadas en forma natural por el sistema inmunológico y trabajan como reguladores del sistema, manteniendo las células T en la lucha. Mediante la adición de las interleucinas agregadas, los investigadores lograron aumentar la capacidad de las células T para impulsar y atacar las células cancerosas.

Posteriormente, el equipo inyectó estas células T “optimizadas” en ratones que fueron infectados con cáncer de hueso y de pulmón. Las células T inmediatamente rodearon las células cancerosas y fueron capaces de permanecer funciona-

les por mucho más tiempo que las células T tradicionales. Además, los ratones tratados con las células T normales murieron a causa de tumores en un mes, mientras que los tratados con las células “optimizadas” mejoraron su salud.

Debido a que estas células T están siendo modificados por las nanopartículas, no hay necesidad de que sean genéticamente modificadas, un proceso que es complejo y costoso.

§

Fuente: physorg.com.

<http://www.physorg.com/news/2011-05-nanoparticle-boosted-t-cells-cancer.html>

▼ enero a abril de 2011

Noticias “nano” en Gaceta UNAM

27 de enero: “El grafeno, nuevo material con múltiples opciones tecnológicas”. Especialistas del Instituto de Física estudian las propiedades del grafeno tales como su dureza, conductividad de electricidad y calor, entre otras, para explorar aplicaciones en electrónicos, transistores, procesadores, paneles de luz, celdas solares, por mencionar algunas.

31 de enero: “El ADN sirve como molde para producir nanoalambres de plata”. En el Centro de Nanociencias y Nanotecnología se usó el ADN

como molde para fabricar nanoalambres de plata, útiles en la industria de la electrónica y fotónica para la miniaturización de los componentes y circuitos.

21 de febrero: “Los geckos podrían transformar la industria de los adhesivos.” Existe la posibilidad de que la nanotecnología aproveche las características de los reptiles, según informan los especialistas de la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia.

14 de marzo: “Nanopigmento amigable con el ambiente y

la salud.” Nanopigmento azul turquesa desarrollado por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán a base de litio y titanio.

4 de abril: “Crea la UNAM nuevas licenciaturas”. Se crea entre otras, la licenciatura en nanotecnológica de ocho semestres con sede en el Centro de Nanociencia y Nanotecnología.

§

Más información en: www.nanolic.unam.mx

El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León: estrategia y operación

JESÚS GONZÁLEZ HERNÁNDEZ*

RESUMEN: Se revisa el modelo de cluster como mecanismo para impulsar el desarrollo, entendido como el estímulo a la innovación para el crecimiento económico. Desde ahí se analiza el caso de Nuevo León y, en particular, del avance de la nanotecnología en la región y el impulso del cluster local de nanotecnología. Se presenta una descripción del estado de situación actual y de algunas perspectivas futuras.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, innovación, clúster tecnológico, México.

ABSTRACT: The model of clusters is reviewed as a mechanism to promote development, meaning the stimulus of innovation for economic growth. From that starting point it is analyzed the case of the mexican state of Nuevo León. Particularly regarding the development of nanotechnology in the region and the promotion of the local nanotechnology cluster. A description of the current state of the art and some future perspectives are also offered.

KEYWORDS: nanotechnology, innovation, clúster, Mexico.

ANTECEDENTES

El estado de Nuevo León y su ciudad capital Monterrey se han caracterizado históricamente por el espíritu emprendedor de sus habitantes, la calidad de sus instituciones académicas y la competitividad de su sector productivo. Desde principios del siglo pasado, el despliegue industrial de la región ha sido notorio en sectores tales como acero, vidrio, cemento, materiales cerámicos, productos químicos y manufactura metal-mecánica entre otros. Sin embargo, la globalización, la apertura comercial y la celebración de tratados de libre comercio con múltiples países han reconfigurado el entorno competitivo que afecta a la industria y a la sociedad de Nuevo León en general. La competencia es ahora global y las bases de la competitividad y sustentabilidad están hoy altamente relacionadas con la capacidad de una región de adoptar y desarrollar nuevas tecnologías y de crear ecosistemas que privilegien la transferencia de conocimiento.

Es claro que la competitividad de Monterrey está directamente relacionada con su capacidad de atraer, retener y desarrollar oportunidades de inversión y talento estratégico, que en conjunto permitan producir bienes de alto valor agregado y con un componente importante de innovación. Por tal motivo, se crea el Programa Monterrey Ciudad Internacional del Conocimiento (MTYCIC), la que ha privilegiado con énfasis el fortalecimiento de áreas estratégicas de conocimiento que en el mundo desarrollado están transformando a los sectores productivos, destacando: tecnologías de información, mecatrónica, biotecnología, nanotecnología y ciencias de la salud.

* Director general del CIMAV; presidente del Cluster de Nanotecnología del Estado de Nuevo León.

Dos de los ejes estratégicos más importantes del Programa MTYCIC son, por un lado, la creación del primer Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) de Nuevo León, primero en América Latina en integrar 30 organizaciones en un mismo espacio físico (70 hectáreas), entre universidades, empresas y centros de investigación públicos y privados. Se han invertido alrededor de \$1,000 millones de pesos, y en los próximos años se sumarán aportaciones públicas y privadas que superarán los \$2,000 millones de pesos. Y, por otro, el impulso de la «coopetencia» -que significa colaboración en la competencia- para establecer clústeres en las áreas estratégicas de conocimiento mencionadas, los cuales también dan una muy alta prioridad a la formación de capital intelectual y a las prácticas de innovación tecnológica.

CLÚSTERES INDUSTRIALES COMO MODELO DE DESARROLLO ECONÓMICO

Un clúster en un contexto industrial (o clúster industrial) es una concentración de empresas relacionadas entre sí, en una zona geográfica relativamente definida, de modo de conformar en sí misma un polo productivo especializado con ventajas competitivas. Este concepto fue popularizado por el economista Michael Porter en su libro *The competitive advantage of nations* (*The Free Press*, 1990).¹

Los clústeres en Nuevo León funcionan bajo el modelo conceptual de la Triple Hélice, que implica una alianza entre empresas, universidades y gobierno con el propósito de generar crecimiento económico vía la innovación, beneficiando a la sociedad en su calidad de vida. En el modelo de la Triple Hélice los tres actores principales en el desarrollo de la región se convierten en socios estratégicos para generar un proceso interactivo y sistémico: a) la academia, que, a través de las universidades y centros públicos de investigación, actúa como generadora y propagadora de conocimiento, adicionalmente, el modelo promueve que los investigadores académicos, si lo desean, se conviertan en emprendedores de sus propias innovaciones, invenciones y tecnologías, o que desarrollen alianzas con el sector privado; b) el sector productivo, por su parte, vinculado con el sector académico, utiliza el conocimiento generado para explorar nuevas oportunidades de negocio y realiza también actividades propias de I+D+i a través de inversiones u otro tipo de acciones encaminadas a mejorar su competitividad a través de la aplicación de la innovación y la tecnología en sus productos y servicios; c) el gobierno, finalmente, quien asume un rol activo en el diseño y aplicación de políticas públicas para apoyar la innovación, con lo que proporciona el marco institucional y legal apropiado y genera apoyos e incentivos que permiten tener un entorno y condiciones de crecimiento que impulsan a la región hacia un desarrollo progresivo y sustentable.

A través de la Secretaría de Desarrollo Económico de Nuevo León (SEDEC), se impulsó entonces la integración de los primeros clústeres en los sectores: aeroespacial; automotriz y autopartes; electrodomésticos; tecnologías de información y software; ciencias de la salud y biotecnología. Posteriormente, fueron estructurados e inicializados clústeres en los sectores agroalimentario, nuevos medios digitales y nanotecnología. La conformación de estos primeros clústeres, bajo la participación responsable y

¹ Para mayores referencias, léase: 1) Sölvell, Örjan. *Clusters. Balancing Evolutionary and Constructive Forces*. Estocolmo, Suecia, 2008. 2) Sölvell, Örjan; Lindqvist, Göran; Ketels, Christian. *The Cluster Initiative Greenbook*. Suecia, 2003.

conjunta del sector productivo y la sociedad civil, fue un paso importante para el desarrollo y la consolidación de Nuevo León hacia la economía del conocimiento.

DESARROLLO DE LA NANOTECNOLOGÍA EN NUEVO LEÓN

La nanotecnología constituye hoy uno de los temas de mayor relevancia científica en el ámbito internacional, con impacto, entre otros, en la medicina, los materiales avanzados, la energía, la electrónica y el medio ambiente. De acuerdo con cifras de Lux Research Inc. (la casa más importante de inteligencia competitiva en nanotecnología), se calcula que actualmente existen a nivel mundial, más de 2,500 compañías involucradas en la nanotecnología, las cuales, ya en el 2006, habían obtenido ingresos del orden de 50,000 millones de dólares anuales, cantidad que, según la proyección más conservadora, crecerá a 250 mil millones en los próximos 10 años. También en el 2006, la inversión mundial en investigación y desarrollo ya alcanzaba los 12,400 millones de dólares, siendo EUA, Japón, Alemania y Corea del Sur los líderes en este rubro, con China siguiendo sus pasos muy de cerca.

En México existe un amplio potencial para los nanomateriales y los nanointermediarios (bienes intermedios contruidos con nanomateriales). Se estima que en los próximos 10 años se puedan alcanzar ventas por \$1,500 millones de dólares, datos basados en un estudio de mercado realizado por la Secretaría de Economía en el año 2008. En ese mismo año, en un primer estudio y análisis del mercado de la región norte, en particular del Estado de Nuevo León, ya se habían podido detectar al menos 25 empresas interesadas en participar en proyectos de nanotecnología.

Una de las razones para la creación del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León fue la difusión y el acercamiento de centros de investigación a empresas con proyectos para acelerar su desarrollo y realizar investigación que permita dar solución a los problemas que plantea el mercado. Como un ejemplo de este tipo de esfuerzos, se desarrolló la instalación de la Incubadora de Nanotecnología (miembro y componente esencial del Clúster) con plantas piloto donde se pueden desarrollar y fabricar en cantidades mayores productos que pueden ser utilizados por las empresas de Nuevo León en sus diferentes aplicaciones, permitiendo que se puedan potenciar los proyectos y llevarlos a una escala previa a la industrial. La incubadora es sustentada y dirigida científica y tecnológicamente por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (Cimav) del Conacyt.

Es en este contexto de interés en la nanotecnología, y enfoque de recursos y esfuerzos, que opera al día de hoy el Clúster de Nanotecnología, integrado ya por 28 miembros (arrancó con 15 miembros). Está integrado por 3 centros públicos de investigación, 3 universidades mexicanas, 2 universidades extranjeras, 2 instituciones de gobierno (SEDEC e I²T²), y 18 empresas, 2 de ellas Pymes. De los anteriores, destacan el CIMAV (Centro de Investigación en Materiales Avanzados del Conacyt); el Tecnológico de Monterrey; la Universidad Autónoma de Nuevo León, las universidades estadounidenses de Arizona y de Texas en Austin; y empresas de los corporativos regios CEMEX, ALFA, VITRO, CYDSA Y PROEZA.

Particularmente el Cimav, cuya sede está en Chihuahua, se ha convertido en uno de los actores más importantes en el desarrollo de aplicaciones industriales de la nanotecnología. En el 2010, sólo este centro de investigación tenía vigentes cerca de 25 proyectos con empresas de la región en temas de nanotecnología.

ESTRATEGIA CENTRAL DEL CLÚSTER DE NANOTECNOLOGÍA DE NUEVO LEÓN

El Clúster tiene como objetivos de origen el desarrollo de capital humano experto, la atracción de financiamiento y la implementación de proyectos de nuevos negocios con materiales o aplicaciones basados o relacionados con la nanotecnología. Siendo su misión la adopción de la nanotecnología en Nuevo León, su visión consiste, en términos generales, en crear las condiciones necesarias para que al menos 100 empresas adopten la nanotecnología dentro de sus desarrollos para el año 2015. Se busca también constituir el Sistema Regional de Innovación en Nanotecnología más importante del país, propiciando la transferencia de tecnología y conocimiento entre los miembros de su red de asociados y consecuentemente hacia la mayor cantidad posible de empresas de la región. Se busca también, colaborar en el desarrollo económico del Estado mediante el apoyo a empresas Pymes, catalizando su inserción en mercados de oportunidad internacionales.

El Clúster de Nanotecnología de Nuevo León tiene entonces dos vertientes estratégicas de igual importancia: a) el desarrollo y mantenimiento de un *pipeline* de nanotecnología mediante proyectos de innovación incremental entre los grandes grupos industriales que lo conforman y mediante metodologías de innovación abierta, y b) la creación de nuevas empresas de base tecnológica, con proyectos de innovación de naturaleza más disruptiva, pero de gran importancia en la generación de tecnología mexicana y en el enriquecimiento de las cadenas de valor industriales existentes. Sin dejar de mencionar la muy alta relación entre la incidencia de nuevas empresas de naturaleza tecnológica emergente y el crecimiento del ingreso per cápita de cualquier región.

MODELO DE OPERACIÓN

Para consolidar la ejecución de la Estrategia Central del Clúster de Nanotecnología de Nuevo León, su operación se ha dividido en 4 comités de trabajo, cada uno de ellos presidido por importantes miembros de la sociedad de Nuevo León y de su planta productiva.

Comité de Innovación y Transferencia de Tecnología. Presidido por el Dr. Salvador Valtierra, director de Innovación para América Latina de la trasnacional Owens Corning. Los principales proyectos de este Comité consisten en: a) el establecimiento de un sistema de administración para el pipeline del Clúster, fundamentalmente basado en las metodologías *Stage Gate* para la administración del desarrollo de nuevos productos y, b) la estructuración de un sistema de vigilancia tecnológica que permita a los asociados del Clúster monitorear aspectos relevantes de la nanotecnología, tanto bajo la perspectiva científica como bajo la de negocios.

Comité de Estrategia y Expansión. Presidido por el Ing. Alfonso Delgado, miembro de la alta dirección de PROLEC GE en Nuevo León. Los principales proyectos de este Comité consisten en: a) el desarrollo del plan estratégico a 5 años del Clúster, incluyendo prospectiva y mapas tecnológicos, actualmente en proceso; b) el desarrollo de un modelo de valor/aplicación para cada uno de los sectores industriales más relevantes en el sector productivo de Nuevo León, enfocado a la resolución de problemas específicos a nivel materiales de producción y procesos, actualmente en proceso; c) el establecimiento de una plataforma web de colaboración entre los asociados miem-

bros del Clúster, en una temática tipo *hub* colaborativo de innovación abierta y, d) la constitución de la imagen institucional del Clúster.

Comité de Desarrollo de Talento Estratégico. Presidido por el Ing. Luis Cabeza del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. Los principales proyectos de este Comité consisten en: a) el desarrollo de programas industriales de capacitación en nanotecnología para los miembros del Clúster y, b) el desarrollo de posgrados interinstitucionales en nanotecnología en el cual participen los asociados académicos del mismo.

Comité de Financiamiento y Desarrollo de Nuevos Negocios. Presidido por el C.P. Federico García Iza, importante miembro de la comunidad empresarial de Nuevo León en el rubro de inversiones y capital privado. El principal proyecto de este Comité consiste en la institucionalización de mecanismos de inversión privada para nuevas empresas de base tecnológica. Los formatos actualmente en proceso de desarrollo contienen elementos de los tradicionales grupos de inversionistas “Angeles” pero la infraestructura y formatos de la industria de capital de riesgo o *venture capital*. Actualmente se le está dando forma a estos mecanismos y se están explorando los lineamientos legales a seguir.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

A casi dos años de su creación, el Clúster de nanotecnología de Nuevo León se está consolidando como una nueva opción de crecimiento y competitividad para las empresas locales y promotor insignia de un nuevo modelo de desarrollo para el Estado de Nuevo León. En el contexto competitivo global, existe la urgencia de actualizar la industria de la transformación de Nuevo León, con la incorporación de nuevas tecnologías, sobre todo en el uso de materiales avanzados, que en muchos países desarrollados ya representan el estándar.

Se espera que el Clúster de nanotecnología de Nuevo León permita consolidar su ventaja competitiva al precisamente generar elementos de competitividad especializado a sus asociados miembros y detonar el surgimiento de nuevas empresas y negocios de base tecnológica.

El Clúster es un elemento muy importante del Programa Monterrey Ciudad Internacional del Conocimiento, es una gran alianza entre la academia, el sector productivo y gobierno para detonar una economía en la cual se crea, se transmite, se adquiere y se utiliza el conocimiento con mayor efectividad por sus ciudadanos y sus organizaciones, con el objetivo de promover el desarrollo económico y social de la propia comunidad basado en la innovación.

La fuerza del vacío. El efecto Casimir

R. ESQUIVEL SIRVENT*

RESUMEN: En este artículo presentamos algunos aspectos básicos sobre la fuerza de Casimir que resulta de las fluctuaciones del vacío cuántico. Se discute sobre los experimentos recientes para medir esta fuerza, su conexión con las fuerzas de Van der Waals y, finalmente, acerca de las maneras de modular la fuerza de Casimir y cómo inducir torcas de Casimir.

INTRODUCCIÓN

En 1948, el físico Holandés H. B. Casimir [1] realizó un cálculo simple que demostraba un efecto inesperado. Al colocar dos placas metálicas neutras una enfrente de otra y separadas una distancia l , éstas se atraerían con una fuerza que sólo dependía de dos constantes fundamentales la constante de Plank, \hbar y la velocidad de la luz, c . También era función del área, A , de las placas y de la separación entre éstas de la siguiente manera:

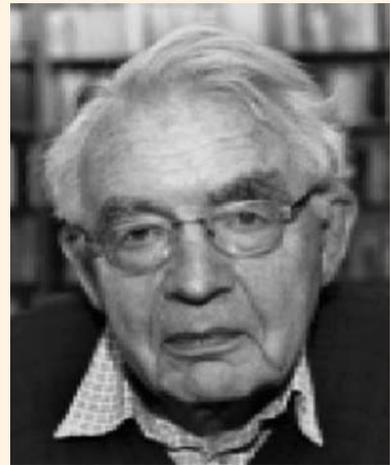
$$f_0 = -\frac{\hbar c \pi^2 A}{240 l^4} \quad (1)$$

Este inocuo resultado inició un campo de estudio vigente hasta nuestros días y que se extiende por varias áreas de la física como teoría de campos, estado sólido, altas energías, cosmología y, más recientemente, nanociencias y nanotecnología.

Para explicar el efecto, cuenta Casimir lo siguiente [2]: “Mencione mis resultados a Niels Bohr, durante una caminata. Le dije estar sorprendido por lo extremadamente simple de la forma del resultado y él murmuró algo sobre la energía de punto cero”.

La energía de punto cero es la mínima energía que un sistema puede tener. En el caso del vacío, la teoría cuántica de campos supone que aun a la energía de punto cero, siempre hay ondas electromagnéticas fluctuantes de cualquier frecuencia. Al poner las dos placas paralelas, entre éstas sólo pueden existir ondas que cumplan con las condiciones de frontera. Es decir, ondas que tengan nodos en las placas. Por otro lado, afuera de las placas no hay restricción y pueden existir ondas de cualquier frecuencia. De manera simplista, podemos decir que hay más

FIGURA 1. Hendrik Casimir (1909-2000)



Fuente: Wikipedia.

* Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

ondas afuera de las placas que entre ellas o bien que la energía de las ondas electromagnéticas afuera de las placas es mayor que la energía que hay entre las placas. Esta diferencia de energía es la que causa la fuerza de Casimir. En la figura 2, se muestra un diagrama de las ondas electromagnéticas afuera y adentro.

Matemáticamente, el deducir la fuerza de Casimir lleva a problemas de energías infinitas que pueden ser eliminados usando diversas técnicas. A los avezados en matemáticas se les recomienda leer la referencia [3].

FIGURA 2. Diagrama que ilustra el principio del efecto Casimir. Hay más ondas afuera de las placas que entre ellas.

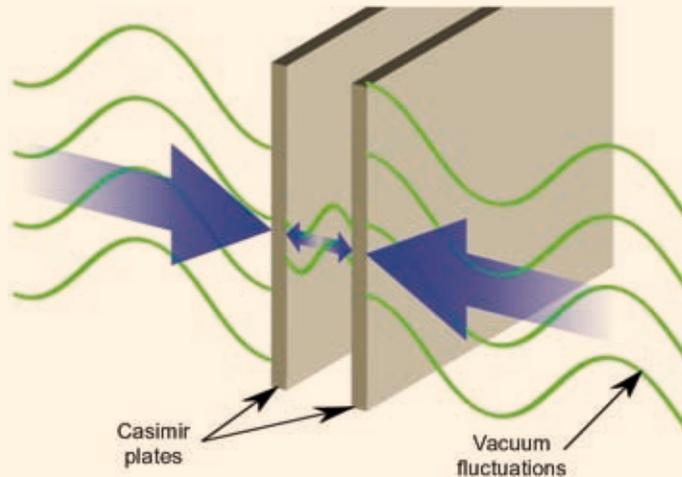


Imagen tomada de Wikipedia.

La fórmula de Casimir mostrada en la ecuación 1 se dedujo para metales perfectos. Esto es, materiales ideales que reflejan toda la luz, son reflectores perfectos. No existen en la naturaleza, pero nos ayudan a entender la física del fenómeno. ¿Qué pasa si las placas están hechas de un material real? La teoría de Casimir tiene que ser modificada. Esto fue hecho por el físico soviético Evgeny Lifshitz [4], quien desarrolló una teoría bastante complicada pero capaz de predecir la fuerza de Casimir entre materiales arbitrarios. Sin entrar en los detalles del cálculo que se basan en el teorema de fluctuación disipación, nos bastará decir que la fuerza para materiales reales se puede escribir como

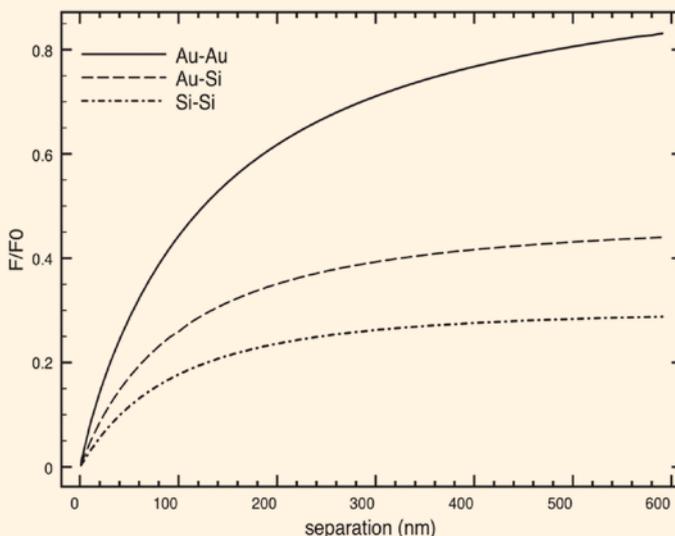
$$f = \eta f_0 \quad (2)$$

donde η es el factor de reducción que es menor o igual a uno. El valor de uno es para los conductores perfectos.

Por ejemplo, se puede calcular la fuerza entre dos placas de oro, de silicio o de cualquier material. La fuerza de Casimir es mayor para metales. Un ejemplo del cálculo de la fuerza lo presentamos en la figura 3. Para dos placas de oro (Au) se obtiene la

fuerza más grande [4], para la placa de Au y Si disminuye η porque el Si no es un buen conductor y finalmente, al tener las dos placas de Si se obtiene el valor más pequeño para la fuerza. Dicho de otra manera, la teoría de Lifshitz nos permite concluir que entre más luz refleja un material mayor será la fuerza de Casimir.

FIGURA 3. Factor de reducción f/f_0 donde mostramos que la fuerza es mayor para buenos conductores.



LOS EXPERIMENTOS

Si bien hubo intentos experimentales para comprobar el efecto Casimir, fue hasta la década de los años 90 del siglo XX que Steve Lamoreaux, utilizando una balanza de torsión [5], logró medir con suficiente precisión la fuerza de Casimir. Casi simultáneamente, Umar Mohideen midió la fuerza utilizando un microscopio de fuerza atómica [6]. El experimento consistió en pegar una esfera de oro a una punta de fuerza atómica y medir la fuerza entre la esfera y una placa de oro. El dispositivo se muestra en la figura 4.

El interés por el efecto Casimir motivó otra serie de experimento y se midió de nuevo la fuerza utilizando micro balanzas de torsión, demostrándose, además, que esta fuerza se podía utilizar en micro y nano máquinas [7]. En la figura 5, se muestra un esquema del funcionamiento de una micro balanza de torsión cuyo tamaño es de aproximadamente 100 millonésimas de metro por lado. Al acercarse la esfera, la balanza de torsión se inclina y entre más grande es la fuerza, mayor será la inclinación. De aquí se puede determinar el valor de la fuerza de Casimir.

La fuerza de Casimir se mide en pico Newtons es decir una billonésima de Newton.¹ Para darnos una idea de esto, la fuerza que ejercemos al oprimir el botón de un bolí-

¹ Usamos el termino billón en español. Es decir un millón de millones.

FIGURA 4. Punta de microscopio de fuerza atómica con esfera pegada para la medición de la fuerza de Casimir. Foto tomada de la referencia [6].

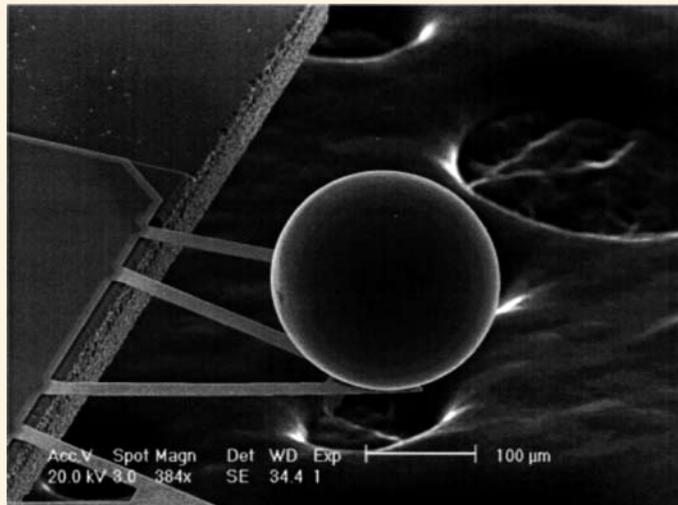
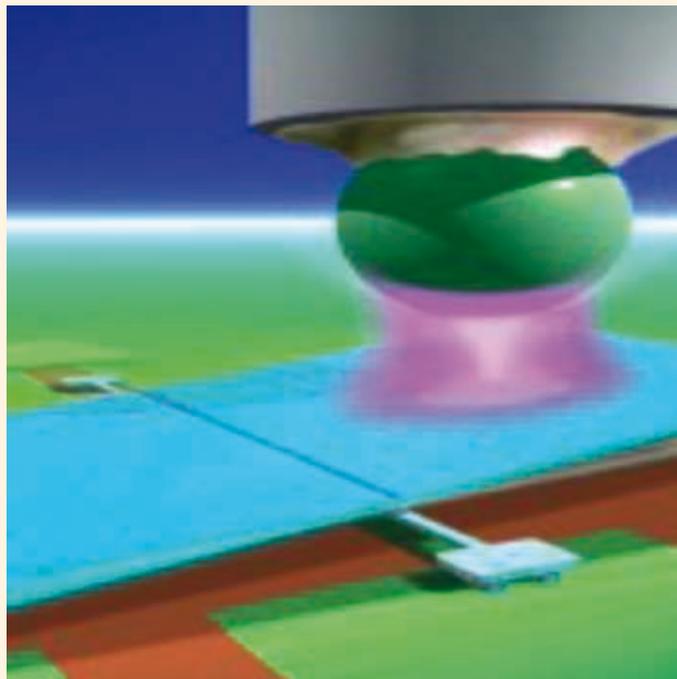
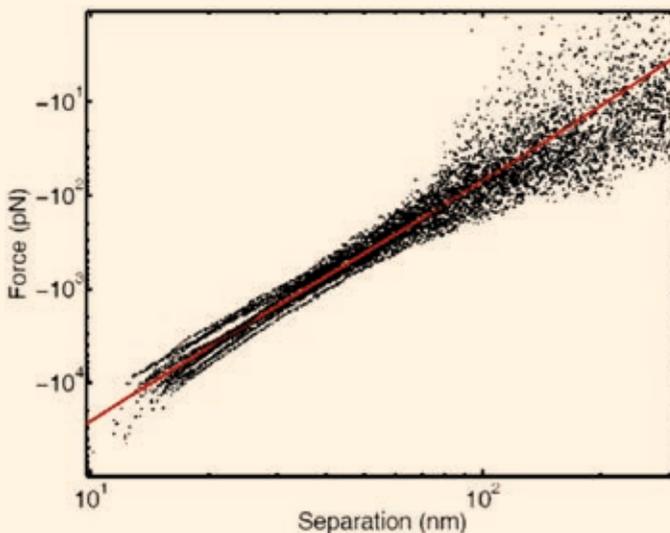


FIGURA 5. Esquema de funcionamiento de una micro balanza de torsión para medir fuerzas de Casimir. Imagen tomada de <www.harvard.deas/capasso>.



grafo para sacar la punta es de 1 Newton aproximadamente. En la figura 6, se puede observar una curva típica de medición de la fuerza de Casimir. Estas mediciones fueron realizadas con un microscopio de fuerza atómica. En esta figura, los puntos negros son varias mediciones que se realizaron y la línea roja es la predicción usando la fórmula de Lifshitz. Como vemos el promedio de las mediciones coincide con la teoría [8].

FIGURA 6. Ejemplo de mediciones de la fuerza de Casimir utilizando un microscopio de fuerza atómica. Tomado de la referencia [8].



CASIMIR O VAN DER WAALS

Es común en los cursos de química hablar de las fuerzas de Van der Waals. Estas fuerzas fueron propuestas por el físico holandés Johannes Van der Waals, quien propuso que las fuerzas entre moléculas se producían por interacciones tipo dipolar. Por razones históricas y casi absurdas las interacciones dipolares se conocen por varios nombres como fuerzas de London, de Debye, pero todas son de origen dipolar.

Si se conoce la fuerza entre dos moléculas, y las dos placas paralelas de la figura 2 están formadas por moléculas, la pregunta es si se puede encontrar la fuerza entre las moléculas simplemente sumando la fuerza entre las moléculas de una placa con las de la otra placa. Este método propuesto por Hamaker [9], resulta aproximado, pues no toma en cuenta que las moléculas en una placa también interactúan entre ellas. Es justamente esta limitación la que es solucionada con la fórmula de Lifshitz mencionada anteriormente. Por eso, la teoría de Lifshitz también se conoce como teoría de Van der Waals generalizada.

LOS SISTEMAS MICRO Y NANO ELECTROMECÁNICOS

Uno de los avances tecnológicos recientes de los últimos años es la invención de las micro y nano máquinas conocidos como mems y nems. Es decir, dispositivos con partes móviles pero cuyo tamaño es a lo más de unos cientos de micras. Por ejemplo, en la figura 7, vemos una foto de mems que consiste de un engrane acoplado a un cigueñal. El dispositivo de la figura se puede considerar grande, ya que el diámetro del engrane es de unas 50 micras. Actualmente, el lograr dispositivos con partes móviles de unas cuantas micras ya es una realidad.

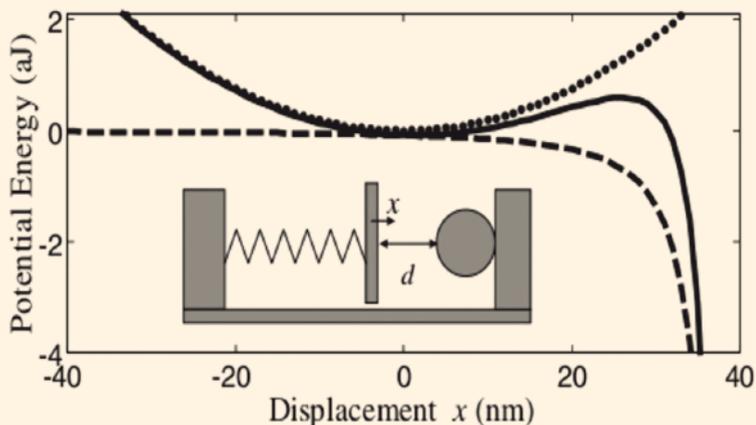
FIGURA 7. Micro engrane acoplado a cigueñal de una micro máquina. Foto tomada de Sandia Nat. Laboratory.



A las escalas que operan los mems, las fuerzas de Casimir juegan un papel importante. Recordemos de la sección de experimentos que el dispositivo en la figura 4 es de hecho una micromáquina. Con el dispositivo de dicha figura, la fuerza de Casimir sólo se puede medir hasta una distancia mínima de unos 5 nm. ¿Por qué? Si en un dispositivo como el mostrado en dicha figura, acercáramos la esfera al plano por debajo de los 5 nm ocurre el llamado salto a contacto. La esfera y el plano se pegan y el dispositivo queda dañado permanentemente. En este caso hay dos fuerzas que actúan sobre la microbalanza de la figura 4. Una es la fuerza de Casimir y la otra es una fuerza de restitución elástica que trata de regresar la micro balanza a su posición horizontal que es la de equilibrio. Cuando la fuerza de Casimir es mayor que la elástica sucede el salto a contacto. Para ilustrar más claramente el efecto del salto a contacto en la figu-

ra 8 mostramos un esquema de un sistema con las dos fuerzas compitiendo. La fuerza elástica, cuya energía potencial es la línea punteada y la fuerza de Casimir representada por la línea rayada. La suma de las dos es la línea sólida que muestra una barrera de potencial aproximadamente a 30 nm en la figura. Para todos los puntos a la derecha de esta barrera, la fuerza de Casimir es mayor que la fuerza elástica (precaución, la figura muestra energías potenciales no fuerzas) y se da el salto a contacto.

FIGURA 8. Energías potenciales elásticas y de Casimir. Todos los puntos a la derecha de la barrera de potencial en aprox. 30 nm son inestables.



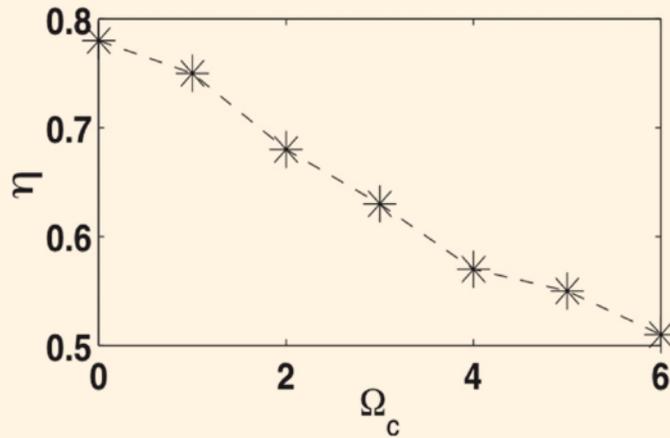
Para muchos dispositivos el salto a contacto es un efecto indeseable. Si bien la fuerza elástica se puede modificar cambiando las propiedades de los materiales, la fuerza de Casimir siempre está presente. Una pregunta es si es posible modificar o modular la fuerza de Casimir.

Una manera obvia de cambiar la fuerza de Casimir es cambiar el tipo de material, como mencionamos, es mayor si usamos metales. Esto resulta poco práctico por lo que se deben buscar otros métodos.

Recientemente se propuso que usar campos magnéticos externos podría utilizarse para alterar la fuerza de Casimir. Existen materiales semiconductores que al aplicarles un campo magnético cambian sus propiedades ópticas. En particular se hacen menos reflejantes. Recordemos que entre más reflejan mayor es la fuerza de Casimir, lo cual nos permite controlar la fuerza. El cambio en las propiedades ópticas de estos materiales se debe a unas excitaciones llamadas magneto plasmones de superficie. Por el momento, no entraremos en los detalles de estas excitaciones. Nos basta que cambien las propiedades ópticas y en particular que nuestro material refleje menos luz.

Esta idea de controlar la fuerza de Casimir con campos magnéticos externos fue propuesta en una colaboración entre la UNAM y la Universidad Autónoma de Puebla [10]. Usando semiconductores como InSb o AsGa se logró disminuir la fuerza de Casimir al aplicar un campo magnético paralelo a las superficies. En la figura 9 se puede ver cómo disminuye la fuerza de Casimir con el campo magnético. Para entender

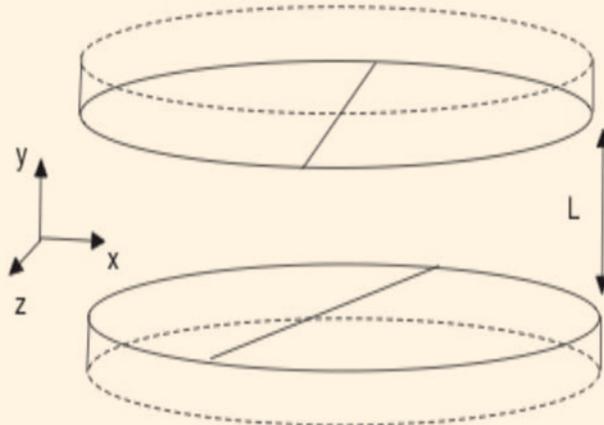
FIGURA 9. Factor de reducción definido en la ecuación 2 para distintos valores de Ω_c . Al aumentar el campo magnético aumenta \dot{U}_c y disminuye la fuerza de Casimir. Figura tomada de la referencia [10].



la figura hay que definir algunas cantidades: en el eje vertical graficamos el factor de reducción η definido en la ecuación 2, y en el eje horizontal graficamos Ω_c que es una frecuencia adimensional directamente proporcional al campo magnético aplicado. Es decir, cuando el campo magnético es cero la frecuencia Ω_c es cero y al aumentar el campo magnético, la frecuencia Ω_c también aumenta.

Otra consecuencia inesperada de utilizar campos magnéticos para controlar la fuerza de Casimir, es la aparición de una torca de Casimir [11]. Como mencionamos, el aplicar un campo magnético externo cambia las propiedades ópticas de los materiales utilizados. En particular los hace ópticamente anisotrópicos. La anisotropía óptica es la causante de la torca del vacío. En la figura 10 mostramos un esquema donde

FIGURA 10. Dos placas paralelas ópticamente anisotrópicas. La torca de Casimir tiende a alinear los ejes de las placas. Tomada de la referencia [11].

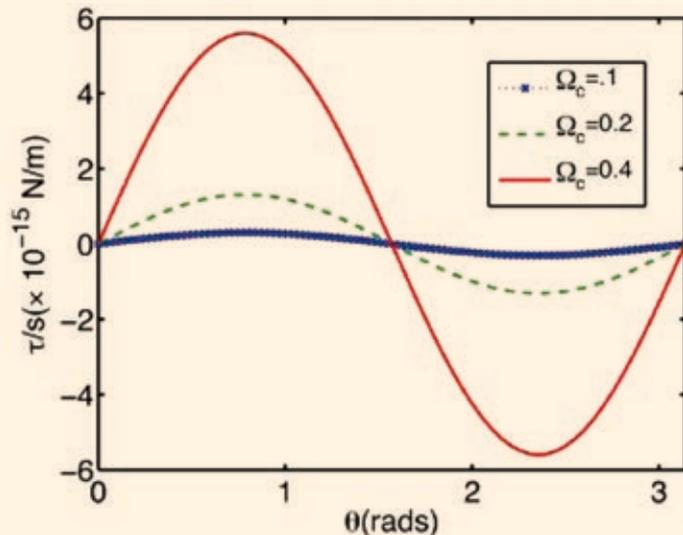


se ven dos placas paralelas anisotrópicas. La línea que se muestra en las placas indica una dirección preferencial como referencia para mostrar que sus ejes ópticos están rotados. La torca de Casimir tiene el efecto de alinear las dos placas.

La torca de Casimir se calcula considerando el cambio de energía para rotar una placa un cierto ángulo. Al igual que la fórmula de Lifshitz, el cálculo de la torca depende de las propiedades ópticas de las placas y del medio entre éstas.

De nuevo, al aplicar un campo magnético externo e inducir una anisotropía óptica se genera una torca de Casimir. En la figura 11 graficamos la torca entre dos placas para distintos valores del parámetro Ω_c que, recordemos, es proporcional al campo magnético. Entre mayor es el campo magnético el valor de Ω_c también se incrementa. Vemos que el valor de la torca va aumentando. Si bien parece que su valor es pequeño, con la tecnología de mems y nems es posible medirla.

FIGURA 11. La torca de Casimir como función del ángulo que rotan las placas para distintos valores del campo magnético.



CONCLUSIONES

Si bien la fuerza de Casimir parece un concepto oscuro de la física teórica, ha encontrado aplicaciones en diversas áreas como micro y nano máquinas, coloides, autoensamblaje, cosmología, altas energías por mencionar algunos. Gracias a los experimentos recientes, la comunidad científica ha retomado su interés en este tema quedando mucho por hacer. En particular, el poder tener mecanismos novedosos para controlar la fuerza de Casimir.

En este artículo se presenta un panorama reducido de la fuerza de Casimir. Un tratamiento muy detallado de esta fuerza se puede encontrar en la referencia [12].

Hay que tener cuidado con el concepto de energía del vacío. Desafortunadamente, con el gran acceso a la información del internet, varios sitios han difundido ideas erróneas sobre el vacío. En particular se habla de poder utilizar la energía del vacío como una fuente inagotable de energía. Esto no es posible gracias a las leyes de la termodinámica.

REFERENCIAS

- [1] H. B. G. Casimir. (1948). "On the attraction between two perfectly conducting plates". *Proc. Kon. Nederland. Akad. Wetensch.* B51: 793.
- [2] P. W. Milonni. (1994). "The Quantum Vacuum, an introduction to quantum electrodynamics. Academic Press Inc.
- [3] J. P. Dowling. (1989). "The mathematics of the Casimir effect". *Mathematics Magazine*, 62, 324.
- [4] I. E. Dzyaloshinskii, E. M. Lifshitz y L. P. Pitaevskii. (1961). "General Theory of Van der Waals forces". *Sov. Phys. Uspekhi*, 73, 153.
- [5] S. K. Lamoreaux. (1997). "Demonstration of the Casimir force in the 0.6 to 6 micron range". *Phys. Rev. Lett.* 78, 5.
- [6] U. Mohideen y A. Roy. (1998). "Precision measurements of the Casimir force from 0.1 to 0.9 Microns". *Phys. Rev. Lett.* 81, 4549.
- [7] H. B. Chan, V. A. Aksyuk, R. N. Kleiman, D. J. Bishop y F. Capasso. (2001). "Nonlinear micromechanical Casimir oscillator". *Phys. Rev. Lett.* 87, 211801.
- [8] P. J. van Zwol, G. Palasantzas, M. van de Schootbrugge y J. Th. M. de Hosson. "Measurements of dispersive forces between evaporated metal surfaces in the range below 100 nm". *arXiv*: 0712.3118.
- [9] V. A. Parsegian. (2006). *Van der Waals forces: A handbook for biologists, chemists, engineers, and physicists*. Cambridge Univ. Press.
- [10] R. Esquivel-Sirvent, M. A. Palomino-Ovando y G. H. Coccoletzi. (2009). *Appl. Phys. Lett.* 95, 051909.
- [11] R. Esquivel-Sirvent, G. H. Coccoletzi y M. A. Palomino-Ovando. (2010). *J. Appl. Phys.* 108, 114101.
- [12] M. Bordag, G. L. Klimchistkaya, U. Mohideen y V. M. Mostepanenko. (2009). *Advances in the Casimir Effect*. Oxford Science Publications.

Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas

FERN WICKSON*

RESUMEN: El discurso sobre el riesgo domina las sociedades industriales modernas y se destaca especialmente en las discusiones relativas a la aceptación de nuevas tecnologías. Para un avance tecnológico responsable, la opción típica es la toma de decisiones basada en “una sólida evaluación científica del riesgo”. A pesar de las serias limitaciones en nuestra capacidad para entender y predecir los impactos potenciales de las nanotecnologías emergentes, el discurso del riesgo sigue dominando las discusiones públicas y políticas sobre desarrollo y regulación de este nuevo campo de investigación. En este artículo: 1) describiré alguna de la literatura de las ciencias sociales clave en el análisis del riesgo como herramientas de ayuda en la toma de decisión; 2) daré una idea general acerca de las investigaciones científicas emergentes sobre riesgos asociados a las nanotecnologías, incluyendo la amplia incertidumbre que rodea dicho trabajo; 3) subrayaré el modo en que el discurso sobre riesgos reduce el marco de discusión a cerca de la conveniencia de los desarrollos tecnológicos y, 4) señalaré algunas de las herramientas alternativas de ayuda en la toma de decisión que puedan comenzar a orientar la discusión acerca de las nanotecnologías más allá del foco exclusivo y reducido del discurso sobre el riesgo.

PALABRAS CLAVE: riesgo, nanotecnología, análisis, ciencia, tecnología.

ABSTRACT: The discourse of risk dominates modern industrialized societies and is particularly prominent in discussions relating to the acceptability of new technologies. For responsible technological advance, the typical call is for decision-making based on a ‘sound scientific assessment of risk’. Despite the serious limitations in our ability to understand and predict the potential impacts of emerging nanotechnologies, the discourse of risk continues to dominate public and political discussions on the development and regulation of this new field of research. In this article, I will: 1) describe some of the critical social science literature on risk analysis as a decision-aiding tool; 2) outline the emerging scientific research on risks associated with nanotechnologies, including the sea of uncertainty that surrounds this work, 3) highlight how the discourse of risk narrows the frame of discussion about the desirability of technological developments and, 4) point to some of the alternative decision-aiding tools that could begin to push discussions about nanotechnologies beyond a sole focus on the narrow discourse of risk.

KEYWORDS: risk, nanotechnology, analysis, science, technology.

EL DISCURSO DEL RIESGO

En una tesis de ciencias sociales ampliamente citada, Ulrich Beck argumenta que el ‘riesgo’ se ha convertido en el concepto organizador central en las sociedades industriales modernas (Beck, 1986). La idea aquí es que la gente en las sociedades industrializadas comenzó a darse cuenta de que la aplicación de la ciencia y la tecnología está usualmente acompañada de efectos adversos no deseados. O, en palabras de Beck, que “las fuentes de riqueza están ‘contaminadas’ por crecientes ‘peligrosos efectos se-

* GenØk Centre for Biosafety Tromsø, Noruega. fern.wickson@genok.no

cundarios” (*Ibid.*). Esto argumenta Beck, ha llevado a incrementar el enfoque sobre los ‘riesgos’ asociados al desarrollo científico y tecnológico y con la preocupación política de cómo identificar y manejar daños potenciales. Técnicamente, los riesgos han sido definidos como la probabilidad de que habrá un peligro, multiplicado por la magnitud de su impacto (Harding, 1998). En otras palabras:

riesgo = posibilidad de que un evento indeseable ocurrirá * alcance de sus consecuencias.

Cuando son utilizados como una herramienta de ayuda en la toma de decisión, los análisis de riesgo generalmente adoptan un concepto realista del mismo (Adams, 1995; Robins, 2002). Es la idea de que el riesgo existe “allá afuera” y de que puede ser cuantificado de modo preciso y objetivo por un grupo de científicos expertos. Un concepto realista de riesgo sugiere que los científicos expertos son capaces de calcular el grado de riesgo real asociado a cualquier tecnología. Otras posturas u opiniones acerca de los riesgos implicados son, por consiguiente, consideradas como falsas y/o irracionales y derivados de una falta de conocimiento. El análisis realista de los riesgos puede ser visto como una aproximación tecnocrática a la toma de decisiones porque sugiere que se pueden tomar decisiones racionales, objetivas y políticamente neutrales si se confía en científicos expertos. Al tiempo que los gobiernos utilizan de forma abrumadora el discurso de riesgo como regulador, la comprensión realista y su definición técnica, también tienden a adoptar un enfoque de la toma de decisión que privilegia el conocimiento científico y la voz de los ‘expertos’. La visión de este enfoque realista del riesgo como el más apropiado y la resultante autoridad incuestionable que otorga a los científicos expertos en la toma de decisión política en nuevas tecnologías ha sido, sin embargo, criticada desde varias disciplinas de las ciencias sociales.

Investigación sobre el riesgo en las ciencias sociales

Hay tres campos clave en la investigación en ciencias sociales que han desafiado la viabilidad o lo adecuado del enfoque técnico o ‘realista’ del riesgo en la toma de decisiones de regulaciones sobre las nuevas tecnologías. Existen: la investigación psicométrica (dentro de la disciplina de la psicología), la teoría de la cultura (desde la sociología y la antropología) y las tipologías de la incertidumbre (desde los estudios de ciencia y tecnología). Estos campos de investigación sugieren que el discurso realista del riesgo no logra dar cuenta de algunos factores importantes que influyen y moldean cualquier análisis de riesgos asociado con un desarrollo tecnológico particular. Estos factores descuidados, incluyen: las características del riesgo en cuestión, la influencia de visiones del mundo divergentes, y el rol y la relevancia de diversos tipos de incertidumbre. La investigación psicométrica desafió la idoneidad de la noción realista del riesgo sugiriendo que mientras los expertos tienden a calcular los riesgos solamente en relación con probabilidades estadísticas e índices de mortalidad, existen otras características que tienen importante influencia en el modo en que los riesgos son evaluados por una amplia cantidad de personas, incluyendo: si los riesgos son tomados de forma voluntaria, cuán familiares son, cuán controlables son, si tienen o no potencial catastrófico o si tienen potencial para impactar a generaciones futuras (Slovic *et al.*, 1982; Slovic, 1987 y 1991). Esto significa, por ejemplo, que mientras los riesgos para la salud humana que provienen de manejar un auto pueden parecer inicialmente como prohibitivamente altos, la gente tiende a aceptar este riesgo porque

es familiar y ha sido tomado voluntariamente. No obstante, esta misma gente no aceptaría el riesgo físico —aparentemente bajo— asociado al poder nuclear, debido a su escasa familiaridad con dicho riesgo y por la falta de capacidad para tomar este riesgo de modo voluntario, así como por el potencial catastrófico de su impacto si las cosas salen mal y el modo en que sus desechos afectarán a generaciones futuras. Al destacar la importancia de las características de los riesgos en cuestión, la investigación psicométrica ha sugerido que la gente es generalmente sensible a consideraciones no-estadísticas y que tienden a llevar a cabo una evaluación más contextual de los riesgos planteados por una tecnología particular (Slovic, 1987 y 1991; Otway, 1987). Por lo tanto, esta investigación sugiere que hay muchas características importantes de los riesgos tecnológicos que no son capturadas en el proceso de análisis del riesgo elaborado por expertos, pero que resultan importante para las personas y su aceptación de nuevas tecnologías y que por ello, tales consideraciones deberían ser incorporadas de modo más directo en el proceso de toma de decisiones (Slovic, 1998; Otway, 1980).

El campo de la teoría de la cultura ha argumentado que los debates sobre el riesgo, de hecho, no son principalmente sobre riesgos físicos, sino que se relacionan con creencias subyacentes relativas al modo que se considera más apropiado para la organización social y sobre la naturaleza de la naturaleza. En una primera instancia, la teoría de la cultura presenta una tipología caracterizando las creencias sobre las formas preferidas de organización social, como ser: individualista (preferencia de libertad de ataduras), jerárquica (apoya una organización social jerárquica), igualitaria (fuertes lealtades grupales pero se niega el apoyo a reglas impuestas desde afuera) o fatalista (no apoya a grupos organizados ni a la creencia del control individual) (Douglas y Wildavsky, 1982; Schwarz y Thomson, 1990; Thompson, Ellis y Wildavsky, 1990). La idea es que dependiendo de la forma de organización social preferida, usted seleccionará tipos de riesgos particulares que considera valen la pena ponerles atención y apoyará diferentes estrategias para su manejo. Por ejemplo, de modo esquemático, en el caso de las nanotecnologías, los ‘individualistas’ preferirán el uso de mecanismos de mercado bajo estrictos sistemas legales, como modo de regular el campo y controlar cualquier riesgo potencial. Los ‘jerárquicos’ confiarán en la autoridad de expertos y de aquellos en el poder como los mejores situados para tomar tales decisiones. Los ‘igualitaristas’ pelearán por ampliar las bases de participación en las decisiones sobre medidas de regulación relevantes y sistemas de control. Mientras, los ‘fatalistas’ considerarán que no vale la pena tomar parte del debate, debido a su creencia en la imposibilidad de lograr alguna diferencia en el modo en que la tecnología será desarrollada y utilizada. Para cuestiones de riesgos medioambientales, la teoría de la cultura sugiere que puede utilizarse una cuarta tipología para caracterizar las diferentes visiones sobre la naturaleza. En términos generales, estas visiones diferentes son presentadas como: naturaleza robusta, naturaleza frágil, naturaleza tolerante y naturaleza impredecible (Adams y Thompson, 2002). De nuevo, la idea aquí es que nuestras creencias acerca de la naturaleza impactan en el modo de pensar sobre riesgos particulares. Por ejemplo, aquellos que piensan que la naturaleza es esencialmente robusta y que perdona cualquier insulto que los seres humanos le causen, es poco probable que se preocupen por los riesgos planteados por las nanopartículas, mientras que aquellos que ven a la naturaleza frágil y en un delicado equilibrio, quizás se preocupen mucho por el potencial daño que pueden plantear las nanopartículas para el medio ambiente y convoquen a una moratoria hasta que se conozca más sobre el tema. Aquellos que perciben a la naturaleza como tolerante dentro de ciertos límites, probablemente en-

focarán su atención en el desarrollo de sistemas de regulaciones y monitoreo que permitan identificar aplicaciones particulares que pueden ser de preocupación, mientras que aquellos que ven a la naturaleza como inherentemente impredecible, no tendrán fe en la capacidad humana para predecir o controlar cualquier impacto potencial, ya sea bueno o malo. Al proveer tipologías que pueden ser utilizadas para caracterizar diferentes visiones de mundo (incluyendo las formas preferidas de organización social y creencias acerca de la naturaleza), el objetivo de la teoría de la cultura es permitir que las diferentes premisas y creencias que subyacen y enmarcan los debates sobre riesgos físicos se hagan más explícitos y que adquieran mayor transparencia los aspectos profundos que subyacen a las controversias (Schwarz y Thompson, 1990).

Mientras los enfoques psicométricos enfatizan en la importancia de la psicología individual y la teoría de la cultura enfatiza en la importancia de los compromisos sociales, ambos representan aproximaciones constructivistas del riesgo, en lugar de aproximaciones realistas. De acuerdo con estos enfoques constructivistas, no existe un grado 'real' de riesgo que pueda ser capturado por medio de un proceso de evaluación de riesgos llevado a cabo por científicos expertos que se enfocan solamente en cálculos de probabilidad estadística. Este proceso es considerado inadecuado, sea porque falla al no tener en cuenta la naturaleza de los riesgos implicados (si son familiares, controlables, reversibles, etc.) o porque no logra considerar el modo en que dichos juicios acerca de los riesgos pueden ser enmarcados de modo diferente de acuerdo con las diversas creencias sobre la sociedad y la naturaleza.

El desafío final para la adecuación de las nociones realistas del riesgo en la toma de decisiones que describiré aquí, es la emergencia de diferentes tipologías de incertidumbre desde el campo de los estudios de la ciencia y la tecnología (Wynne, 1992; Stirling, 1999A; Stirling y Gee 2002; Funtowicz y Ravetz, 1993; Felt Y Wynne, 2007). Si bien las tipologías emergentes difieren en el modo en que delinear las fronteras de diferenciación, se pueden sintetizar algunos patrones generales, tal y como se expresa a continuación:

Riesgo siempre implica incertidumbre hasta cierto punto. Si estuviéramos ciertos de que un impacto particular podría (o no podría) ocurrir, hablaríamos de eso como una certeza, no como un 'riesgo'. De cualquier modo, de acuerdo con las tipologías emergentes, el término riesgo es definido como específicamente relevante para aquellas situaciones en las cuales pueden caracterizarse tanto los resultados potenciales como las probabilidades asociadas a esos resultados.

Incertidumbre es un término que puede ser aplicado a esas situaciones donde existe algún acuerdo sobre los resultados potenciales o impactos que pueden ocurrir, pero las bases para asignar probabilidades no son fuertes. Esto se debe a la falta de información relevante, pero esta falta puede ser reducida por medio de una mayor investigación.

Indeterminación se refiere al tipo de incertidumbre que existe debido a la complejidad asociada con los resultados predecibles (y probabilidades) en diversos sistemas sociales y naturales abiertos e interactuantes. Esta complejidad significa que nuestro conocimiento siempre será condicionado y falible porque la ciencia simplemente es incapaz de tomar en cuenta cada uno de los factores de un sistema dinámico.

Ambigüedad es un tipo de incertidumbre que resulta de la información contradictoria o de la existencia de marcos de supuestos y valores divergentes. Este

tipo de incertidumbre surge porque existen, por ejemplo, diferentes enfoques para generar conocimiento, diferentes interpretaciones del significado del conocimiento generado, diferentes modos de evaluar la calidad y fortaleza del conocimiento y diferentes modos de entender cómo debe actuarse a la luz del conocimiento.

Ignorancia se refiere a nuestra incapacidad de conceptualizar, articular o considerar resultados y relaciones causales que subyacen a nuestros marcos de entendimiento cotidianos. Este tipo de incertidumbre ha sido descrito como las cosas ‘que sabemos que no sabemos’ y representan la incapacidad de formular las preguntas correctas, más que el fracaso de plantear las respuestas adecuadas.

Esta tipología es resumida en la tabla 1.

TABLA 1. Tipología de incertidumbre en la ciencia para la elaboración de políticas

Tipo de incertidumbre	Explicación
FORMAS CUANTITATIVAS	
Riesgo (Probabilidad calculada)	Podemos imaginarnos el impacto posible y calculado de probabilidad de ese impacto cuando ocurra, aún cuando no se sepa si va a ocurrir o no
Incertidumbre (Lo que no ha sido calculado)	Podemos imaginarnos un impacto posible pero no sabemos la probabilidad de que pueda ocurrir. Es posible calcular esa probabilidad, pero no tenemos aún el conocimiento suficiente como para hacerlo.
formas cualitativas	
Indeterminación (Incapacidad de calcular de modo completo)	Para sistemas complejos, abiertos e interactivos, es imposible incluir todos los factores relevantes y las interacciones en los cálculos, por eso, el conocimiento es condicional y falible
Ambigüedad (Diversas formas de enmarcar el cálculo)	Podemos enmarcar de modo diverso los impactos en los que estamos interesados y el modo en que nos aproximamos, interpretamos y entendemos el conocimiento y los cálculos generados por aquellos
Ignorancia (No se sabe qué calcular)	No podemos imaginarnos el impacto posible. No sólo no hemos calculado todavía la probabilidad del evento, sino que desconocemos aquello que debemos calcular.

Si nos enfocamos solamente en una cuantificación de los riesgos, el discurso realista generalmente no logra tomar en cuenta la ambigüedad, indeterminación, ignorancia e incluso la incertidumbre en algunos casos (Stirling, 1999A; Funtowicz y Ravetz, 1993).

Estas diferentes formas de incertidumbre crean un espacio mediante el cual diferentes visiones, valores y supuestos moldean percepciones y evaluaciones diver-

gentes sobre el riesgo. Al no lograr manejar las incertidumbres de modo explícito y transparente, así como los valores y las suposiciones que operan por medio de aquellas, significa entonces que los factores psicológicos y sociales que influyen en las evaluaciones de riesgo (según lo descrito por la psicometría y la teoría de la cultura) quedan implícitos y ocultos durante la toma de decisiones. Esto también significa que el proceso de toma de decisiones basado en análisis realistas sobre los riesgos seguirá siendo materia de debate permanente, mientras las personas continúen enfatizando diferentes características de los riesgos en cuestión y argumentando desde premisas que compiten entre sí en relación con la organización biológica y social. La capacidad para manejar de manera transparente la toma de decisiones e incorporar un criterio social y cultural más amplio en el proceso de evaluación, depende de una reconceptualización del rol de los expertos (Slovic, 1998), una mejorada atención con respecto a las dimensiones sociales y éticas del desarrollo tecnológico y del aliento a una mayor participación pública en el proceso de toma de decisiones (Wynne, 2001).

RIESGO Y NANOTECNOLOGÍA

En las nanotecnologías, el riesgo aparece como un concepto central en los debates actuales y la toma de decisiones. En esta sección, señalaré algunas de las nuevas investigaciones relativas a los riesgos en nanotecnología y me centraré en subrayar las incertidumbres implicadas y las cuestiones importantes en juego, más allá de aquellas asociadas al riesgo físico. De este modo, el objetivo es el desafiar la idea de que "la evaluación científica del riesgo" es una herramienta adecuada para inofrmar a los tomadores de decisiones en el avance de las nanotecnologías.

Riesgos potenciales de las nanociencias y nanotecnologías

En los últimos cinco años, ha habido un dramático crecimiento en el interés sobre los potenciales impactos de las nanociencias y nanotecnologías (nanoST)¹ en la salud y el medioambiente. Esto se debe, en parte, a que no puede asumirse que las 'nuevas propiedades' que caracterizan la nanoescala serán nuevas para bien. No obstante, la respuesta a la pregunta "¿cuáles son los riesgos de la nanoST?" está en disputa porque el nivel de conocimiento científico disponible ha sido descrito como "rudimentario" (Balbus *et al.*, 2007) y el nivel de incertidumbre como "extremo" (Kandlikar *et al.*, 2007). En el caso del impacto de la nanoST en salud y en el medio ambiente, las denominadas 'brechas' del conocimiento se ensanchan, apareciendo como abismos enormes. No obstante, está comenzando a surgir investigación en este tópico, y algunos de los resultados clave y desafíos futuros son sintetizados aquí.

¹ En este punto, es importante comenzar a utilizar la terminología en plural, esto es, nanociencias y nanotecnologías en lugar de nanotecnología. Esto se debe a que cuando se habla de riesgos en un sentido más amplio, es importante ser capaz de distinguir entre diferentes formas de nanotecnologías y ser lo más específico posible. Asimismo, es importante incluir aquí a las nanociencias, porque también puede haber riesgos asociados a las propias prácticas de investigación y con productos manufacturados para la investigación en nanociencia.

¿LOS NANOTUBOS DE CARBONO PODRÍAN SER LOS NUEVOS ASBESTOS?

Los nanotubos de carbono comparten una estructura similar a la de los asbestos en tanto que ambos parecen pequeñas fibras tipo agujas. Por eso, una pregunta apremiante es ¿Pueden los nanotubos de carbono plantear los mismos riesgos que los asbestos? La respuesta proveniente de las primeras investigaciones científicas parece ser ‘Sí’. En la investigación actualmente disponible, los nanotubos de carbono han demostrado que causan inflamaciones y granulomas (lesiones por cicatrices) (Poland *et al.*, 2008; Muller *et al.*, 2005; Shedova *et al.*, 2005; Warheit *et al.*, 2004; Ma-Hock *et al.*, 2009; Lam *et al.*, 2004; Sanchez *et al.*, 2009), que es la misma respuesta corporal que resulta de la exposición a los asbestos y que antecede a la formación de cáncer, como la mesotelioma. Ha sido demostrado que los nanotubos de carbono también tienen una potencial toxicidad para las células de la piel por medio de la exposición dérmica (Shedoca *et al.*, 2003) y la genotoxicidad (toxicidad a nivel molecular) incluyendo la capacidad de dañar el ADN (Zhu *et al.*, 2007; Poland *et al.*, 2008).

Los nanotubos de carbono pueden ser de una o varias paredes, presentarse en una serie de tamaños diferentes, tienden a aglomerarse y pueden contener diferentes cantidades de residuos provenientes de catalizadores metálicos empleados durante la producción de los mismos. Todos estos factores tienen el potencial de impactar en la toxicidad observada. Los estudios mencionados arriba han sido llevados a cabo con diferentes:

- tipos de nanotubos de carbón (monocapa y multicapa);
- longitudes de nanotubos de carbono (cortos y largos);
- preparaciones experimentales (tubos individuales, aglomerados enredados, pedazos);
- sistemas de experimentación (por ejemplo, cultivos de células, ratones y ratas);
- métodos de exposición (inhalación, inyección, deposición dermal).

Mientras que esta diversidad de estudios los hace extremadamente difícil para su comparación, podría decirse que la totalidad de los resultados pueden ser interpretados como indicadores de un patrón emergente del *potencial* de los nanotubos de carbono para causar daño.

No obstante, para comprender la magnitud en la que en realidad se manifestará cualquier daño potencial, es importante entender la medida en la que serán expuestos los trabajadores, los consumidores y el medioambiente. Los nanotubos de carbono representan una de las “áreas *boom*” de la nanoST, con un mercado global calculado en más de 800 millones de dólares en 2011 (BCC Research, 2007). No obstante, actualmente, hay información disponible extremadamente limitada sobre los niveles de exposición de los nanotubos de carbono. La que está disponible sugiere que los trabajadores en industrias de nanotecnologías y en instalaciones de investigación y desarrollo están expuestos hasta cierto grado, por medio de la inhalación y la deposición dermal (Bergamaschi, 2009. Una importante excepción es Maynard *et al.*, 2004;). Sin embargo, esta información no dice nada sobre las exposiciones públicas (de las personas) y medioambientales, así como tampoco tiene en cuenta el crecimiento esperado en los niveles futuros de exposición, al tiempo que el uso sea expandido.

En estudios de toxicidad y exposición, es también crucial tener en cuenta la increíble persistencia de los nanotubos de carbono, que se ha sugerido, representa uno

de los materiales disponibles en la actualidad, hechos por el ser humano, que son de los menos biológicamente degradables (Shedova *et al.*, 2003). Esto hace que sea particularmente importante considerar los ciclos de vida completos, plazos suplementarios y la posibilidad de retrasos entre la exposición y los efectos. Al reconocer el valor de tomar medidas preventivas frente a la actual investigación científica, el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (National Institute for Occupational Safety and Health, 2010) de Estados Unidos ha propuesto recientemente que se recomienda una exposición límite de 7 microgramos de nanotubos de carbono o nanofibras por metro cúbico de aire. Esta figura ha sido sugerida debido a que hoy en día es la concentración más baja que puede ser medida de modo confiable.

Los desafíos para entender los riesgos planteados por los nanotubos de carbono se vinculan no solo a la información disponible limitada sino también al profundo debate acerca de los paradigmas, métodos y aproximaciones apropiados para los estudios de toxicidad. Por ejemplo, en los estudios diseñados y conducidos de acuerdo con un paradigma de fibro-toxicología, los nanotubos largos aparecen menos patógenicos. No obstante, si se examinan de acuerdo con métodos y enfoques que dan mayor relevancia a las partículas, los nanotubos más cortos pueden también demostrar una toxicidad significativa (Shedova *et al.*, 2005). Mientras que resulta relevante para los nanotubos, este último paradigma ha sido ampliamente aplicado para entender la toxicidad de nanopartículas diseñadas.

NANOPARTÍCULAS DISEÑADAS EN SISTEMAS BIOLÓGICOS

Existe consenso en la comunidad científica acerca de que la toxicidad de las nanopartículas diseñadas² no puede derivarse de nuestro entendimiento sobre esos mismos materiales a la macroescala o en bulto (Donaldson *et al.*, 2006; Oberdörster *et al.*, 2005; SCENIHR, 2005; Owen y Handy, 2007). No obstante, puede argumentarse que las nanopartículas de materiales están de hecho predisuestas a ser más tóxicas. Esto se debe a que como las partículas más pequeñas tienen áreas superficiales más grandes y las superficies son generalmente más reactivas, las partículas a nanoescala tienen la capacidad de penetrar e interactuar con sistemas biológicos de modos que difieren a los de los materiales en bulto contraparte. Además, debido a que las nanopartículas diseñadas son tan pequeñas, tienen la capacidad de moverse a través de membranas celulares, entrar en el torrente sanguíneo, la médula ósea, el cerebro y el feto (Oberdörster *et al.*, 2005; SCENIHR, 2005; Oberdörster, 2004; Lockman *et al.*, 2004; Takeda *et al.*, 2009). Las nanopartículas diseñadas también tienen la capacidad de actuar como vectores, capaces no sólo de enlazarse y acarrear otros químicos y contaminantes mientras se mueven a través de los sistemas biológicos, sino también de aumentar su toxicidad y su disponibilidad biológica (Baun *et al.*, 2008). Esto ha sido denominado como efecto ‘Caballo de Troya’ (Royal Commission on Environmental Po-

² El término ‘nanopartículas diseñadas’ es utilizado para indicar que el foco aquí no está sobre las partículas a nanoescala producidas de modo natural, sino en aquellas diseñadas a propósito y manufacturadas por el ser humano. Podemos, ciertamente, aprender de nuestra experiencia con partículas de nanoescala ‘naturales’ (e.g. que frecuentemente tienen el potencial de hacer daño) y del método desarrollado para estudiarlas (e.g. investigación en partículas ultrafinas), pero es también importante notar que la generación deliberada de nanopartículas está creando una serie de materiales nuevos y que las características únicas de éstos necesitan ser investigadas para entender su potencial (eco)toxicológico.

llution, 2008; Handy y Owen, 2008). Todas estas características han resultado en un llamado de atención a que los materiales a la nanoescala y, particularmente, las nanopartículas diseñadas, sean tratados y evaluados como sustancias nuevas en los estudios de toxicidad y en lo que respecta a su regulación.

¿Evaluaciones comprensivas de riesgo como respuesta?

Mientras el potencial para el daño a la salud humana y al ambiente está siendo crecientemente reconocido por la nanoST, la respuesta más común a los daños potenciales es la de enfatizar la necesidad de evaluaciones científicas de riesgo. Se asume que mientras que sea llevada a cabo una evaluación científica de riesgo, cualquiera de los daños potenciales pueden ser identificados, manejados y mantenidos dentro de límites tolerables. En esta sección, me enfocaré en algunos de los problemas que enfrenta esta estrategia cuando deviene como la única proveedora de *inputs* para la toma de decisiones en el desarrollo de nanoST.

EL DESAFÍO SUSTANCIAL DE LA NANO(ECO) TOXICOLOGÍA

La complejidad de evaluar científicamente los riesgos de los nanomateriales para humanos y el ambiente no debe ser subestimada. Como se ha indicado arriba, las nuevas propiedades que emergen como características de la nanoescala significan que no podemos extrapolar el entendimiento de la toxicidad de los nanomateriales a partir de nuestra experiencia con los mismos materiales en forma de bulto. Los factores más importantes para entender la toxicidad tampoco son necesariamente los relacionados con la métrica tradicional de dosaje en tanto masa o número, sino que pueden ser características como el área de superficie, la carga de la superficie, la longitud, la forma, el estado de aglomeración y la solubilidad. Estas características difieren en los distintos nanomateriales, así como en las diferentes formas o ‘especies’ del mismo nanomaterial.

Además, todas las características mencionadas arriba, que resultan importantes para entender la toxicidad, pueden ser alteradas en su interacción con factores ambientales como el pH, la salinidad, la dureza del agua y la presencia de materia orgánica (Baun *et al.*, 2008; Royal Commission on Environmental Pollution, 2008). Esto significa que las propiedades relevantes pueden cambiar a lo largo del ciclo de vida de un producto (Poland *et al.*, 2008; Baun *et al.*, 2008). Asimismo, no sólo la variedad de productos nanomateriales sugieren la posibilidad de patrones de exposición múltiples (incluyendo ingestión, inhalación, inyección y exposición dérmica) (Oberdörster *et al.*, 2005), sino que también puede ser relevante considerar diversas rutas [de exposición] en las diferentes etapas a lo largo del ciclo de vida del producto (Bergamaschi, 2009). Súmese además que la movilidad de las nanopartículas significa que éstas se pueden translocar a partes del cuerpo de los organismos vivos que pueden no estar indicadas como relevantes por la ruta de exposición inicial. Las diferentes especies tienen también diferentes susceptibilidades frente a los nanomateriales, lo que significa que las pruebas realizadas con una sola especie son insuficientes para entender los riesgos medioambientales (Baun *et al.*, 2008).

Más aún, entender el riesgo ecológico requiere una preocupación acerca del destino y el comportamiento de los nanomateriales en el medioambiente (por ejemplo, sus movimientos a través del suelo, aire, agua y los diversos organismos de un eco-

sistema). Para sumar a este cuadro sumamente complejo, es un hecho que las pruebas deberían idealmente ser realizadas no sólo considerando los efectos agudos, sino también considerando el potencial de efectos crónicos, efectos multitróficos (por medio de la cadena alimenticia), bioacumulación e impactos subletales como el cambio de comportamiento y la reducción de inmunidad o aptitud reproductiva (Owen y Handy, 2007).

Esto significa que, con el fin de “evaluar científicamente los riesgos” planteados por los nanomateriales para la salud humana y el ambiente, necesitamos una investigación que:

- documente las diversas características psicoquímicas de cada nanomaterial a lo largo de las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto;
- considere las múltiples rutas de exposición del organismo;
- pruebe diversas especies de organismos (incluidos los microorganismos);
- examine diversas partes del cuerpo de los organismos expuestos (incluidos los componentes celulares);
- refleje los movimientos potenciales a lo largo de ecosistemas complejos;
- utilice un marco temporal extendido;
- sea sensible a una amplia diversidad de posibles impactos más allá de la toxicidad aguda y la muerte.

Como si esto no fuera lo suficientemente difícil, lo que hace que las cosas empeoren es el hecho de que para el caso de los nanomateriales, no se han desarrollado los métodos y los instrumentos necesarios para llevar a cabo las pruebas requeridas (Grieger *et al.*, 2009). Esto abarca los niveles tan fundamentales como la carencia de modos para detectar, medir, caracterizar y, por lo tanto, monitorear, nanopartículas en una amplia gama de medios (Poland *et al.*, 2008; SCENIHR, 2005; Handy y Owen, 2008; EFSA, 2009). Esto significa que no solo existe investigación extremadamente limitada sobre la toxicidad de los nanomateriales, sino que también hay incapacidad para lograr estas investigaciones en el corto plazo. De hecho, se ha sugerido que las pruebas de toxicidad solamente para los nanomateriales comercialmente disponibles en la actualidad, tomaría décadas para ser completada y que requiere de una inversión de más de mil millones de dólares (Baun *et al.*, 2008; Choi, Ramachandran y Kandlikar, 2009). A pesar de las declaraciones realizadas periódicamente sobre la importancia (Editor, 2008) vital de la investigación (eco)toxicológica, actualmente, los fondos disponibles son extremadamente limitados. El financiamiento para investigación en la salud humana y el medioambiente suele combinarse con el financiamiento disponible para investigación en aspectos éticos, legales y sociales, y, en total, ambos obtienen cerca del 3-5% de los presupuestos disponibles para el desarrollo de nanoST.

Esta situación genera una cantidad importante de paradojas:

- las especificidades toxicológicas, podría decirse, requieren que los nanomateriales sean evaluados sobre una base de caso por caso, pero esto es prácticamente imposible (Walker y Bucher, 2009);
- necesitamos una caracterización fisicoquímica para los nanomateriales a lo largo de sus ciclos de vida, pero en la actualidad no existen buenos métodos disponibles para ello (SCENIHR, 2005);

- hay una necesidad crítica de información sobre niveles de exposición, pero se requieren nuevos métodos y equipos para detectar y medir adecuadamente las nanopartículas (*Ibid.*);
- Sólo la masa y el número no son suficientes como mediciones de dosis y, sin embargo, factores alternativos como el área superficial y la química superficial no forman parte de las evaluaciones normativas de seguridad;
- se necesita urgentemente más investigación, pero hay una falta de procedimientos estándares de pruebas y de materiales de referencia que permitan un desarrollo coordinado y la comparación entre estudios.

Esta situación ha llevado a algunos organismos ambientalistas (ETC Group, 2009; Friends of the Earth Australia, 2006) y a políticos (Anónimo, 207; Lucas, 2003) a convocar una moratoria en la comercialización. También ha llevado a organizaciones científicas de peso a recomendar que debe evitarse al máximo grado posible la liberación [de nanomateriales] al medioambiente (Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004).

Mientras que la sugerencia de una moratoria a nivel comercial, hasta tanto se reuna mayor cantidad de información, ha generado controversias, lo que parece claro es que la tradicional herramienta de la “evaluación científica de riesgos” para la toma de decisiones está siendo lastimada debido a la profunda falta de información sobre nano(eco)toxicología. Las grandes lagunas de incertidumbre y las décadas requeridas para llevar a cabo la investigación necesaria significan que la idea de la toma de decisiones por medio de una evaluación científica de los riesgos deberá ser reconocida como imposible en la actualidad (Bergamaschi, 2009; Royal Commission on Environmental Pollution, 2008). Existe, por lo tanto, la necesidad de apartarnos del enfoque de la “evaluación científica de riesgos” como la única herramienta de ayuda necesaria para la toma de decisiones, y movernos hacia una exploración de enfoques que nos permitan una negociación deliberada de la incertidumbre. Esto *no* implica sugerir que las evaluaciones de riesgo basadas en la mejor investigación nanotoxicológica disponible no sean llevadas a cabo para ayudar a informar en la toma de decisiones, sino que en tanto se presente como única evaluación, debe ser reconocida como insuficiente.

EL ROL DE LOS VALORES EN LAS PRUEBAS (ECO)TOXICOLÓGICAS

El grado extremo y los diversos tipos de incertidumbre involucradas en la nanoST hacen especialmente vital el reconocimiento de la importancia de los aspectos sociales y éticos en la toma de decisiones, incluyendo el rol clave jugado por las visiones, valores y creencias en el impulso hacia adelante de esta trayectoria tecnológica. Negociar las situaciones de incertidumbre implica realizar elecciones sin un conocimiento completo, lo cual significa que estas elecciones no pueden dejar de estar influenciadas por valores, creencias, suposiciones y visiones del mundo. No obstante, es importante reconocer que los valores permean todas las etapas, incluyendo la de la investigación científica. Por ejemplo, en la investigación (eco)toxicológica en nanoST, los científicos tienen que llevar a cabo diversas elecciones que están influenciadas por valores personales y culturales, creencias y suposiciones. Esto incluye:

- qué nanotecnología ha de estudiarse (por ejemplo, qué nanopartícula es considerada como la más relevante, interesante o importante);

- cuál sera el sujeto de la prueba a utilizar (por ejemplo, qué organismo o que parte de los efectos de un organismo deberían ser sometidos a prueba);
- qué sistema de prueba, métodos, herramientas o paradigmas se utilizarán (por ejemplo, en qué métrica de dosaje se enfocará –masa de partículas, número de partículas o área superficial de las partículas);
- qué ruta de exposición se examinará (por ejemplo, inyección, inhalación, ingestión o deposición dermal);
- Qué criterios de valoración serán observados (por ejemplo, si se observarán muertes, lesiones, expresión protéica, comportamiento, tasas de reproducción);
- cómo se interpretarán los resultados (por ejemplo, hasta qué punto están relacionados con la nanopartícula en estudio, impurezas/contaminantes en las muestras de las pruebas, las especificidades de los organismos involucrados, las limitaciones del método, etc.).

Las enormes incertidumbres involucradas significan que los científicos llevan a cabo inevitablemente elecciones al concretar su conocimiento, y que todas estas elecciones son influenciadas por valores y permanecen abiertas a un debate legítimo a través de enmarcamientos [o aproximaciones] e interpretaciones alternativas. Cuando la ciencia es utilizada para informar el proceso de toma de decisiones políticas o para el entendimiento de las personas, reconocer la incertidumbre y la importancia de las diferentes elecciones y supuestos deviene en una cuestión primordial.³ No obstante, es importante señalar aquí que mientras las interrogantes deliberadas sobre la ciencia para la política es de particular importancia para la nanoST, para la cuestión de la gobernanza, también lo son las negociaciones deliberativas en torno a la asignación de financiamiento y las trayectorias sociotécnicas que se desarrollan como resultado. Esto es de especial importancia para la nanoST debido a que la inversión proveniente del sector público ha sido la principal responsable de estimular el desarrollo y la institucionalización del campo (Bürgi, 2006; Schummer, 2007).

¿El riesgo como única preocupación social legítima?

El preo dominio del riesgo como un modo de estructurar la discusión en nanotecnología y su rol en el futuro significa que el daño físico a la salud humana y medioambiental aparece como la única preocupación social legítima. Otras preocupaciones relacionadas con cuestiones sociales y éticas se han relegado a los márgenes del debate y no se les otorga un valor significativo en lo relativo a la toma de decisión. Para que los tomadores de decisiones entren en acción (e.g. para evitar que los fondos se dirijan a nanotecnología o para construir barreras reguladoras que frenen su rápido desarrollo), actualmente se requiere de evidencia concreta sobre los serios riesgos para la salud humana y ambiental. Esto sucede a pesar de que en el debate sobre los organismos genéticamente modificados (GMOs) se demuestra claramente que las preocupaciones de la gente se extienden más allá de los riesgos físicos. Por ejemplo, en el debate sobre los GMOs en agricultura, las preocupaciones de la gente se relacionan generalmente con cuestiones sociales como el control corporativo sobre la cadena ali-

³ Se discute de modo más profundo cómo hacer esto en la sección "Evaluación de pedigrí".

menticia o con cuestiones éticas sobre la integridad de los organismos y la cruza de especies, o de los límites de los reinos (e.g. incorporar genes animales o microbios en una planta). Los riesgos físicos para la salud humana y ambiental son ciertamente importantes para la nanotecnología (vease más arriba), pero no son las únicas cuestiones legítimas de preocupación social. Hay otras cuestiones sociales relevantes, como los impactos potenciales en los mercados de trabajo a nivel nacional e internacional por el reemplazo de productos, así como cuestiones éticas, como de qué modo el desarrollo de nanoST apoya un concepto particular de la relación entre el hombre y el mundo biológico que perpetúa una actitud dominante y arrogante.

Si la nanoST verdaderamente representa un nuevo campo revolucionario de desarrollo con el potencial para ‘impactar todos los aspectos de nuestras vidas cotidianas’, debemos ser prudentes en interrogar algunas de las cuestiones sociales y éticas más amplias que están en juego. Esto implica hacer preguntas como:

- ¿Cuáles son los supuestos subyacentes y visiones que conducen la nanoST hacia adelante?
- ¿Apoyamos esos supuestos y visiones?
- ¿Cómo podrían las aplicaciones cambiar nuestra sociedad y comunidades en la práctica?
- ¿Cómo podrían impactar en conceptos fundamentales como las relaciones humano/naturaleza?
- ¿Quiénes serán los ganadores y quiénes serán los perdedores?
- ¿Cómo podrían ser aplicados los valores éticos de justicia y equidad?
- ¿Podemos elegir perseguir ciertos aspectos y no otros?
- ¿Quiénes o qué está controlando hacia dónde va el campo?
- ¿Cómo debemos controlarlo?
- ¿Podemos dirigir la nanoST hacia la sustentabilidad y el beneficio social?
- ¿Cómo puede contribuir la nanoST a nuestro concepto de “vida buena”?
- ¿Qué queremos priorizar exactamente y en qué queremos invertir nuestro tiempo y dinero?

Algunas de las creencias básicas que apoyan la actual posición permisiva con respecto a la comercialización de la nanotecnología (a pesar de la falta de investigación toxicológica completa) incluye: el crecimiento económico es el máximo bien; toda innovación contribuye al crecimiento económico y por lo tanto es buena; ‘progreso’ es equivalente a avance tecnológico; son posibles las soluciones tecnológicas a problemas futuros. Mientras que estas creencias pueden constituir una verdad para algunas personas, existen alternativas legítimas y, en sociedades democráticas y plurales, éstas deben ser sujetas a la negociación abierta y al debate.

Subyacente a todas las preguntas sobre la política científica está la medida en que creemos que los ciudadanos y las instituciones sociales tienen control sobre las trayectorias de la ciencia y la tecnología. Si creemos que la tecnología determina su propio patrón de desarrollo y, consecuentemente, también nuestras estructuras sociales y creencias culturales (determinismo tecnológico), hay, por supuesto, poco que podamos hacer, excepto tratar y minimizar el impacto de cualquier consecuencia negativa que pueda surgir. No obstante, si creemos que los factores sociales, políticos y económicos (como los organismos financieros, las restricciones legales, las instituciones reguladoras, los patrones de consumo y los valores culturales) juegan un rol

en determinar qué tipo de ciencia y tecnología se persigue, podría decirse que tenemos el poder para jugar un rol colectivo más activo en guiar la ciencia y la tecnología en direcciones que generen mayores beneficios y que sean más deseables de acuerdo con nuestras metas sociales y con nuestros marcos éticos. Esto implica movernos de la 'gobernanza del riesgo' hacia una práctica más amplia de 'gobernanza de la innovación' (Felt y Wynne, 2007).

En lo que sigue, expongo una serie de herramientas alternativas y adicionales para la toma de decisiones que existen en torno a las nuevas tecnologías, orientadas a integrar de modo más directo las consideraciones de cuestiones éticas y sociales. Un uso más extensivo de estos enfoques puede ayudar a los tomadores de decisiones a moverse más allá de cuestiones de riesgos técnicos y abrirse a la consideración de múltiples futuros socio-técnicos potenciales.

MÁS ALLÁ DEL RIESGO

Evaluación de beneficios

La primera cuestión que es importante notar cuando hablamos de la necesidad de movernos más allá de un solo enfoque de evaluación de riesgos es la paradoja de la toma de decisiones que actualmente existe. Cuando se emplea el discurso del riesgo, los tomadores de decisiones argumentan requerir evidencia concreta del daño físico antes de tomar acciones contra la comercialización de las nanotecnologías. Al mismo tiempo, sin embargo, los gobiernos apoyan el rápido desarrollo de las nanotecnologías basándose en beneficios enormemente hipotéticos y afirmaciones no probadas. Si continuamos considerando los análisis exhaustivos de riesgo para detener el desarrollo, podría argumentarse que quizás por lo menos necesitemos balancear esos análisis con los análisis exhaustivos de beneficios a modo de apoyar dicho desarrollo. Por ejemplo, ¿los beneficios de los calcetines impregnados con nanoplatina realmente superan los riesgos que las nanopartículas de plata y los iones implican potencialmente para la salud humana y el ambiente? Mientras que esto puede ser visto como un análisis centrado en el costo-beneficio por encima de un análisis de riesgo, lo que argumento aquí, es simplemente que si los beneficios de aplicaciones particulares de nanotecnología no son sometidos a un escrutinio y estándares de prueba para la toma de decisiones igualmente rigurosos, existe una paradoja que siempre favorecerá a la comercialización de nuevas tecnologías (potencialmente peligrosas).

El actual (y generalmente implícito) enfoque predeterminado es que lo que se considera socialmente beneficioso y deseable es el crecimiento económico y, por lo tanto, como la nanoST apoya esto, el campo es apoyado y alentado (con el mercado como el que se ocupa, en última instancia, de lo que será o no desarrollado). No obstante, han comenzado a emerger para la nanoST otros enfoques que proponen un mayor énfasis en metas sociales específicas y en prioridades éticas. Por ejemplo, la Comisión Europea ha publicado recientemente un Código de Conducta (CoC por sus siglas en inglés) para la investigación en nanoST (European Commission, 2008), que se propone sea utilizado para ayudar a los investigadores a desarrollar proyectos, así como para ayudar a los que financian a decidir qué proyecto financiar.

En el CoC, la investigación nano 'responsable' es presentada como aquella que es llevada a cabo en la línea del principio de precaución, que contribuye al logro de una sociedad sustentable y a los objetivos de desarrollo del milenio, y que es transparen-

te y comprensible para todos. En consulta con los *stakeholders*, la Comisión identificó también áreas de restricción para la investigación en nanoST, incluyendo una prohibición en investigación para el mejoramiento humano y una moratoria selectiva de productos en desarrollo que impliquen intrusión en el cuerpo humano (por ejemplo, comida y cosméticos). Esto significa que al pensar qué campos de investigación deberían ser priorizados y por tanto financiados con recursos públicos, la Comisión Europea está abogando más activamente por desarrollos en direcciones socialmente deseables y negociados públicamente.

Evaluación de conocimiento

Se ha sugerido que cuando lo que está en juego es alto, cuando los valores están en disputa, y las decisiones son urgentes (como lo es, de hecho, en el caso de la nanoST), se necesita un nuevo tipo de ciencia para la política –una ‘ciencia post-normal’ (Funtowicz y Ravetz, 1993). Esto es, una ciencia que tome en cuenta las incertidumbres involucradas y que abra el proceso de “revisión extendida de pares”. Si se sigue utilizando la herramienta de análisis del riesgo, yo diría que al menos debe ser extendida de modo que se incentive este tipo de revisión extendida y el análisis crítico de la calidad del conocimiento científico disponible.

Con esto, sostengo que los análisis de riesgo deben ser complementados con procesos que evalúen la calidad del conocimiento empleado por medio de deliberaciones que involucren diferentes disciplinas científicas, acciones o miembros del público. Mientras que diferentes disciplinas de la comunidad científica pueden debatir temas como la solidez metodológica y las interpretaciones alternativas para estudios científicos específicos, el resto de la comunidad podría deliberar sobre aspectos tales como las metas de protección relevantes y los criterios de valoración ambiental para cualquier evaluación y el peso que debería darse a los diferentes tipos de estudios. Un proceso de deliberación más amplio permite que sea probada la fortaleza y la calidad de cualquier evidencia para la toma de decisiones explorando los diferentes modos en los que puede ser enmarcada o interpretada por gente en diferentes contextos, con diferentes conocimientos y perspectivas, así como el nivel de apoyo con el que cuentan diferentes elecciones y supuestos en diversas comunidades. El enfoque de la ‘evaluación de pedigrí’ constituye una herramienta establecida para llevar a cabo dichos procesos.

EVALUACIÓN DE PEDIGRÍ

El concepto de “pedigrís” científicos para el quehacer político fue propuesto por primera vez por Funtowicz y Ravetz (1990). La herramienta de la evaluación de pedigrís tiene por objeto hacer explícitas las diferentes opciones valorativas y los supuestos involucrados en el desarrollo del conocimiento y abrirlos a una evaluación deliberativa. Los pedigrís buscan proporcionar “una evaluación del proceso de producción de información (va Der Sluijs *et al*, 2005)”, con el supuesto de que una identificación y negociación transparentes de las diferentes elecciones y supuestos involucrados, pueden “aumentar la calidad y fortaleza del conocimiento utilizado en el quehacer político” (Craye, Funtowicz y van der Sluijs, 2005). En la primera instancia, los pedigrís de conocimiento se ocupan de identificar los ‘aspectos cruciales’ en la producción de conocimiento científico, por ejemplo, esos lugares donde son realizadas las elecciones

y definidos los supuestos. Estos aspectos clave incluyen cosas como: de qué modo es definido un problema científico, qué método se elige para realizar la investigación, qué criterios de valoración e indicadores son utilizados, qué herramientas estadísticas son aplicadas, cómo son interpretados los resultados, qué tipo de revisión se realiza y cómo son comunicados los resultados. Idealmente, se desarrollan un conjunto de cuestionamientos críticos y una escala cualitativa y cuantitativa para cada uno de esos aspectos clave. Por ejemplo, si se está interesado en entender los efectos negativos en la salud de un organismo, un aspecto clave será la elección de indicadores (qué es lo que se va a medir para determinar un efecto), qué implica, por ejemplo, una elección entre medir muertes observables, el número de tumores, conteo de glóbulos blancos, fortaleza de las uñas, entre otros.

Una pregunta clave puede ser ¿en qué medida el indicador seleccionado cubre el efecto del cual uno desea obtener conocimientos? Una escala cualitativa puede progresar de una medida exacta, bien ajustada, bien correlacionada, a una escala débilmente correlacionada, donde la fortaleza de las uñas puede ser considerada como una correlación débil y las muertes consideradas como la medida exacta. El pedigrí es el resultado de una matriz de evaluaciones de conocimiento basada en un ranking cualitativo de diferentes aspectos clave (que se presenta en una gama de formas, véase, por ejemplo Funtowicz y Ravetz, 1990; van der Sluijs et al 2005; Wickson, 2009). Al seleccionar aspectos clave, preguntas críticas y escalas cualitativas, y al llevar a cabo la evaluación, el énfasis es generalmente puesto en la negociación en grupos de trabajo que involucran a una serie de actores (*stakeholders*), especialmente aquellos con diferentes perspectivas, valores e intereses. Obviamente, el desarrollo de un pedigrí de conocimiento usualmente involucra diferentes niveles de debate y discusión, y esta es la parte de su utilidad; el proceso permite reconocer la importancia de las opciones valorativas y de los supuestos en la ciencia para el quehacer político de tal suerte que ésta última aparentemente se haga por impugnación. Asimismo, posibilita considerar sin sentido alguno evaluar y discutir tales valores y supuestos desde diferentes perspectivas. De este modo, “se abre” el proceso al hacer claro el impacto de diversas perspectivas en lugar de “cerrarlo” al tratar de otorgar un base objetiva para la toma de decisiones.

Evaluación tecnológica

La evaluación tecnológica es un enfoque que está específicamente avocado a identificar los impactos sociales potenciales y las implicaciones de las nuevas tecnologías. Mientras el concepto y la práctica han sido utilizados por décadas, desarrollos recientes en el campo han buscado alterar la estructura y los objetivos de los enfoques previos. Por ejemplo, en su versión original, la evaluación tecnológica tomaba a la tecnología como algo dado, su objetivo era particularmente predecir los impactos sociales, y era un proceso orientado a dar información a los hacedores de políticas. En los nuevos enfoques, no obstante, se le otorga mucho más peso a la idea de coproducción entre ciencia y sociedad. La meta específica, entonces, es la de integrar de modo más directo la investigación en ciencias sociales y los valores públicos en los procesos de IyD. Los dos ejemplos más conocidos de este enfoque son las evaluaciones de tecnología constructivas y las evaluaciones de tecnología en tiempo real.

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA

La evaluación de tecnología constructiva (CTA por sus siglas en inglés) ha sido ampliamente desarrollada en Holanda, siendo Arie Rip el promotor más visible de este enfoque. La CTA comienza como una creencia en la coproducción de ciencia y sociedad y está particularmente enfocada en la construcción de tecnologías con el objeto de ampliar el diseño de nuevas tecnologías de modo que los aspectos sociales sean explícitamente tomados en cuenta como criterios de diseño importantes (Scot y Rip, 1997). El foco está puesto específicamente en la modelación a través de la interacción entre actores sociales y tecnológicos. En este sentido, la idea es que los desarrolladores de tecnología modifiquen sus diseños de acuerdo con criterios sociales, probando nuevos enfoques, comprometiéndose en diálogos de base amplia, modificando los diseños futuros si es requerido y probándolos de nuevo y así sucesivamente. Mientras los procesos y herramientas actualmente utilizados pueden ser múltiples, existen tres elementos básicos considerados como clave en los enfoques CTA (*Ibid.*). Estos son: 1) un proceso de “mapeo socio-técnico” en el cual las dinámicas del desarrollo tecnológico son mapeadas en combinación con visiones y preferencias sociales; 2) experimentación temprana y controlada con tecnologías para identificar impactos inesperados y permitir la modulación en el diseño; 3) el diálogo entre los innovadores y un gama de accionistas de modo que las necesidades sociales y las demandas tengan oportunidad de ayudar en la modelación de procesos de innovación. La CTA ya ha sido aplicada a nanoST por medio del trabajo de Rip y sus colegas en Holanda (Rip, 2008).

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍA EN TIEMPO REAL

Las evaluaciones de tecnología en tiempo real (RTTA, por sus siglas en inglés) han sido desarrolladas en un inicio por Daev Guston y Daniel Sarewitz en Estados Unidos. La RTTA toma el mismo punto de partida general que la CTA, a saber, una creencia en la coproducción entre ciencia y sociedad y la necesidad de comprometerla directamente en el proceso de IyD. No obstante, la RTTA no se involucra en experimentación y prefiere focalizarse en situar la nueva tecnología en un contexto histórico, así como mapear el modo en que el conocimiento, los valores y las percepciones van cambiando a lo largo del tiempo (Guston y Sarewitz, 2002). La RTTA se asume como novedosa en el modo en que reúne e integra una serie de enfoques establecidos, métodos e intereses presentes en las ciencias sociales. Al hacer esto, se organiza alrededor de cuatro actividades que se apoyan mutuamente y que deben ser desarrolladas al mismo tiempo. Los cuatro componentes interrelacionados de la RTTA son: 1) los casos de estudio analógicos (donde son investigados aquellos ejemplos relevantes de innovaciones pasadas para entender el patrón de la resupuesta societal; 2) mapeo de programas de investigación (donde se mapean y monitorean actividades actuales de IyD para entender cómo se está haciendo, qué se está haciendo y dónde); 3) comunicación y advertencia temprana (donde los estudios son desarrollados para entender la representación en los medios, las actitudes públicas y las respuestas a las representaciones en los medios, estudiando de este modo, cómo cambian a lo largo del tiempo el conocimiento y las opiniones públicas) y, 4) evaluación tecnológica y elección (prever impactos societales potenciales, desarrollar y deliberar sobre diferentes escenarios futuros, y evaluar el impacto de actividades de RTTA en investigación y desarrollo) (*Ibid.*). Guston y Sarewitz están trabajando actualmente con una serie de colaborado-

res en Estados Unidos para implementar actividades del tipo RTTA en nanoST (véase: <http://cns.asu.edu/program/research.html>).

Evaluaciones Alternativas

Los enfoques mencionados van mucho más allá del riesgo y permiten, al menos en cierta medida, la consideración directa de aspectos y discusiones sobre diferentes futuros socio-técnicos. No obstante, éstos se focalizan en analizar una tecnología particular, más que en el análisis de cómo el impacto y el conocimiento vinculados a esta tecnología pueden compararse con alternativas disponibles. Idealmente, si se considera apoyar el desarrollo de la nanoST, deberíamos preguntarnos cuáles son las rutas alternativas para alcanzar los mismos objetivos que buscan las nanotecnologías y cómo se comparan todas las alternativas en cuestiones sociales, ambientales y éticas.

El análisis multicriterio es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones, que analiza las nuevas tecnologías de acuerdo con diferentes criterios y lo hace de modo que permite realizar una comparación entre una serie de opciones de políticas. Como las metodologías de evaluación tecnológicas, el enfoque multicriterio ha sido desarrollado y usado por muchos años y al igual que la evaluación de tecnología, recientemente han sido planteadas nuevas formas para responder a críticas orientadas a los viejos enfoques. Para la evaluación multicriterio, uno de los enfoques más significativos es el del mapeo multicriterio.

MAPEO MULTICRITERIO

El mapeo multicriterio (MCM, por sus siglas en inglés) es un método desarrollado por Andy Stirling en el Reino Unido. Su objetivo específico es documentar las opiniones de los actores involucrados (*stakeholders*) en una serie de diversas opciones políticas de un modo tal que los diferentes criterios de evaluación, intereses y valores sobre los que se basan sus decisiones, queden claros. De este modo, busca “abrir” los enfoques de evaluación mapeando una serie de opciones alternativas disponibles y mostrando el modo en que estas alternativas son evaluadas por diferentes conocimientos, marcos y valores (Stirling, 2009 en: www.multicriteriamapping.org). El MCM comparte las cuatro etapas básicas del análisis multicriterio. Estas son: 1) caracterizar una serie de “opciones” alternativas disponibles para alcanzar una meta particular; 2) desarrollar un conjunto de “criterios” relevantes para evaluar diferentes opciones; 3) evaluar cada opción por medio de la asignación de la “puntuación” numérica para su rendimiento de acuerdo con cada criterio; 4) asignar un “peso” a cada criterio para reflejar su importancia relativa para los actores involucrados (Stirling, Lobstein y Millstone, 2007). En términos prácticos, el MCM involucra a investigadores que desarrollan una serie de opciones alternativas disponibles para alcanzar un objetivo particular e identificar un grupo significativo y diverso de actores. Las entrevistas con estos actores se orientan a identificar el criterio de evaluación así como el rango de los diferentes tipos de opción de acuerdo con este criterio, asignando peso a este criterio y revisando y modificando los resultados cuando así se requiere. Esta información es grabada e ingresada en tiempo real en un software específicamente desarrollado (MC Mapper). En contraste con muchos enfoques multicriterio, no obstante, el MCM permite a los actores involucrados (y no sólo a los investigadores) agregar y redefinir las diferentes opciones que se les han presentado y definir el criterio de autoevaluación. Además,

el MCM es el único con un enfoque que permite captar también las incertidumbres. Esto se lleva a cabo haciendo que los actores realicen dos puntuaciones de rendimiento para cada criterio –es decir, cómo es el rendimiento para cada criterio particular, bajo supuestos tanto optimistas como pesimistas. Esto permite que las puntuaciones de rendimiento puedan presentarse como una serie de valores, lo que muestra la variación de acuerdo con el nivel de incertidumbre que se considera involucrada. A diferencia de otros enfoques multicriterio, MCM no está focalizado en llegar a una sola opción de ‘mejor rendimiento’, sino más bien, en constituir una herramienta que permita explorar un ‘mapeo’ de las diferencias en opciones de rendimiento. De tal modo, se busca abrir las discusiones de quehacer político por medio de explorar una serie de opciones diferentes de acuerdo con valores que varían, en lugar de simplemente cerrar la discusión al buscar desarrollar un único consenso sobre la mejor opción (*Ibid.*).

Compromiso público

Uno de los enfoques importantes para evaluar nanoST de acuerdo con criterios sociales y éticos y en oposición al simple uso de criterios técnicos ha sido el desarrollo de ejercicios de “involucramiento desde arriba” (*upstream engagement*) (Wilsdon, 2005). No obstante, muchos de estos ejercicios para la discusión e inclusión social que se están llevando a cabo actualmente al rededor de los avances en nanoST (como las conferencias de consenso, jurados ciudadanos, grupos focales, cafés científicos, etc.) sólo requieren que las personas den sus opiniones en nanoST después de haber considerado los riesgos y beneficios involucrados o los escenarios hipotéticos futuros (Delgado, Kjolberg y Wickson, 2010). En estos enfoques, el desarrollo y avance de la nanoST es por lo tanto, esencialmente tomado como algo dado y las discusiones están orientadas a entender qué es lo que se considera aceptable de modo tal que se evite una reacción similar a la que ocurrió en contra de los GMOs (Doubleday, 2007). Plantear ejercicios de compromiso focalizados en nanoST de este modo, implica que aquellos involucrados en el debate necesitan estar bien informados sobre detalles técnicos relativos a lo que son las nanoSTy los riesgos potenciales que pueden implicar (antes de acudir al ejercicio o a través de información brindada en los primeros pasos del proceso). Esto no sólo crea desafíos en cuanto a encontrar los participantes adecuados y en cuanto a enmarcar cualquier información provista de un modo imparcial, sino que también reduce dramáticamente el alcance de las discusiones, es decir, a cómo deseáramos que sea nuestro futuro nanotecnológico, más que si queremos o no un futuro nanotecnológico.

No obstante, otra forma de enfocar las discusiones, sería la de comenzar preguntando a las personas qué es importante para ellas, qué consideran que es ‘la buena vida’, cómo comprenden el ‘progreso’, qué tipo de futuro les gustaría vivir, etc., y qué consideren la deseabilidad y el rol potencial de la nanoST en el marco de estas visiones y valores. Este enfoque estructura el proceso de compromiso y deliberación pública alrededor de discusiones de valores fundamentales más que sobre una tecnología específica *per se* y que compromete a la gente, en tanto ciudadanos de comunidades sociales y biológicas, en lugar de considerarlos como meros consumidores o *stakeholders* autointeresados. Este enfoque pondría en el primer plano de la discusión, las metas sociales y los valores éticos, antes que a la nanoST.

CONCLUSIÓN

En este artículo sugerí que el discurso del riesgo domina la discusión pública y la toma de decisiones políticas en lo que refiere a las nuevas tecnologías. Al subrayar algunos de los numerosos elementos sociales que son descuidados en las discusiones técnicas de riesgo, he buscado mostrar la limitada y estrecha naturaleza de este discurso. Después consideré el caso de las nanociencias y nanotecnologías y describí no sólo algunos de los importantes aspectos de riesgo involucrados, sino también las enormes incertidumbres que obstaculizan nuestra capacidad para llevar a cabo evaluaciones de riesgo científicas en este campo. También sugerí que algunas de las cuestiones éticas son descuidadas cuando se retoman los análisis del riesgo desde un solo enfoque.

Habiendo criticado la naturaleza estrecha y tecnocrática de las evaluaciones de riesgo como una herramienta para la toma de decisiones (así como nuestra capacidad para aplicarla a la nanoST), después esquematicé una serie de herramientas alternativas disponibles que se enfocan de modo más específico en integrar consideraciones sociales y técnicas y abiertas a la consideración de múltiples futuros potenciales. Esto incluyó la descripción de diferentes formas de evaluación de conocimiento (es decir, evaluación de pedigrí), evaluación tecnológica (evaluación constructiva de la tecnología y evaluación de tecnología en tiempo real), y evaluaciones de alternativas (mapeo multicriterio). También consideré lo que significaría pensar con más detalle sobre los beneficios involucrados en el avance tecnológico y su relación con los valores éticos y sociales. De este modo, espero haber alentado un cambio, más allá de la simple discusión de los riesgos asociados a las nuevas tecnologías, al tiempo que éstas se confían a nosotros y son abiertas a un enfoque que busca una discusión social más amplia, incluyente y éticamente sensible como fundamento de la gobernanza de las nanotecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, J. (1995). *Risk*. Londres: University College London Press.
- Adams, J. y M. Thompson. (2002). "Taking account of societal concerns about risk: Framing the problem". *Health and Safety Executive*. Londres: 1-43.
- Anónimo. (2007). "Call for a moratorium on nanotechnology". *Sydney Morning Herald*, 17 de marzo. <<http://www.smh.com.au/news/National/Call-for-moratorium-on-nanotechnology/2007/03/17/1174080202836.html>> (último acceso 22 de julio de 2009)
- Balbus, J. M., A. D. Maynard, V. L. Colvin, V. Castranova, G. P. Daston, R. A. Denison, K. L. Dreher, P. L. Goering, A. M. Goldberg, K. M. Kulinowski, N. A. Monteiro-Riviere, G. Oberdörster, G. S. Omenn, K. E. Pinkerton, K. S. Ramos, K. M. Rest, J. B. Sass, E. K. Silbergeld y B. A. Wong. (2007). "Meeting report: Hazard assessment for nanoparticles—Report from an interdisciplinary workshop". *Environmental Health Perspectives*, 115:11, pp. 1654–1659.
- Baun, A., S. N. Sørensen, R. F. Rasmussen, N. B. Hartmann y C. B. Koch. (2008). "Toxicity and bioaccumulation of xenobiotic organic compounds in the presence of aqueous suspensions of aggregates of nano-C60". *Aquatic Toxicology*, 86: 379–387.
- BCC Research, "Carbon nanotubes: Technologies and commercial prospects". *BCC Report*, marzo de 2007. <<http://www.bccresearch.com/report/NAN024C.html>> (último acceso 21 de julio de 20).

- Beck, U. (1986). *Risk Society: Towards a New Modernity*. Londres: Thousand Oaks, Nueva Delhi, SAGE Publications.
- Bergamaschi, E. (2009). "Occupational exposure to nanomaterials: Present knowledge and future development". *Nanotoxicology*, 3(3): 194–201.
- Bürigi, B. R. (2006). "Societal implications of nanoscience and nanotechnology in developing countries". *Current Science*, 90(5): 645–658.
- Choi, J-W., G. Ramachandran y M. Kandlikar. (2009). "The impact of toxicity testing costs on nanomaterial regulation". *Environmental Science and Technology*, 43(9): 3030–3034.
- Craye, M., S. Funtowicz, y J. van der Sluijs. (2005). "A reflexive approach to dealing with uncertainties in environmental health risk science and policy". *International Journal of Risk Assessment and Management*, 5(2/3/4): 216-236.
- Delgado, A., K.L. Kjølberg y F. Wickson. (2010). "Public engagement coming of age: From theory to practice in STS encounters with nanotechnology". *Public Understanding of Science*.
- Donaldson, K., R. Aitken, L. Tran, V. Stone, R. Duffin, G. Forrest y A. Alexander. (2006). "Carbon nanotubes: A review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety". *Toxicological Sciences*, 92(1): 5–22.
- Doubleday, R. (2007). "Risk, public engagement and reflexivity: Alternative framings of the public dimensions of nanotechnology". *Health, Risk and Society*, 9(2): 211-227.
- Douglas, M. y A. Wildavsky. (1982). *Risk and culture: An essay on the selection of technical and environmental dangers*. Berkeley, University of California Press.
- Editor. (2008). "The same old story" (editorial). *Nature Nanotechnology*, 3(12): 699–700.
- EFSA. (2009). "The potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety" (scientific opinion of the Scientific Committee). *The EFSA Journal*, 958: 1–39. <http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Scientific_Opinion/sc_op_ej958_nano_en.pdf?ssbinary=true> (ultimo acceso 21 de julio de 2009).
- ETC Group. (2009). *Nanotechnology*. <<http://www.etcgroup.org/en/issues/nanotechnology.html>> (ultimo acceso 22 de julio de 2009).
- European Commission. (2008). *Recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research*. Brussels: European Commission. <http://ec.europa.eu/nanotechnology/pdf/nanocode-rec_pe0894c_en.pdf> (ultimo acceso 23 de julio de 2009).
- Felt, U. y B. Wynne. (2007). *Taking european knowledge society seriously*. E. Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities: 1-95.
- Felt, U. y B. Wynne. (2007). *Taking european knowledge society seriously*. Report of the Expert Group on Science and Governance to the Science, Economy and Society Directorate, Directorate-General for Research. Luxembourg: European Commission,
- Friends of the Earth Australia. (2006). *Nanomaterials, sunscreens and cosmetics: Small ingredients, big risks*. <<http://nano.foe.org.au/node/100>> (último acceso 22 de julio de 2009).
- Funtowicz, S. O. y J. R. Ravetz. (1990). *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Funtowicz, S. O. y J. R. Ravetz. (1993). "Science for the post-normal age". *Futures*, 25(7): 739-755.
- Funtowicz, S. O. y J. R. Ravetz. (1993). "Science for the post-normal age". *Futures*, 25(7): 739–755.

- Grieger, K. D., S. Hansen y A. Baun. (2009). "The known unknowns of nanomaterials: Describing and characterising uncertainty within environmental, health and safety risks". *Nanotoxicology*: pp. 1–12. <<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a912823263>> (ultimo acceso 21 de julio de 2009)
- Guston, D. y D. Sarewitz. (2002). «Real-time technology assessment». *Technology in Society*, 24: 93-109.
- Handy, R. D. y R. Owen. (2008). "The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges and future needs". *Ecotoxicology*, 17: 315–325.
- Harding, R. (1998). *Environmental Decision-making: the roles of scientists, engineers and the public*. Sydney: The Federation Press.
- Kandlikar, M., G. Ramachandran, A. Maynard y B. Murdock. (2007). "Health risk assessment for nanoparticles: A case for using expert judgement2. *Journal of Nanoparticle Research*, 9, pp.137–156.
- Lam, C-W, J. T. James, R. McCluskey y R. L. Hunter. (2004). "Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation". *Toxicological Sciences*, 77, pp. 126–134.
- Lockman, P. L., J. M. Koziara, R. J. Mumper y D. D. Allen. (2004). "Nanoparticle surface charges alter blood-brain barrier integrity and permeability". *Journal of Drug Targeting*, 12(9–10): 635–641.
- Lucas, C. (2003). "We must not be blinded by science". *The Guardian*, 12 de junio. <<http://www.guardian.co.uk/politics/2003/jun/12/nanotechnology.science>> (último acceso 22 de julio de 2009).
- Ma-Hock, L., S. Treumann, V. Strauss, S. Brill, F. Luizi, M. Mertler, W. Wiench, A. O. Gamer, B. van Ravenzwaay y R. Landsiedel. (2009). "Inhalation toxicity of multi-wall carbon nanotubes in rats exposed for three months". *Toxicological Sciences*, <<http://toxsci.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/kfp146>> (último acceso 20 de julio de 2009)
- Maynard, A., P. A. Baron, M. Foley, A. A. Shedova, E. R. Kisin y V. Castranova. (2004). "Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material". *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 67(1): 87–107.
- Muller, J., F. Huaux, N. Moreau, P. Misson, J-F. Heilier, M. Delos, M. Arras, A. Fonseca, J. B. Nagy y D. Lison. (2005). "Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes". *Toxicology and Applied Pharmacology*, 207: 221–231.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2010). *Current Intelligence Bulletin: Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers* <<http://www.cdc.gov/niosh/docket/review/docket161A/>> (ultimo acceso 13 de diciembre de 2010).
- Oberdörster, E. (2004). "Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass". *Environmental Health Perspectives*, 112(10): 1058–1062.
- Oberdörster, G., E. Oberdörster y J. Oberdörster. (2005). "Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultra fine particles". *Environmental Health Perspectives*, 113(7): 824–839.
- Otway, H. (1980). The perception of technological risks: A psychological perspective. En M. Dierkes, S. Edward y R. Coppock. *Technological risk: Its perception and handling in the european community*. Cambridge: CEC Oelgeschlager, Gunn and Hain: 35-44.

- Otway, H. (1987). "Experts, risk communication and democracy". *Risk Analysis*, 7(2): 125-129.
- Owen, R., R. Handy. (2007). "Formulating the problems for environmental risk assessment of nanomaterials". *Environmental Science and Technology*, 15 de agosto: 5582-5588.
- Poland, C. A., R. Duffin, I. Kinloch, A. Maynard, W. A. H. Wallace, A. Seaton, V. Stone, S. Brown, W. MacNee y K. Donaldson. (2008). "Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study". *Nature Nanotechnology*, 3: 423-428.
- Rip, A. (2008). "Nanoscience and nanotechnologies: Bridging gaps through constructive technology assessment". En G. Hirsch Hadorn, H. Hoffmann-Riem, S. Biber-Klemm, W. Grossenbacher-Mansuy, D. Joye, C. Pohl, U. Wiesmann y E. Zemp (eds.). *Handbook of transdisciplinary research*. Springer: 145-158.
- Robins, R. (2002). "The Realness of Risk: Gene Technology in Germany." *Social Studies of Science*, 32(1): 7-35.
- Royal Commission on Environmental Pollution. (2008). *Novel materials in the environment: The case of nanotechnology*. Norwich: The Stationery Office.
- Royal Society & the Royal Academy of Engineering. (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*. Londres: Royal Society. <<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>> (último acceso 21 de julio de 2009).
- Sanchez, V.C., J.R. Pietruska, N.R. Miselis, R.H. Hurt y A.B. Kane. (2009). "Biopersistence and potential adverse health impacts of fibrous nanomaterials: what have we learned from asbestos". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and nanobiotechnology*. 1(5): 511-529.
- Scenihr. (2005). "The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies", opinion adopted during the 7th plenary meeting, 28-29 de septiembre de 2005, European Commission, Health & Consumer Protection Directorate General, 2006. <http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_003b.pdf> (ultimo acceso 21 de julio de 2009).
- Schummer, J. (2007). "The global institutionalisation of nanotechnology research: A bibliometric approach to the assessment of science policy". *Scientometrics*, 70(3): 669-692.
- Schwarz, M. y M. Thompson (1990). *Divided We Stand: Redefining Politics, Technology and Social Choice*. Hemel Hempstead, Harvester Wheatsheaf.
- Scot, J. y A. Rip. (1997). "The Past and Future of Constructive Technology Assessment" *Technological Forecasting and Social Change* 54:2/3, pp. 251-268.
- Shedova, A. A., E. R. Kisin, R. Mercer, A. R. Murray, J. L. Johnson, A. I. Potapovich, Y. Y. Tyurina, O. Gorelik, S. Arepalli, D. Schwegler-Berry, A. F. Hubbs, J. Antonini, D. E. Evans, B-K. Ku, D. Ramsey, A. Maynard, V. E. Kagan, V. Castranova y P. Baron. (2005). "Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice". *American Journal of Physiology—Lung Cellular and Molecular Physiology*, 289: L698-L708.
- Shedova, A., V. Castranova, E. Kisin, D. Schwegler-Berry, A. Murray, V. Gandelsman, A. Maynard y P. Baron. (2003). "Exposure to Carbon Nanotube Material: Assessment of Nanotube Cytotoxicity using Human Keratinocyte Cells". *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 66(20): 1909-1926.

- Slovic, P. (1987). "Perception of Risk". *Science*, 236: 280-285.
- Slovic, P. (1991). Beyond numbers: A broader perspective on risk perception and risk communication. En D. G. Mayo y R. D. Hollander (eds.). *Acceptable evidence: science and values in risk management*. Oxford: Oxford University Press: 48-65.
- Slovic, P. (1998). Perceived risk, trust and democracy. En R. E. Lofstedt y L. Frewer. *Earthscan reader in risk and modern society*. Londres: Earthscan Publications Ltd.: 181-192.
- Slovic, P., B. Fischhoff, S. Lichtenstein. (1982). "Why Study Risk Perception?". *Risk Analysis* 2(2): 83-93.
- Stirling, A. (1999a). "Risk at a turning point?" *Journal of Environmental Medicine*, 1: 119-126.
- Stirling, A. (2009). "Multicriteria Mapping". <<http://www.multicriteriamapping.org/>> (último acceso 28 de enero de 2009).
- Stirling, A. y D. Gee. (2002). «Science, precaution and practice». *Public Health Reports*, 117: 521-533.
- Stirling, A., T. Lobstein y E. Millstone. (2007). "Methodology for obtaining stakeholder assessments of obesity policy options in the PorGrow project". *Obesity reviews*, 8(Suppl. 2): 17-27.
- Takeda, K., K. Suzuki, A. Ishihara, M. Kubo-Irie, R. Fujimoto, M. Tabata, S. Oshio, Y. Nihei, T. Ihara y M. Sugamata. (2009). "Nanoparticles transferred from pregnant mice to their offspring can damage the genital and cranial nerve systems". *Journal of Health Science* 55(1): 95-102.
- Thompson, M., R. Ellis, A. Wildavsky. (1990). *Cultural theory*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Van Der Sluijs, J. P., M. Craye, S. Funtowicz, P. Klopogge, J. Ravetz y J. Risbey. (2005). "Combining quantitative and qualitative measures of uncertainty in model-based environmental assessment: The NUSAP system". *Risk Analysis*, 25(2): 481-492.
- Walker, N.J. y J. R. Bucher. (2009). "A 21st century paradigm for evaluating the health hazards of nanoscale materials?". *Toxicological Sciences*, 110(2): 251-254.
- Warheit, D. B., B. R. Laurence, K. L. Reed, D. H. Roach, G. A. M Reynolds y T. R. Webb. (2004). "Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats". *Toxicological Sciences*, 77: 117-125.
- Washington DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars: 22-29.
- Wickson, F. (2009). "Reliability rating and reflective questioning: A case study of extended review on Australia's risk assessment of Bt Cotton". *Journal of Risk Research*, 12(6): 749-770.
- Wickson, F., A. Delgado y K.L. Kjølberg. (2010). "Who or what is 'The Public'?". *Nature Nanotechnology*, 5: 757-758.
- Wilsdon, J. (2005). "Paddling upstream: New currents in european technology assessment". En M. Rodemeyer, D. Sarewitz y J. Wilsdon (eds.). *The future of technology assessment*.
- Wynne, B. (1992). "Uncertainty and environmental learning: reconceiving science and policy in the preventive paradigm". *Global Environmental Change*, 2(2): 111-127.
- Wynne, B. (2001). "Creating public alienation: Expert cultures of risk and ethics on GMOs". *Science as Culture*, 10(4): 445-481.
- ⁴Zhu, L., D.W.Chang, L. Dai, y Y. Hong. (2007). "DNA damage induced by multiwalled carbon nanotubes in mouse embryonic stem cells". *Nano Letters*, 7(12): 3592-3597.

Ubicación de riesgos en el trabajo a nanoescala Una visión desde la ética

CARLOS TOMÁS QUIRINO* FERNANDO SANCÉN CONTRERAS**

RESUMEN: La investigación y desarrollo (I&D) en nanociencias y nanotecnología (NyN) entrañan riesgos y beneficios a la sociedad y, desde la ética, deben construirse propuestas que impliquen el control de los riesgos potenciales a la salud y al medio ambiente sin impedir su avance, lo cual conduce a una ética creadora del futuro del hombre, quien actúa sobre sí mismo y sobre su entorno. Este trabajo aborda la nanoética, pretendiendo avanzar en una metodología para ubicar tanto riesgos como beneficios de la I&D en NyN, específicamente en relación con los nanomateriales en el terreno de la farmacia y la medicina: los nanomedicamentos.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología, nanoescala, riesgos, nanoética, ética, nanomedicinas

ABSTRACT: Research and development (R&D) in nanoscience and nanotechnology (NyN) involve risks and benefits to society, and from ethics there should be constructed proposals involving the control of potential risks to health and the environment without hindering their progress, which leads to an ethic that create the future of man, who acts on itself and its environment. This paper addresses nanoethics, trying to advance a methodology to determine both aspects, the risks and benefits of R&D in N&N, specifically in relation to nanomaterials in the Pharmacy and Medicine field : nanomedicines.

KEYWORDS: nanotechnology, nanoscale, risks, nanoethics, ethics, nanomedicines

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de nuevas tecnologías como las que se desarrollan actualmente a nanoescala desata con frecuencia un discurso que se autodenomina ético y donde sobresalen los posibles riesgos que implicarían. Tal es el caso de la nanotecnología: con frecuencia se la ve solamente bajo la óptica del riesgo, sin considerar en toda su dimensión los beneficios que aporta y podría aportarle en el futuro a la sociedad. Lo anterior exige realizar un esfuerzo para mostrar que las tecnologías emergentes en general y la nanotecnología en particular entrañan tanto riesgos como beneficios. Conviene centrar el debate sobre estas cuestiones hacia la construcción de propuestas para impulsar la investigación y el desarrollo (I&D) de las nanotecnologías de tal manera que los riesgos que esto implica potencialmente para la salud y el medio ambiente puedan controlarse. Esto, desde luego, tiene rasgos propios de una empresa imposible, debido a que se trata de regular algo que apenas se está haciendo lo cual tiene un amplio margen desconocido, especialmente en lo que se refiere a los efectos que producirá una vez que exista. No obstante lo anterior, es necesario seguir de cerca el desarrollo de las nanotecnologías para ir conociendo, justamente, sus potencia-

* Coordinador de la maestría en ciencias farmacéuticas, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM Xochimilco. Miembro del grupo coordinador de la Red Nanociencias UAM. UAM Xochimilco.

** Coordinador del Área de Investigación Polemología y Hermenéutica. UAM Xochimilco. Miembro del grupo coordinador Red Nanociencias UAM.

lidades y así poder impulsarlas así como sus riesgos para conseguir controlarlos, por tanto, se hace necesario ubicar y dimensionarlos con el objetivo de ampliar el beneficio que traerán para el hombre actual. A las nanociencias y nanotecnologías (NyN) se les reconoce una fuerza expansiva en el desarrollo científico y tecnológico mundial de tal magnitud que se las ve como el origen de una revolución completa en nuestra vida actual y en la forma como concebimos al mundo.

El concepto de riesgo tiene una proyección necesariamente hacia la ética en la medida en que debe ser evitado; pero, de la misma forma, el concepto de beneficio proyecta hacia ella porque es un bien a conseguir; esto último, sin embargo, en el discurso común, generalmente no se vincula con la ética.

Nuestro trabajo se ubica en el terreno de la ética y desde ella aborda la nanoética con la pretensión de avanzar hacia una metodología que permita situar tanto los riesgos como los beneficios de la I&D en NyN, específicamente en lo que se refiere al manejo de nanomateriales en el terreno de la farmacéutica y la medicina.

LA NANOÉTICA

La ética es una disciplina filosófica tan compleja y abarcante como lo es el análisis integral de la acción humana. Dicha complejidad no sólo se basa en las características propias del ser humano y de su actuar, en los antecedentes, sus motivaciones, sus aspiraciones. La complejidad del análisis ético alcanza también al lugar y al medio en que se realiza. Dada esta complejidad de la ética, al considerar su dimensión aplicada, se hace necesario precisar los elementos que intervienen; conviene elaborar un mapa inicial donde sea posible ubicar fácilmente un objeto concreto de estudio. Tal es el caso de la nanoética, donde vemos necesario establecer una ruta conceptual que sea útil para ubicar en el amplio espectro de las NyN el posible riesgo que los materiales ahí obtenidos generan para la integridad del ser humano y de su entorno.

La ciencia y la tecnología (CyT) que se desarrollan actualmente a nanoescala, constituyen un contenido determinante de la actividad científica actual no sólo por los avances que aportan en lo que se refiere a la explicación racional del mundo, sino por el impacto que tienen hacia la sociedad en su conjunto. La CyT, por tanto, no pueden ser ajenas a la misma sociedad; estamos ya lejos de la visión de la ciencia como una “búsqueda desinteresada de la verdad” que justificaba el aislamiento al interior de la comunidad científica y respecto de la sociedad. La ciencia está dejando su “torre de marfil” en la medida en que se va haciendo consciente de las aplicaciones tecnológicas que genera o que podría generar, aun sin la participación del científico que en la investigación básica haya contribuido a enriquecer la explicación del mundo material en el que se desenvuelve nuestra vida. Las NyN son un caso en el que se puede apreciar claramente cómo la explicación y la manipulación de la materia a nanoescala está modificando los procesos industriales, los bienes terminados que están al alcance de los consumidores, y, desde luego, a la sociedad misma. Esto hace ver que la nanoética no puede limitarse a los riesgos que posiblemente generaría. La razón puede verse, primero, porque no son reales dichos riesgos, y, luego, porque llevarían a la negación misma de la I&D bloqueando los beneficios que pueden aportar. Sin negar los riesgos, es necesario dimensionarlos para controlarlos. Pero también es indispensable tomar en cuenta el poder transformador de la CyT. En todo esto la ética tendrá el papel de orientarlas para conformar el bien colectivo de la sociedad. Esto nos aleja de una ética estrictamente basada en la negación o limitación de la acción humana

y nos acerca a una ética creadora del futuro del hombre, quien actúa sobre sí mismo y sobre su entorno.

En general, podemos decir que las NyN, más allá de su origen y naturaleza científica, constituyen una cuestión ética que atañe a todos los miembros de nuestra sociedad, porque el papel que cada uno de ellos desempeña está determinado por los resultados de la CyT, específicamente de las NyN.

Una ética que se proyecta hacia el futuro

Pensar en una ética vuelta hacia la conformación del futuro no es novedad. Siempre se ha reconocido que la acción humana tiende a la obtención de un bien generalmente no presente, sino futuro, y que el resultado de dicha acción forma o constituye al sujeto que actúa. Sin embargo, se ha insistido también en que la acción humana debe ajustarse a normas ya establecidas a las que se les otorgan rasgos absolutos e incuestionables. La CyT han hecho ver en las últimas décadas que ciertas normas consideradas absolutas han sido modificadas gracias al avance de la ciencia, tanto porque se demuestra que algo previamente considerado verdadero en realidad es falso (v.g., la pérdida del centro con la teoría heliocéntrica), como porque se incorporan en la sociedad nuevos instrumentos, equipos, bienes, derivados de la CyT, que posteriormente generan cambios en las costumbres y valores sociales (v.g., la familia, la propiedad, el papel de la mujer en la sociedad, etc.). Gracias a esta modificación de normas antes consideradas como absolutas, surge la necesidad de pensar una ética del devenir en la que más que ajustar la acción del hombre a normas consideradas como absolutas se asuma desde dicha acción la responsabilidad de la futura realidad que se construye a partir del actuar humano. Es desde esta perspectiva que consideramos a las NyN y los riesgos posibles que entraña su desarrollo y aplicación en bienes útiles para la sociedad.

Así, dado el amplio espectro que cubren las NyN, la nanoética no consiste en denunciar el riesgo, sino que tiende a precisar su ubicación y dimensión para su posible manejo. Es así como la ética puede legitimar y sustentar el predominio de las NyN como un nuevo campo científico y tecnológico que traerá grandes beneficios a la sociedad, pero también como un medio de contención o conducción razonada que sea capaz de medir el impacto social de la ciencia y tecnología en este campo, para realizar los cambios de dirección que sean considerados como necesarios.

En este contexto, se trata de favorecer y no de inhibir a la I&D en el campo de las NyN, de modo que, como se reconoce en algunos círculos, se busca orientar los estudios éticos en un sentido positivo, es decir, darle una dirección a la I&D en el campo de las NyN, hacia la búsqueda de competencias éticas que contribuyan al desarrollo científico y tecnológico crítico, responsable y “bueno” de la nanotecnología, así como de sensibilizar al grueso de la sociedad sobre la necesidad de que esta actividad, junto con sus productos, debe ser vista siempre sobre la base de un análisis crítico de la relación riesgo-beneficio que tienen o tendrán en la sociedad.

Para algunos se trata de que en la nanoética prevalezca el sentido positivo y no el negativo de la ética, reconocido este último como una visión limitada al desarrollo de competencias o estudios orientados a identificar y eludir los efectos dañinos que pueden traer como secuela las NyN. Nuestra propuesta es no repetir la mala experiencia de la biotecnología y los productos genómicos (transgénicos), donde sólo *a posteriori* se reflexionó sobre sus efectos sobre el ser humano y el medio ambiente. Se pretende que la nanoética permita desarrollar una metodología mediante la cual se pueda

realizar una evaluación de los riesgos implicados en la propia actividad y por la exposición del hombre y el medio ambiente a las nanopartículas y los productos que las contengan.

El riesgo de los nanomateriales

Se define un riesgo como una consecuencia incierta de un acontecimiento o actividades respecto a algo que la sociedad considera como valioso. El riesgo tiene dos componentes: la posibilidad de consecuencias potenciales, y el rigor o fuerza de dichas consecuencias. Además, el riesgo no se refiere solamente a las consecuencias físicas, sino también al impacto financiero, sobre las inversiones, las instituciones, la cultura y el impacto psicológico. (Kshitij Aditya Sing, Institute of Nanotechnology)

Aunque se habla de riesgo y de azar (accidente) como si fueran sinónimos, no lo son: el azar [fuente de peligro] describe la posibilidad de daño; denota la propiedad inherente de un factor de riesgo o procesos relacionados, donde un riesgo expresa el efecto posible. El riesgo se refiere a las consecuencias de algo respecto a lo considerado valioso. De acuerdo con su origen, se le clasifica como agentes físicos, agentes químicos, agentes biológicos, fuerzas naturales, fuerzas sociales, y accidentes complejos.

En general, se dice que existe un riesgo cuando se percibe la posibilidad de que ocurra un daño. En las finanzas se mide dicho riesgo, y ante un préstamo o una inversión se paga una cantidad extra por la contingencia de que no se pague la cantidad prestada. Algo semejante ocurre en las tecnologías emergentes, donde el riesgo se ubica especialmente en el daño que puedan provocar en el ser humano o en el medio ambiente. A este respecto se habla de “manejo del riesgo” para expresar la necesidad de conducir la investigación científica y tecnológica frente a la certeza de un daño. Esto tiene graves problemas en su aplicación porque la valoración científica de la presencia del riesgo no se conoce cuando se desarrolla la investigación.

No obstante esta grave dificultad, su novedad y el consecuente desconocimiento de los nanomateriales en el universo de la CyT, se pueden ubicar posibles riesgos en la exposición del medio ambiente y del ser humano a los nanomateriales y nanotubos. Como afirma Roland Clift (2006: 145) el posible riesgo de una sustancia depende de sus propiedades. Hay que señalar que ni el riesgo de los nanomateriales mismos, ni de sus propiedades son algo nuevo, porque se presentan ya comúnmente en acontecimientos naturales como erupciones volcánicas, en la combustión, e incluso en forma de virus. Sin embargo, en lo que se refiere a la obtención, manejo y utilización de nanopartículas, el ser humano está expuesto a ser afectado por las ellas de tres formas: por la respiración, por la exposición de la piel, y por la ingestión. Es posible avanzar en esta difícil tarea: la de valorar los riesgos posibles, precisando los elementos que por su naturaleza están presentes en todo riesgo. Posteriormente será necesario ubicar el riesgo en toda la ruta por la que se transita, desde la obtención, hasta la deposición de las nanopartículas, tal como se puede observar en la tabla 1.

Además de lo anterior, y dado que el manejo de la materia a nanoescala genera un comportamiento diferente por las nuevas propiedades que obtiene, es necesario ubicar el riesgo no solamente en los nanomateriales mismos, sino también en sus propiedades, tales como su conductividad, volatilidad, corrosividad, entre otras. De esta manera, será posible aplicar los criterios de la ética a condiciones precisas.

TABLA 1. Elementos para valorar el riesgo de los nanomateriales

Valoración del riesgo	<i>Identificación del riesgo:</i> identificación de la capacidad propia de una sustancia para causar efectos adversos sin tomar en cuenta la probabilidad o severidad de dichos efectos. <i>Caracterización del riesgo:</i> evaluación cuantitativa de los efectos adversos generados por la exposición a una sustancia química.
Valoración de la exposición al riesgo	Evaluación cualitativa de la posible exposición de los humanos y del medio ambiente a la sustancia (origen del riesgo).
Caracterización del riesgo	Estimación cualitativa de la probabilidad de que ocurra un efecto adverso, y de su fuerza y duración bajo condiciones definidas de la exposición.

Fuente: Roland Clift, "Risk management and regulation in an emerging technology", en Hunt G. y Mehta M. (eds.), *Nanotechnology: Risk, ethics and law*, Earthscan, 2006: 144.

De manera general, asumimos que el riesgo potencial de las NyN se encuentra en la I&D por la que se obtienen, manejan, utilizan y deponen los nanomateriales. Nos referimos a la construcción, a la aplicación, al uso, y a la dispersión de las nanopartículas en general tanto en sustancias o aparatos específicos, como en el medio ambiente.

Desde esta perspectiva, distinguimos dos grandes horizontes donde se hace presente el riesgo derivado de los nanomateriales: el mismo proceso de su manufactura, y su presencia física, nunca perceptible sensiblemente, pero incorporada a la vida del ser humano. Conviene destacar que el riesgo se refiere siempre al bienestar humano o al de su entorno.

MANUFACTURA DE LOS NANOMATERIALES

En el ámbito de su manufactura, los nanomateriales, al igual que los insumos precursores y los mismos procedimientos o procesos, implican un riesgo potencial en el momento de su elaboración, lo mismo aplica para su utilización cuando se generan productos más complejos de mayor valor agregado orientados al consumo, así como al uso de dichos productos, y en su presencia como principios activos en el medio ambiente. Esta dimensión del riesgo se refiere específicamente a los nanomateriales desde su obtención hasta su aprovechamiento y luego en su manejo, una vez que termina su vida útil. En este proceso, el individuo está expuesto de manera diversa. En efecto, el individuo humano está expuesto a los nanomateriales, primero por razones de su ocupación, generalmente en el laboratorio o en el medio industrial donde se obtienen y manipulan las nanopartículas.

Pero también la presencia de los nanomateriales puede representar un riesgo para la población en su vida diaria cuando los primeros se incorporan en la elaboración de productos pudiendo llegar al organismo por su presencia en el aire (inhalación), por su contacto físico (vía dérmica), o por su ingestión en alimentos sólidos o

líquidos, incluida el agua. Esto aplica también, y de modo muy especial, a los medicamentos administrados directamente al organismo humano.

Riesgo en el medio ambiente

Los nanomateriales se hacen presentes en el medio ambiente. Es probable que ahí se encuentren como riesgo potencial en el agua, en el aire, en los sedimentos y en el suelo, pudiendo afectar al hombre directa o indirectamente a través del impacto nocivo en el medio físico, la fauna, o la flora.

En general, el riesgo eventual de la presencia de los nanomateriales se da tanto en el proceso de su obtención en el que se manipula la materia, como en el empleo de dichos nanomateriales en cosméticos, alimentos, medicamentos, textiles, aparatos diversos de telecomunicación o de diagnóstico, como insumos para la industria de materiales, la farmacéutica, la química, entre otros muchos. (véase la figura 1).

Otra forma de ubicar el posible riesgo tanto en la I&D de las NyN como en la industria, proviene del tipo de nanomateriales que actualmente existen, y de otros que seguirán siendo desarrollados, pues, como se sabe, los nanomateriales manifiestan nuevas propiedades, mismas que les otorgan características que hasta entonces no poseían. Hoy se puede precisar el riesgo a partir de las características propias que tienen los nanomateriales manejados como nanotubos, o como ‘nanofulerenes’, o ‘nanobuckyballs’, por mencionar algunos.

Para completar esta visión de la nanoética, es necesario mencionar también otra forma de abordar el tema del posible riesgo derivado de los nanomateriales. Nos referimos al criterio del ámbito donde se desarrolla actualmente la investigación de las

FIGURA 1. Ámbito de posible riesgo a partir de nanomateriales



Fuente: Traducida y adaptada de FramingNANO, *Mapping Study on Regulation and Governance of Nanotechnologies*, enero 2009: 51.

NyN para su aplicación inmediata: la nanobiotecnología, la nanomedicina, la nanocosmetología, así como las técnicas de comunicación.

Desarrollo y liberación de fármacos

Nos referiremos ahora a la dimensión del riesgo de la exposición a los nanomateriales en la nanobiotecnología, específicamente en la innovación para la administración y liberación de medicamentos utilizando los nanomateriales.

La liberación de fármacos es una de las principales aplicaciones de la nanotecnología en medicina. Los fármacos incorporados o contenidos en nanotransportadores dirigidos permiten un nuevo grado de especificidad y eficacia en la administración y liberación de medicamentos.

Una característica de los nanomedicamentos es su complejidad, porque en ellos se pretende combinar diversas características. En efecto, los nanomedicamentos podrían liberar moléculas terapéuticas directamente traspasando las barreras biológicas llevando consigo moléculas específicas o cargas en su caparazón o coraza exterior. Al mismo tiempo, esta coraza podría incluir reactivos como anticuerpos que alcanzaran objetivos específicos (*v.g.*, moléculas típicas del cáncer o en el caso de la inflamación de tejidos). El portador podría ser elaborado de material fisiológicamente estable que solamente desintegrara o disolviera su objetivo (o bien al recibir una señal externa, enviada por el personal médico). Esto permitiría la liberación de fármacos altamente potentes que de otra manera tendrían efectos adversos cuando fueran administrados sistémicamente o de aquellos que no pueden ser administrados exitosamente por los métodos convencionales. Las pruebas clínicas ya comenzaron para muchos nanomedicamentos, y aunque numerosos fármacos actualmente disponibles para el público no son distribuidos explícitamente en el mercado como nanomedicinas, podrían ser considerados como nanofármacos.

El beneficio de los nuevos sistemas de liberación de medicamentos para los pacientes consiste en menores efectos colaterales, una mayor eficacia y la posibilidad de tratar enfermedades que actualmente no lo pueden ser de manera efectiva (como es el caso del cáncer). Algunos ejemplos de los sistemas de liberación de fármacos son las nanoemulsiones y las nanosuspensiones, anticuerpos conjugados, sistemas multicompuestos, agentes liposomales anticáncer, y nanoprecipitados. Los métodos pueden ser combinados (*v.g.*, aislando tejidos dañados del sistema vascular y depositando localmente una sustancia que induce la muerte de la célula). También harían posibles nuevas formas de terapia (*v.g.*, una nueva forma de termoterapia: partículas de hierro u otros elementos que pueden llegar a células malignas en el cáncer de cerebro y crear calor local cuando el médico pone al paciente en un campo magnético externo, mejorando con ello los efectos de la quimio y radio terapia).

Junto con los materiales farmacogenéticos y farmacogenómicos, la liberación de fármacos a través de la nanotecnología puede ayudar a obtener una terapia personalizada a base de medicamentos, una vez que los mecanismos de acción del medicamento y la respuesta del organismo se entiendan mejor.

Otra posibilidad será la combinación de biosensores miniaturas que almacenen unidades de fármacos para la implantación en donde se requieran; un sistema integrado a control remoto que regule la liberación de fármacos, que reciba retroalimentación del sensor, y transmita

actualizaciones para su operación. (Traducción de la Opinión 21 del Grupo europeo de ética en la ciencia y en las nuevas tecnologías para la Comisión Europea, enero de 2007).

Este breve panorama de la naturaleza y propiedades de los nanomedicamentos remite primero a la ubicación del riesgo conforme al mapa ya trazado para las nanopartículas. Hay que añadir, sin embargo, la complejidad que le añade el hecho de que dichos nanomateriales están orientados a modificar el funcionamiento de células que forman parte de órganos complejos, los cuales, a su vez, componen al organismo de animales superiores y, finalmente, del hombre. Cobra aquí relevancia la nanomedicina que incluye la liberación y administración de fármacos, y también la construcción del código de ética para la nanomedicina.

En este contexto, conviene mencionar el Código de Conducta adoptado por la Unión Europea para los responsables de la investigación en NyN que consta de siete principios:¹

1. **Comprensibilidad:** la investigación en NyN debe ser comprensible para el público. Deben respetarse los derechos fundamentales y orientarse hacia el bienestar de individuos y sociedad en su diseño, implementación, distribución y uso.
2. **Sustentabilidad:** la investigación en NyN debe ser saludable (*safe*), ética, y contribuir al desarrollo sustentable. No debe causar daños o afectar a la población, ni a animales, plantas, o el entorno, en el presente y en el futuro.
3. **Precaución:** la investigación en NyN debe ser realizada conforme al principio de precaución, anticipándose a posibles impactos sobre el medio ambiente y la salud, tomando las debidas precauciones, proporcionalmente al nivel de protección, pero promoviendo el progreso para beneficio de la sociedad y del medio ambiente.
4. **'Inclusividad':** las investigaciones en NyN deben ser guiadas por los principios de apertura a los interesados, transparencia y respeto conforme al legítimo derecho de acceso a la información. Deben, asimismo, permitir la participación de todos los interesados directa o indirectamente.
5. **Excelencia:** la investigación en NyN debe alcanzar los mayores estándares científicos incluyendo la integridad y honestidad en la investigación y buenas prácticas de laboratorio.
6. **Innovación:** la dirección de las actividades de investigación en NyN deben estimular un alto grado de creatividad, flexibilidad y habilidad para planificar la innovación y el crecimiento.
7. **Rendición de cuentas:** los investigadores y las organizaciones de investigación en NyN deben permanecer abiertas para la sociedad respecto a los impactos de su trabajo sobre la salud humana y el medio ambiente.

UBICACIÓN DE RESPONSABLES

Además de la ubicación física del riesgo derivado de la obtención y manejo de nanomateriales, conviene ir a la dimensión de la acción y considerar necesariamente a quienes

¹ European Commission, *Code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research*, <<http://europa.eu/rapid/pressReleaseAction.do?reference=IP/08>>, 8 de febrero de 2008. Traducción de los autores.

son responsables de sintetizar, construir, distribuir y comercializar los nanomateriales. Nos referimos a la responsabilidad moral de quienes están manipulando la materia a nanoescala, primero hacia sí mismos, y luego hacia su propio entorno. Esta responsabilidad tiene dos vertientes: 1) hacia el individuo, en la medida en que tenga conciencia de que su propia acción ha de estar basada en sus propios principios sin coacción alguna; 2) hacia “lo otro”, es decir, la conciencia de que la acción que libremente decida utilizar tiene un impacto sobre los entes con los que comparte su entorno. Existe, por tanto, una responsabilidad hacia sí mismo respecto de la naturaleza de su acción y respecto de la forma como persigue el objetivo que se ha fijado. Otra dimensión de esta responsabilidad se refiere a su entorno bajo la certeza de que su propio bien, su existencia misma, depende de los entes que conforman su entorno natural y social.²

La dimensión moral, por otra parte, se refiere no sólo a los nanomateriales vistos como elementos, sino que abarca también a los compuestos físicos o químicos y a los aparatos o bienes que los contienen y que son utilizados por el hombre en su existencia cotidiana.

De esta forma podemos ubicar la responsabilidad en las personas que inciden en la generación de un posible riesgo a la salud humana y al medio ambiente, riesgo proveniente de los nanomateriales: industriales, administradores de empresas industriales y comerciales, agentes financieros, gobernantes, personal de las universidades, profesores y estudiantes en laboratorio, investigadores (titulares, asociados, técnicos, etc.), agentes de las oficinas de patentes, entre otros muchos.

FIGURA 2. IRGC Cuadro de manejo de riesgos.



Fuente: White paper on Risk Governance – Towards an Integrative Approach: p. 13. Traducción propia

² Véase a este respecto, Ernst Tugendhat, *Egocentricidad y mística. Un estudio antropológico*. Traducción del original alemán, *Egozentrität und Mystik*, por Mauricio Suárez Crothers, Barcelona: Gedisa, 2004.

Estas formas diversas de ubicar el análisis y la responsabilidad del posible riesgo derivado de los nanomateriales cuentan con una orientación que desde la visión de nuestra sociedad cobran relevancia y generan, aunque inicialmente, una norma o costumbre que podría verse como ética. Nos referimos a la manera en que se conciben actualmente las NyN. En efecto, éstas son consideradas como un factor indiscutible de cambio no sólo en los aparatos que utilizamos para nuestra vida diaria, sino también porque afectan necesariamente a la sociedad. Se las reviste de un “halo” transformador de la sociedad. Desde esta perspectiva, podemos visualizar una primera exigencia originalmente de los científicos y tecnólogos que conocen de manera más cercana los fenómenos que sirven de base para generar los productos derivados de las NyN, quienes están obligados a informar de los efectos que tendrán los resultados de los trabajos que realizan y también de los que piensan realizar. De esta información se sigue, necesariamente, el ejercicio de la responsabilidad moral de inversionistas, políticos, asesores, industriales, etc. respecto de los resultados que obtendrán del trabajo de I&D a nivel de nanoescala.

Hay que reconocer, sin embargo, que en el terreno de la toxicidad, riesgo concreto de los nanomateriales, existe aún un desconocimiento que impide ahondar y precisar el trabajo de la nanoética.

Ante el panorama paradójicamente incierto y a la vez transformante de las NyN, su I&D deben moverse entre la creatividad y la precaución. Sin embargo, el estudio a profundidad de los riesgos a evitar no puede ser práctica cotidiana para los investigadores.

En nuestro medio, la principal obligación ética consiste en el desarrollo de las NyN orientado a la solución de nuestros problemas más acuciantes (hambre, pobreza, desempleo). Moralmente estamos obligados a obtener nuevas formas de organización, nuevas herramientas, nuevos equipos que sabemos podemos lograr con las NyN. Respecto al riesgo, tenemos también la obligación de proteger la salud y el medio ambiente de nuestro país de posibles daños causados por la I&D en NyN. Ante esto, proponemos adoptar en principio las medidas que sobre riesgos en NyN adopten en la práctica los países de la UE o nuestros socios del TLCAN. Esto podría ser difundido previo análisis responsable a realizar por el Centro Nacional de Metrología (Cenam), el que a su vez solicitaría colaboración colateral de los responsables de los proyectos de I&D en NyN; quizás monitoreando en sus laboratorios los aspectos que el Cenam considerara pertinentes.

El grueso de los recursos nacionales, en consecuencia, deberán estar orientados a las áreas de I&D en N&N que la Nación considere prioritarias, y que podrían ser:

- nanobiomedicina,
- energías,
- agricultura, bosques, selvas,
- agua,
- nanomateriales derivados de los minerales extraídos de nuestras minas.

Síntesis por el método sol-gel aplicado al estudio del polimorfismo en nanopartículas de TiO_2

M. P. GUTIÉRREZ* Y M. A. CASTELLANOS

RESUMEN. Este trabajo tiene como objetivo implementar una práctica de laboratorio en la asignatura de química de materiales que forma parte del nuevo programa de la carrera de química, de la Facultad de Química de la UNAM. El trabajo incluye la elaboración de un guión a seguir por los alumnos, el cual les permitirá cumplir con los objetivos de la práctica. Estos objetivos comprenden familiarizarse con la utilización del método sol-gel para sintetizar partículas nanométricas de un óxido cerámico de importancia tecnológica e industrial como el dióxido de titanio, TiO_2 , y realizar el estudio de la transformación estructural del TiO_2 , en función de la temperatura. Durante el desarrollo de la práctica el alumno aprenderá cuáles son las variables que se deben controlar en el método sol-gel y cuáles son las ventajas y desventajas del uso de este método de síntesis. Una vez obtenido el material, hará uso de la técnica de difracción de rayos X de polvos para identificar el producto y para realizar el estudio del cambio de fase estructural, en sus variedades polimórficas, que sufren las nanopartículas de TiO_2 , en función de los tratamientos térmicos que se realizarán en un intervalo de temperaturas comprendidas entre los 500 y los 800°C. Además, los alumnos determinarán el tamaño promedio de las nanopartículas obtenidas de los polimorfos de TiO_2 .

PALABRAS CLAVE: nanopartículas de TiO_2 , método sol-gel, polimorfismo.

ABSTRACT: The aim of this work is to design a laboratory experiment for the Materials Chemistry course which is part of the new chemistry undergraduate program in the Facultad de Química-UNAM. The included guideline will allow the students to achieve the aims of the laboratory experiment. They will become familiar with the use of the sol-gel method to synthesize nanometric ceramic particles which have important industrial and technological applications such as titanium dioxide (TiO_2). The students will learn the advantages and disadvantages of using the sol-gel method and which variables should be controlled in the experiment. Once the students have synthesized the product they will use the x-ray powder diffraction technique to determine the particle size of the material. The students will also investigate the structural transition of the TiO_2 as a function of the temperature in the 500-800°C range.

KEYWORDS: TiO_2 nanoparticles, sol-gel method, polymorphism.

IMPORTANCIA DE LA DIVULGACIÓN

La educación química en Química de Materiales en nuestro país es incipiente y escasa. Esto es un tema relevante debido a que constituye una subdisciplina de la Química que emerge vigorosamente apenas hace unos veinte años y aún cuando se sigue discutiendo su definición, ahora se está desplantando, de ella y de manera acelerada, la nanoquímica. La importancia de la Química de Materiales reside en la gran diversidad de técnicas de síntesis originales y diferentes, a las de la química tradicional, para obtener nuevos compuestos de materiales sólidos con propiedades de interés tecnológico. Estas propiedades son especialmente interesantes cuando se manifiestan en sustancias con tamaño de partícula a nivel nanométrico. El estudio de sustancias

* Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México: e-mail: mpga@unam.mx

sólidas requiere de técnicas de caracterización particulares, como la difracción de rayos X, para poder identificar la estructura cristalina presente de un producto de síntesis. El polimorfismo es un fenómeno que se presenta sólo en sustancias sólidas y las propiedades que se manifiestan en cada polimorfo tienen aplicaciones muy diferentes. En los últimos diez años este fenómeno ha sido muy estudiado especialmente en la industria farmacéutica, ya que muchas veces el producir determinado polimorfo, no es fácil.

Con el propósito de ilustrar un método de síntesis, clasificado como de química suave y ampliamente utilizado en Química de Materiales, se propone el método Sol-Gel. Se eligió como un ejemplo típico de síntesis al dióxido de titanio por ser uno de los materiales nanométricos con aplicaciones reales y con el mayor volumen de ventas. Además, porque la síntesis por sol-gel es relativamente barata, realizable en el tiempo asignado para las prácticas de laboratorio, segura, permite la observación de la formación del gel en un material que ofrece la oportunidad de observar una transición de fase a baja temperatura y con la ventaja de que es posible modular su tamaño de partícula en la escala nanométrica.

INTRODUCCIÓN

El diseño de prácticas de laboratorio para la asignatura de química de materiales, en la Facultad de Química de la UNAM, se ha planteado como objetivo el aprendizaje por parte del alumno de los diversos métodos de síntesis que existen para obtener sólidos de gran importancia actual en el área de la ciencia de los materiales. Se eligió como un ejemplo típico de síntesis al dióxido de titanio por ser uno de los materiales nanométricos con aplicaciones reales y con el mayor volumen de ventas a nivel mundial. En este sentido, cabe señalar que a pesar del enorme uso del dióxido de titanio en una gran cantidad de productos que utilizamos en la vida cotidiana, en nuestro país, la producción de este material es casi nula. Baste decir que hasta 1997, en México sólo se producía titanio, TiO_2 , en la Planta de Dupont, en Altamira, Tamaulipas, con materias primas importadas de Estados Unidos, siendo México el país que mayor cantidad de titanio compró a Estados Unidos (Aguilar-Franco, 2000). Es por ello que se consideró interesante implementar como una práctica de laboratorio, la obtención de este óxido.

En cada experimento se pretende que el alumno conozca los factores que deben controlarse al emplear cada uno de los métodos aprendidos, así como las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de ellos. Esta práctica tiene como objetivo se pretende realizar la síntesis de dióxido de titanio, en sus polimorfos de anatasa y de rutilo en forma de nanopartículas. Para lograrlo se propone utilizar el método de síntesis por sol-gel.

El dióxido de titanio, TiO_2 , presenta tres polimorfos a presión normal: anatasa, brookita y rutilo. Estos polimorfos carecen de toxicidad y poseen propiedades químicas, ópticas y eléctricas haciéndolos muy atractivos para diversas aplicaciones que abarcan diferentes sectores de la industria y de la tecnología avanzada. Sus aplicaciones industriales a gran escala engloban la manufactura de pigmentos, recubrimientos, plásticos, papel, fibras y textiles, tintas para impresión, refractarios, barnices, cemento blanco, cosméticos, etc. Debido a su gran compatibilidad con la piel y membranas mucosas, además de su buena dispersabilidad en soluciones orgánicas e inorgánicas, se utiliza como absorbedor de luz ultravioleta en productos de protección solar, polvos cosméticos, cremas, desodorantes y dentífricos (Aguilar Franco, 2000). En par-

ticular, el polimorfo anatasa encuentra sus aplicaciones en áreas de alta tecnología como catálisis, donde actúa como soporte óptimo en catalizadores base para el hidrotamiento de fracciones de petróleo; en electroquímica, como fotoelectrodo en celdas electrolíticas fotovoltaicas (Berger *et al*, 1993); en electrónica como capacitores ultradelgados, debido a su alta constante dieléctrica; en sensores de gas y humedad (Bernasik *et al*, 1993; Bersani *et al*, 1997; Zakrzewska *et al*, 1997); en recubrimientos, filtros ópticos guías de onda (Bernasik *et al*, 1993; Schrauzer and Guth, 1997).

Debido a sus propiedades semiconductoras, el TiO_2 en su fase anatasa ha sido ampliamente estudiado en su aplicación para tratamientos de aguas y aire en donde se utiliza la fotocatalisis heterogénea, ya que este material muestra su mayor fotoactividad en la región UV-Visible (Al-Ekabi, 1993; Blake, 2001). Esta propiedad también lo hace un excelente material para la fabricación de celdas solares sensibilizadas con tintes a base de complejos de rutenio (Fahlman, 2008). La eficiencia en estas dos últimas aplicaciones requiere que la fase anatasa se encuentre en forma de nanopartículas, por lo que es importante emplear un método de síntesis que nos permita obtener esta fase pura en escala nanométrica, tal es el caso del método sol-gel.

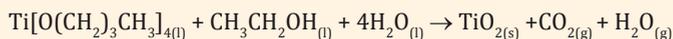
El método sol-gel está comprendido dentro de los métodos de química suave para la obtención de materiales inorgánicos avanzados de alta tecnología que incluyen películas delgadas, fibras, partículas, etc. Gracias a que el método permite una manipulación a nivel molecular de las diversas etapas de una reacción sol-gel, es posible sintetizar nuevos materiales de alta pureza controlando las características de la microestructura. El método permite además el control de las superficies y las interfaces del material durante las últimas etapas del proceso de producción, por ejemplo, creando adecuados gradientes composicionales en la superficie. En particular, es uno de los métodos que ofrecen mayores ventajas cuando se trata de producir estructuras homogéneas a escalas extremadamente finas, es decir, del orden de nanómetros. Esta técnica permite de realizar investigaciones a escala nanométrica de los procesos químicos de hidrólisis, condensación, sinéresis, deshidratación y densificación de los materiales.

De manera general, el método sol-gel comprende dos etapas principales que son: la dispersión de partículas sólidas de tamaño coloidal (1-100 nm) en una fase líquida (formación de un sol) y la gelificación del sol; aunque se utilizan también otras variantes como son: a) hidrólisis y condensación de un alcóxido, o bien, de los nitratos precursores, seguidos por un secado hipercrítico del gel, b) hidrólisis y policondensación de los alcóxidos precursores, seguidos por un envejecimiento del gel y un secado en condiciones ambientales. Esta última es la que será utilizada en nuestro caso particular.

Cabe señalar, que el método de difracción de rayos X de polvos que los alumnos utilizarán en esta práctica para hacer la caracterización de su producto, lo han aprendido en una asignatura precedente que es la química del estado sólido.

MÉTODO EXPERIMENTAL

La realización de la práctica se lleva a cabo en equipos de dos personas. Los alumnos realizan los cálculos para llevar a cabo la reacción estequiométrica siguiente:



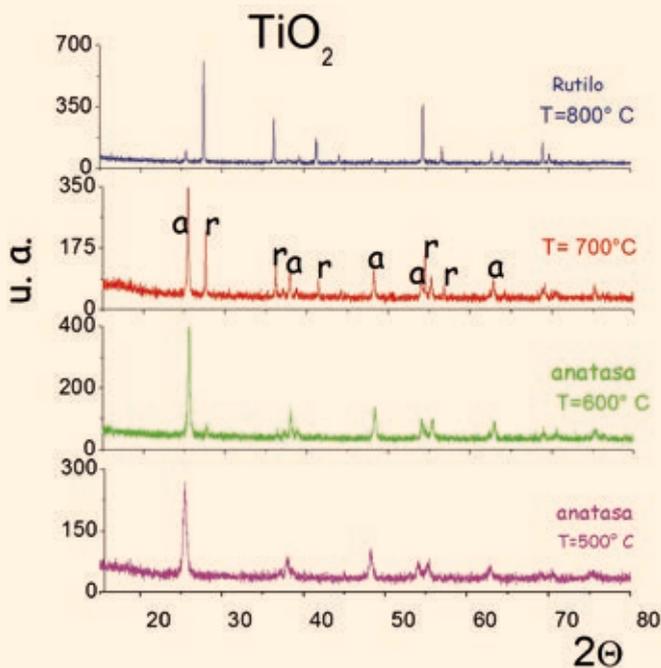
En este experimento se propone realizar la síntesis del TiO_2 a partir de la hidrólisis-condensación de un alcóxido de titanio (butóxido de titanio o isopropóxido de

titanio) a temperatura ambiente, usando etanol como co-disolvente. La posterior evaporación del disolvente a 70°C conlleva a la formación del gel. Una vez obtenido el producto se identificará por medio de difracción de rayos X de polvos y se someterá a diversos tratamientos térmicos entre 500 y 800°C, siguiendo la transformación estructural, para observar el polimorfismo del material. A través de la fórmula Debye-Scherrer, el alumno será capaz de determinar el tamaño promedio de las partículas, en cada uno de los productos después de cada tratamiento térmico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La realización de esta práctica con varios grupos del laboratorio de química de materiales ha permitido establecer la obtención del dióxido de titanio en su fase de anatasa a una temperatura de 500°C, identificado con los datos reportados en el archivo 78-2486 del JCPDS. El tamaño promedio de partículas medido a través del patrón de difracción de polvos, utilizando la ecuación de Debye-Scherrer fue de 24 nm. Se encontró que a medida que se incrementa la temperatura del tratamiento, el TiO_2 sufre una transformación polimórfica de anatasa a rutilo entre los 700 y 800°C. A 800°C se encontró la formación de la fase rutilo en forma pura, identificada con el archivo JCPDS 89-0554, con un tamaño promedio de partícula, cuyo valor se encontró en 40 nm. Como ejemplo de estos resultados se muestra un conjunto de difractogramas en la figura 1. La figura ilustra la evolución de las fases presentes en función de la temperatura.

FIGURA 1. Difractogramas de rayos X de polvos del TiO_2 bajo diversos tratamientos térmicos.



a = anatasa (JCPDS 78-2486).
r = rutilo (JCPDS 89-0554).

Durante el desarrollo de la práctica, los alumnos aprendieron que factores tales como velocidad de agitación, velocidad de adición de los reactivos, control de la temperatura de evaporación, etc., son importantes para la buena formación del gel. Aplicaron el método de difracción de rayos X de polvos para caracterizar los productos en función de la temperatura de tratamiento térmico final y para determinar el tamaño promedio de las partículas presentes. Investigaron las diversas aplicaciones que tiene el TiO_2 , especialmente en su fase de anatasa.

CONCLUSIÓN

Se ha elaborado el guión a seguir por los alumnos, quienes ya han ensayado el desarrollo de esta práctica en equipos de dos personas, en varios grupos del laboratorio de química de materiales, obteniendo resultados reproducibles.

SÍNTESIS POR EL MÉTODO SOL-GEL APLICADO AL ESTUDIO DEL POLIMORFISMO EN EL TiO_2 *

Problema

Demostrar la transición de fase que sufre el TiO_2 , en función de la temperatura, cuando se obtiene por el método de sol-gel y evaluar el tamaño promedio de partícula de los productos.

Sustancias	Material	Equipo
Butóxido de titanio	Vasos de precipitados de 250 mL Pipeta de 25 mL 1 bureta Pinzas para bureta 1 termómetro (100°C)	1 balanza 1 Parrilla de calentamiento con agitación magnética
Etanol Absoluto	1 mortero de ágata	Horno (800 °C)
Agua destilada	2 crisoles de cerámica	
	Pinzas para horno 1 espátula	

Procedimiento

- a. Hacer los cálculos necesarios para obtener 2 g de TiO_2 , a partir de butóxido de titanio y agua.

* Con la colaboración de Nadia Córdova Castañón.

- b. En un vaso de precipitados de 250 mL bien seco, coloque 15 mL de etanol* y agregue el butóxido de titanio, $Ti(OC_4H_9)_4$. Utilice una pipeta **bien seca** para añadirlo.
- c. Añada gota a gota el agua destilada, empleando una bureta, mientras mantiene una agitación vigorosa de la solución. Continúe agitando durante 10 minutos.
- d. Caliente lentamente el sistema, cuidando que la temperatura no exceda los $70^\circ C$ y mantenga esta temperatura y agitación lenta, hasta evaporar toda el agua residual.
- e. Vacíe el producto en un crisol de cerámica y seque el producto en una estufa a $100^\circ C$.
- f. Realice un calentamiento a $500^\circ C$, empezando desde temperatura ambiente.
- g. Haga un análisis del producto por difracción de rayos X de polvos, determine las fases presentes y mida el tamaño promedio de las nanopartículas.
- h. Muela la muestra y divídala en dos partes. Calcine una parte a $700^\circ C$ y otra parte a $800^\circ C$.
- i. Utilice difracción de rayos X para identificar las fases presentes en cada muestra y mida el tamaño promedio de las nanopartículas en la muestra tratada a $800^\circ C$.

** Es muy importante utilizar etanol absoluto para evitar la hidrólisis previa del butóxido.*

Medidas de seguridad:

- a) Usar lentes de seguridad y guantes de asbesto para el manejo del horno.
- b) Lavar con etanol la pipeta usada para medir el butóxido de titanio, ¡NO CON AGUA!

Cuestionario

1. Anote la ecuación balanceada y los cálculos realizados para preparar el TiO_2 .
2. ¿Cuál es la fase de TiO_2 obtenida después del tratamiento de $500^\circ C$?
3. ¿Qué tamaño promedio de las nanopartículas presenta la fase de $500^\circ C$? Describa la estructura de esta fase.
4. ¿Qué observa en el difractograma de la muestra tratada a $700^\circ C$?
5. a) ¿Qué fase está presente en el producto de $800^\circ C$?, b) Si regresara este producto a $500^\circ C$, ¿qué fase(s) esperaría observar?
6. ¿Cuál es el tamaño promedio de partícula de la fase de $800^\circ C$? Describa la estructura de esta fase.
7. Anote las temperaturas de transición de los principales polimorfos del TiO_2 .
8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de haber sintetizado el TiO_2 utilizando el método sol-gel, comparándolo con una síntesis por reacción en estado sólido?
9. Describa un proceso industrial que se utilice para fabricar dióxido de titanio y mencione cuál es la fase polimórfica obtenida por ese proceso.
10. Describa una aplicación específica del TiO_2 en su fase anatasa y otra aplicación en la fase de rutilo.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar Franco, M. (2000). *La titania, (TiO₂) su importancia y sus aplicaciones. Trabajo monográfico de actualización*, tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM.
- Bernasik, A., Radecka, M., Rekas, M. y Sloma, M. (1993). *Applied Surface Science*, 65/66: 240.
- Berger, H., Tang, H. y Lévy F. (1993). *Journal of Crystal Growth*, 130: 108.
- Bersani, D., Antonioli, G., Lucci, P. y López, T. (1997). *Materials Science Forum*, 87: 239.
- Fahlman, B. D. (2008). *Materials Chemistry*. The Netherlands: Springer Science + Bussines Media B.V.
- Font-Alba, M. (1996). *Atlas temático de mineralogía*. Barcelona: Idea Books, S. A.
- Hench, L.L. y West, J. K. (1990) *The sol-gel process*. *Chem. Rev.*, 90: 33-72.
- Lalena, J. N., Cleary, E- A., Carpenter, E.E. y Dean, N. F. (2008). *Inorganic materials synthesis and fabrication*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Matos, J., Chovelon, J. M. y Ferronato C. (2009). *Mundo Nano*, 1(2): 37.
- Schrauzer, G. and Guth, T. (1997), *Journal of the American Chemical Society*, 99: 7189.
- Zakrsewska, K., Radecka, M. y Rekas, M. (1997). *Thin Solid Films*, 310: 161.

Síntesis de captadores y liberadores de fertilizantes a partir de nanomateriales arcillosos¹

PRADO, B.,* MORA L.,* MILLÁN, L.** Y SAMPIERI, A.***

RESUMEN: El presente trabajo da alternativas para un uso más eficiente de fertilizantes primarios empleados en las prácticas agrícolas, tales como los fosfatos y los nitratos. El objetivo es proponer nanomateriales que tengan la capacidad de retener este tipo de fertilizantes y que, posteriormente, puedan liberarse de manera controlada. Para ello es necesario materiales económicos, no tóxicos y fáciles de manipular. En este sentido, las arcillas (catiónicas y aniónicas) resultan ser excelentes candidatos como materiales liberadores de fertilizantes. En este estudio, se abarcan dos puntos importantes: 1) la síntesis y la caracterización de arcillas catiónicas y aniónicas susceptibles de retener fosfatos y nitratos y, 2) la capacidad y eficiencia que tienen estos materiales para liberar estos fertilizantes en solución acuosa.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno y el fósforo son elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos. Sin embargo, algunos de ellos como el nitrato y ciertas formas de fosfatos son, además, contaminantes de cuerpos de agua superficiales y profundos. La forma más común para suministrar estos elementos minerales a los cultivos es el uso de enmiendas orgánicas o de fertilizantes. En la mayoría de los casos se da un uso inadecuado o excesivo de fertilizantes en las prácticas agrícolas, lo que propicia la contaminación de los cuerpos de agua. Con el objeto de definir un mejor uso de los fertilizantes se ha propuesto el empleo de fertilizantes de lenta liberación, los cuales presentan un gran potencial tanto en la agricultura como en la reforestación (Rose *et al.*, 2004; Wu y Liu, 2007; Wu *et al.*, 2008). Sin embargo, este tipo de fertilizantes todavía presenta un alto costo de producción y, en ciertos casos, puede ocurrir una liberación descontrolada o ineficiente del mismo. Una de las formas de evitar tales inconvenientes, sin dejar de lado la función fertilizadora, es el uso de materiales nanoestructurados capaces de liberar nutrientes de forma gradual. Esto no sólo reduciría la contaminación de suelos y agua, sino que también significaría un ahorro económico altamente considerable. Este trabajo se enfoca en la preparación de arcillas aniónicas, también conocidas como hidrotalcitas, y de arcillas catiónicas que tengan la capacidad de retener y de liberar gradualmente fertilizantes (nitrato y fosfato) en solución acuosa.

¹ Agradecimientos. La investigación fue realizada con financiamiento de los proyectos PAPIIT IN116310, CONACYT 99964 y SEP-PROMEP/103.5/09/4194 .

* Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, México, D.F., 04510, México.

** Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, Ingeniería Química, Chimalhuacán, 56230, Estado de México.

*** Benemérita Universidad de Puebla, Facultad de Ingeniería Química, Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Puebla, 72527, México. E-mail: asamcr@yahoo.com

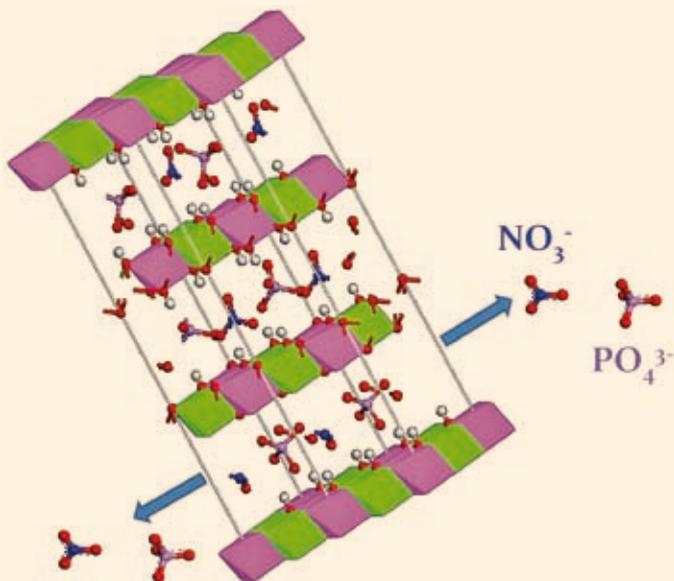
Las arcillas son minerales muy abundantes en la naturaleza, las cuales han sido utilizadas por el hombre desde hace más de veinticinco mil años (Fetter y Castillo, 2005). Nuestros antiguos pobladores de Mesoamérica ya las empleaban en la preparación de vasijas y casas de adobe. Actualmente, la aplicación de las arcillas es muy importante debido a su gran abundancia en la naturaleza. Sus materiales son tan versátiles pues presentan gran estabilidad térmica e inocuidad, además de tener capacidades adsorbentes y absorbentes. Dichas propiedades permiten la aplicación de las arcillas en todos los campos de la ciencia y la tecnología, como la medicina, la biología, la química de materiales y por supuesto, la agronomía (Carretero, 2002; Choy et al., 2007; Dasgupta y Torok, 2008).

En general, las arcillas se pueden clasificar en dos grandes grupos en arcillas catiónicas y arcillas aniónicas.

Arcillas catiónicas

Este tipo de arcillas presentan una estructura laminar conformada por silicatos de aluminio y magnesio hidratados, es decir, Si, O, Al, Mg y H₂O, principalmente. Aunque por lo general presentan otros metales en menor proporción, como el hierro. Debido a su porosidad interna y a su carga electrostática, las arcillas permiten la sorción (adsorción y absorción) de cationes simples, como, por ejemplo, potasio, magnesio y amonio, los cuales pueden liberarse o intercambiarse en medio ácido (Klopprogge *et al.*, 1999; Zhang *et al.*, 2010). Las esmectitas son las arcillas que presentan propiedades interesantes para su empleo como adsorbentes. La montmorillonita es la arcilla catiónica tipo esmectita más representativa (figura 1). Su estructura consiste de una capa octaédrica de hidragilita-brucita [Al(OH)₃—Mg(OH)₂] incluida entre dos capas

FIGURA 1. Estructura de una arcilla catiónica

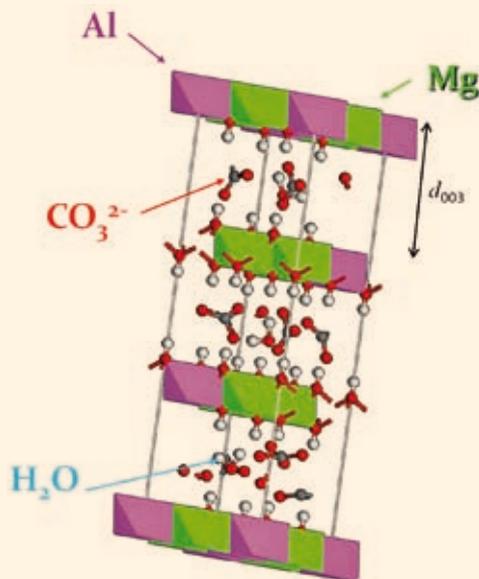


tetraédricas de silicio. Las capas octaédricas presentan un exceso de cargas negativas originadas por la sustitución natural de algunos átomos de Al^{3+} por átomos de Mg^{2+} . Estas cargas se compensan por cationes localizados en la superficie interlaminar; generalmente, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y/o NH_4^+ , denominados cationes intercambiables o cationes de compensación de carga. La principal característica de la montmorillonita es que en su espacio interlaminar puede penetrar tanto el agua como moléculas orgánicas e inorgánicas, causando una expansión entre las láminas. Estas arcillas tienen una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 60-120 miliequivalentes por 100 gramos de material.

Arcillas aniónicas

La hidrotalcita es un mineral cuya fórmula química estructural es $[\text{Mg}_6\text{Al}_2(\text{OH})_{16}](\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Este mineral pertenece al grupo de las arcillas aniónicas. La estructura de la hidrotalcita es similar a la de la brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, en la cual el magnesio se encuentra coordinado octaédricamente a seis grupos hidroxilo (OH^-). (Li y Duan, 2006; Lima, 2004) Estos octaedros forman láminas bidimensionales (figura 2) Cuando algunos cationes Mg^{2+} se reemplazan por Al^{3+} , se forma la hidrotalcita y el arreglo laminar adquiere cargas excedentes positivas. Para compensar esta carga se requiere de un anión; en el caso de la hidrotalcita, son los carbonatos CO_3^{2-} que se localizan en región interlaminar, junto con moléculas de agua. Las hidrotalcitas o arcillas aniónicas (figura 2) pueden sintetizarse fácilmente en el laboratorio. La variedad de familias de compuestos tipo hidrotalcita (HT) que se puede preparar es enorme y la fórmula general que los representa es: $\text{M}^{2+}_{1-x}\text{M}^{3+}_x(\text{OH})_2\text{A}^{n-}_{x/n} \cdot y\text{H}_2\text{O}$ en donde M^{2+} y M^{3+} son cationes metálicos divalentes y trivalentes, respectivamente, mientras que A^{n-} representa un anión de carga n. Este

FIGURA 2. Estructura de una arcilla aniónica



anión interlaminaar puede ser intercambiado por muchos otros en medio acuoso u orgánico (Li y Duan, 2006). El valor de x representa la fracción de cationes del metal tri-valente, usualmente esta fracción se encuentra entre 0.20 y 0.35.

En nuestro caso, se preparan arcillas aniónicas de magnesio y de aluminio con nitrato o con fosfatos como aniones compensadores de carga. Además, se empleó también una montmorillonita para retener los cationes de amonio, procedente del hidróxido de amonio NH_4OH , que se emplea durante la síntesis de las hidrotalcitas. La capacidad de liberación (desorción) de nitratos y de fosfatos, contenidos en estos materiales, se estudia en solución acuosa. Para ello, se emplean diferentes tiempos de contacto y se evalúa la capacidad o tasa de desorción en función del tiempo de liberación. Los aniones liberados (nitratos y fosfatos) se determinaron por cromatografía líquida de alta resolución (*high performance liquid chromatography*, HPLC). Los resultados muestran que los materiales evaluados liberan nitrato y fosfato en forma gradual.

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES LIBERADORES DE NUTRIENTES

Un buen diseño de materiales arcillosos que contengan nutrientes capaces de liberarse lentamente en el suelo es fundamental. Además, su elaboración debe de ser factible en términos económicos. Por tal motivo, se decidió estudiar la capacidad que tienen las arcillas catiónicas y aniónicas de retener nutrientes en forma iónica, como nitrato (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) o amonio (NH_4^+). Además, la elaboración de estos “materiales nutrientes” es relativamente sencilla y económicamente viable para su uso en la agricultura.

La síntesis de la arcilla aniónica con nitratos (Hidrotalcita- NO_3^-) se preparó siguiendo el método de coprecipitación propuesto por Olanrewaju y cols. (Olanrewaju *et al.*, 2000), el cual consiste en precipitar, de manera simultánea, una solución acuosa (2 molar) que contenga sales de nitratos de aluminio y de magnesio con otra solución de hidróxido de amonio (2 molar). Este último es el agente precipitante. Con el fin de asegurar la mayor concentración posible de nitratos interlaminares, la relación molar $x = \text{Al}^{3+}/\text{Al}^{3+} + \text{Mg}^{2+}$ debe de ser de 0.33. Esto también contribuye a una estructura laminar estable de la arcilla aniónica. La adición de las dos soluciones (sales e hidróxido) se lleva a cabo lenta y simultáneamente a un recipiente en agitación constante, manteniendo un pH de 9 en todo el proceso. Durante este procedimiento, las sales de Mg y de Al precipitan, se caracterizan porque presentan un color blanco lechoso. Una vez adicionada la totalidad de ambas soluciones se deja agitar durante 24 horas aproximadamente. Con este tiempo se permite que los hidróxidos de Mg y Al precipiten, y se ordenen para formar la estructura laminar característica de una hidrotalcita (proceso conocido como condensación estructural), en cuya región interlaminaar se disponen los aniones compensadores de cargas, es decir, los nitratos (NO_3^-). Después de la agitación, el sólido de color blanco se separa por centrifugación del exceso de solución, se lava para eliminar el remanente de nitratos, y se seca a 60°C. ¡El material está listo! La ventaja de este método es que los NO_3^- contenidos en las sales de Al y de Mg son ahora los aniones compensadores de cargas que posteriormente serán liberados como fertilizantes.

La síntesis de la arcilla aniónica con fosfatos se preparó de manera similar al método anterior, con la diferencia de que una tercera solución de acuosa de fosfato diácido

de amonio, 0.03 M $[(NH_4)_2H_2PO_4]$ se agregó simultáneamente junto con las soluciones de las sales de Mg y de Al, así como el agente precipitante (NH_4OH) . Es decir, ahora esperamos obtener una hidrotalcita con iones fosfatos en su interior, PO_4^{3-} .

Debido a que el ion amonio, NH_4^+ (presente en el hidróxido de amonio, NH_4OH), también puede ser una fuente de nutriente para las plantas, se puede recuperar mediante el uso de una arcilla catiónica u otro material intercambiador de cationes, como las zeolitas. Ya sea después o durante la preparación de las hidrotalcitas. En nuestro caso, se empleó una bentonita comercial, una montmorillonita, que al ponerse en contacto con las soluciones acuosas que contiene iones NH_4^+ , éstos se intercambian por los cationes de potasio y calcio presentes en la arcilla. Sin embargo, la capacidad de retención de los iones NH_4^+ dependerá en gran medida de la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla, que es de aproximadamente 100 meq/100g. Por lo tanto, se decidió sintetizar a pH=9, una hidrotalcita o arcilla aniónica de Mg-Al con nitratos, tal y como se describió anteriormente. Pero ahora, la mezcla de sales metálicas y del agente precipitante, no están solas. En efecto, una mezcla de una arcilla catiónica y agua desionizada se utilizó durante la síntesis. La relación molar de Bentonita-Hidrotalcita- NO_3^- fue de 50:50. Con ello se pretende, primero, recuperar una parte de los iones NH_4^+ presentes en el hidróxido empleado para llevar a cabo la coprecipitación de las sales de Mg y de Al, y segundo, los iones nitratos presentes en la arcilla catiónica.

Gracias a estos tres sencillos métodos de preparación se lograron obtener materiales relativamente económicos que contienen nutrientes esenciales para las plantas, específicamente, iones que contienen nitrógeno y fósforo. Sin embargo, la composición no fue la misma en ninguno de los tres casos. Para una mejor comprensión de esto, las capacidades de retención de los nutrientes para cada uno de los materiales se resumen en la tabla 1 preparados. La arcilla aniónica con nitratos, Hidrotalcita- NO_3^- presenta una buena correlación de la concentración esperada de nitratos (concentración teórica) y la concentración real (0.17 g/g). Para el caso de la arcilla aniónica con fosfatos, la concentración teórica corresponde únicamente a la presen-

TABLA 1. Capacidad de retención de los nutrientes

Muestra de arcilla	Relación molar	Nutriente	Concentración de nutriente (g/g)*		
			(teórica)	(real)** NO_3^-	(real)** PO_4^{3-}
Hidrotalcita- NO_3^-	$\frac{Al^{3+}}{Al^{3+} + Mg^{2+}} = 0.33$	NO_3^-	0.23	0.17	-
Hidrotalcita- PO_4^{3-}	$\frac{Al^{3+}}{Al^{3+} + Mg^{2+}} = 0.33$	PO_4^{3-}	0.22	0.18	0.22
Bentonita- Hidrotalcita NO_3^-	$\frac{\text{Bentonita}}{\text{Bentonita} - \text{Hidrotalcita}} = 0.5$	$NH_4^+ + NO_3^-$	0.16	0.044	-

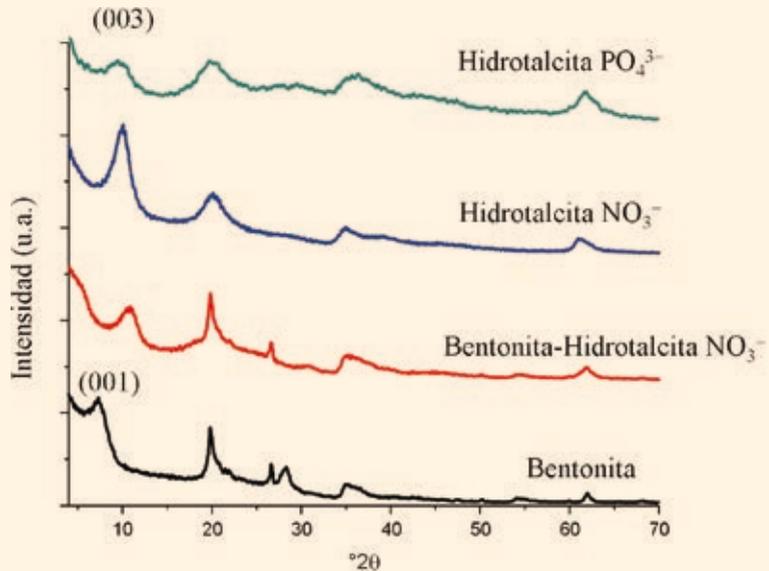
* gramo de nutriente por gramo de material

** determinado por conductividad térmica en un analizador elemental CNHS Perkin Elmer 2400.

cia de estos aniones. Sin embargo, la concentración real demuestra que existen tanto iones NO_3^- (0.18 g/g) como PO_4^{3-} (0.22 g/g). Este último resultado es algo ambiguo, en el sentido de que una parte de estos aniones pueden localizarse entre las láminas y otra parte en la superficie del material: ¡hay muchos más nutrientes de lo esperado! En efecto, la suma de los dos resulta ser demasiado grande para encontrarse en su totalidad entre las láminas de la arcilla. La concentración teórica y la real, de la mezcla Bentonita-Hidrotalcita- NO_3^- , corresponden a la suma de los dos nutrientes nitrogenados que estarían presentes dentro del material, es decir, NH_4^+ y NO_3^- . Desafortunadamente, la mezcla de una arcilla catiónica y una arcilla aniónica, no se traduce en un material con un buen contenido de iones nitrogenados. Más adelante se explica dicho comportamiento.

La arcilla aniónica con nitratos, Hidrotalcita- NO_3^- entre sus láminas presenta una estructura laminar relativamente homogénea que se demuestra por la presencia del pico de difracción (003). Este pico es intenso y bien definido y, también, es representativo de la distancia interlaminar de la hidrotalcita con nitratos (figura 3, Hidrotalcita- NO_3^-), cuyo valor es $d_{003}=8.9 \text{ \AA}$ (Amstrong, $1\text{\AA}=1\times 10^{-10} \text{ m}$). Ahora bien, la hidrotalcita con fosfatos, PO_4^{3-} , presenta una estructura menos ordenada que la anterior, el pico (003), es mucho más ancho y menos intenso que en el caso de los nitratos. Sin embargo, la distancia interlaminar es de 9.2 \AA , ligeramente mayor a la hidrotalcita únicamente con nitratos. Ello indica que los fosfatos están presentes en la región interlaminar. Aunque, de acuerdo con los resultados de la tabla 1, no sólo existen nitratos sino también fosfatos. Por lo tanto, en la región interlaminar existe una mezcla de fosfatos y nitratos contenidos en la parte interlaminar de la arcilla (los fosfatos tienen un radio iónico mayor que los nitratos). Recordemos que durante la síntesis

FIGURA 3. Difractogramas de rayos X de las arcillas con nutrientes entre sus láminas, la arcilla catiónica, una bentonita comercial, se muestra como referencia.



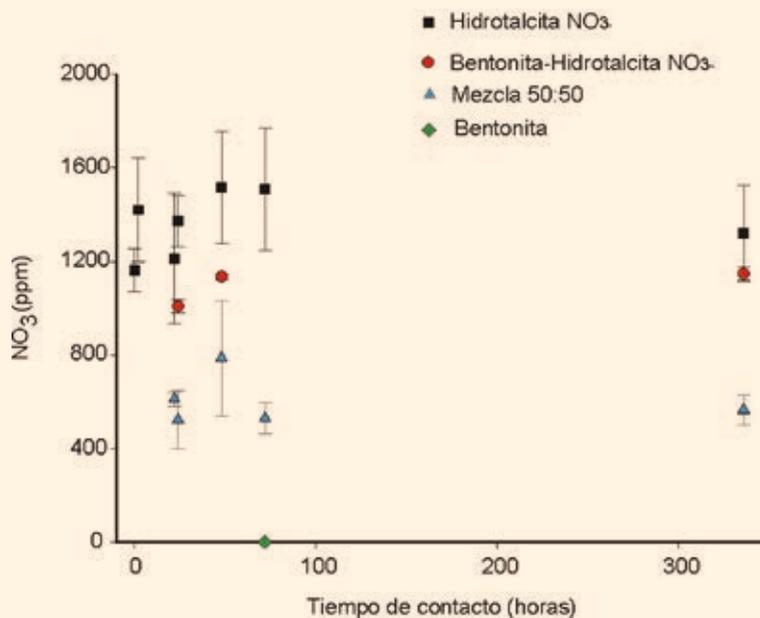
de este material se emplean sales de nitratos de Mg y Al, además de una solución de $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ por lo que no resulta extraño encontrar las dos especies en el mismo material. Ese resultado podría ser benéfico si se quieren preparar materiales con más de un nutriente. Para el caso de la mezcla 50:50 de bentonita-hidrotalcita- NO_3^- se observa que el pico (003) de la arcilla aniónica se mantiene, pero disminuye la distancia interlamina, ($d_{003}=7.8 \text{ \AA}$). Sin embargo, el pico (001) característico de la bentonita comercial, no aparece lo que indica que su estructura colapsó durante la preparación de la hidrotalcita con nitratos. Ello puede deberse a que el pH de síntesis fue demasiado alto (pH=9). En consecuencia, la mezcla de arcillas provoca una baja concentración de nitrógeno (tabla 1), el cual debe estar principalmente en forma de NO_3^- , el resto de los aniones compensadores de carga son, casi con certeza, carbonatos CO_3^{2-} . En efecto, los carbonatos tienen una mayor afinidad a intercalarse en una arcilla aniónica que cualquier otro anión y propician una distancia interlamina, d_{003} de 7.7 \AA , muy cercana a la determinada en nuestro caso que fue de 7.9 \AA . Es decir, el CO_3^{2-} tiene un radio iónico menor que el de NO_3^- . Como vemos, no siempre se logra lo que se pretende, la recuperación del amonio mediante este método todavía merece ser estudiada a profundidad. Se sabe que la bentonita (sin hidrotalcita) en contacto con una solución de iones NH_4^+ (a partir de NH_4OH) sí son retenidos en la parte interlamina de la misma. Sin embargo, en presencia de sales de Mg y Al, y de hidróxido de amonio, sólo conduce a un colapso de la estructura lamina de la bentonita. A pesar de ello, se estudió para cada una de los tres sólidos su capacidad de liberación de nutrientes en agua.

TASA DE LIBERACIÓN DE NUTRIENTES

La evaluación de la tasa de liberación de nutrientes de los materiales sintetizados se realizó por lotes (sistema batch). Se evaluaron los materiales sintetizados y mezclas de ellos, incluyendo a la bentonita comercial como material de referencia. El experimento fue diseñado para 1) conocer el tiempo de equilibrio del sistema (cuando la concentración en solución y en el sólido no cambia con el tiempo); 2) conocer el rendimiento (porcentaje de nutriente liberado del total contenido en el material sintetizado) y, 3) evaluar la tasa de liberación (miligramo de nutriente liberado por gramo de material por hora); y evaluar el número de equilibrios o "riegos" que soporta cada muestra.

El procedimiento incluyó la agitación del material evaluado en una solución que contenía agua destilada o una solución acuosa de cloruro de calcio (CaCl_2 , 8 mM, milimolar), a una relación 1:100 material:solución. Para la agitación constante de 120 rpm con ayuda de un agitador de tipo orbital. Durante todo el procedimiento se midió el pH observando que se mantuvo estable en todas las etapas (alrededor de 7). Se evaluaron diferentes tiempos de contacto, a cada tiempo la mezcla fue centrifugada a 2,500 rpm durante 25 min y el sobrenadante fue filtrado con ayuda de un filtro con una porosidad de $0.22 \mu\text{m}$ (micrómetros). La determinación de nitratos y fosfatos liberados se hizo por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), en un equipo de marca Waters. Siguiendo el procedimiento señalado, se evaluó la cinética de desorción (liberación), la capacidad de liberación de los nutrientes (nitrato y fosfato) a partir de los materiales, a tiempo variable de agitación. Asimismo, se estudio la liberación de los nutrientes a tiempo constante.

En un primer tiempo se evaluó la cinética de desorción, en solución acuosa, que permitiera definir el tiempo en que el sistema alcanza el equilibrio (tiempo en que la

FIGURA 4. Cinética de liberación de nitrato a partir de los materiales sintetizados

concentración de nutrientes liberada no cambia con la determinada en la solución). Se evaluaron 8 tiempos de contacto entre 0 y 1,250 horas (52 días). El equilibrio de la desorción de NO_3^- en agua se obtiene en las primeras 150 h (6.25 días). La concentración máxima liberada es de 300 ppm de NO_3^- . La figura 4 muestra la cinética de desorción de nitratos a partir de la arcilla aniónica, Hidrotalcita- NO_3^- , y la mezcla Bentonita-Hidrotalcita- NO_3^- . La figura 5 muestra en detalle la liberación de nitratos para la arcilla aniónica. Es interesante observar que la liberación de nitratos, en esta muestra, permanece constante durante los primeros seis días (144 h). La arcilla aniónica, Hidrotalcita- NO_3^- resulta ser el material que libera una cantidad de nitrato hasta 1,400 ppm de NO_3^- . En los materiales evaluados la concentración máxima liberada correspondió al 47.80 % en el material Hidrotalcita- NO_3^- .

En el análisis de la liberación de fosfatos a partir de los materiales sintetizados, se observó que al entrar en contacto con la solución de CaCl_2 , la hidrotalcita fosfatada, Hidrotalcita- Hidrotalcita- PO_4^{3-} libera casi instantáneamente una concentración de fosfato de 90 ppm, la cual representa al 2.70 % del contenido de fósforo total del material (figura 6). Después de la tercera hora de contacto, la concentración liberada osciló entre 20 y 30% y se mantuvo constante hasta las 80 horas experimentales.

En las gráficas mostradas hasta ahora se observa el alcance de la desorción de los nutrientes en un solo tiempo de contacto entre el material y la solución de CaCl_2 . Tal resultado se interpreta como la cantidad de nutrientes (NO_3^- y PO_4^{3-}) que serían liberados en un sólo riego del suelo cultivado, al cual se le han dosificado estos materiales sintetizados. La tasa de liberación de NO_3^- , de los materiales sintetizados se evaluó también a varios tiempos de contacto de forma consecutiva, a cada tiempo el sobrena-

FIGURA 5. Cinética de liberación de nitrato a partir de la muestra Bentonita-Hidrotalcita NO_3^-

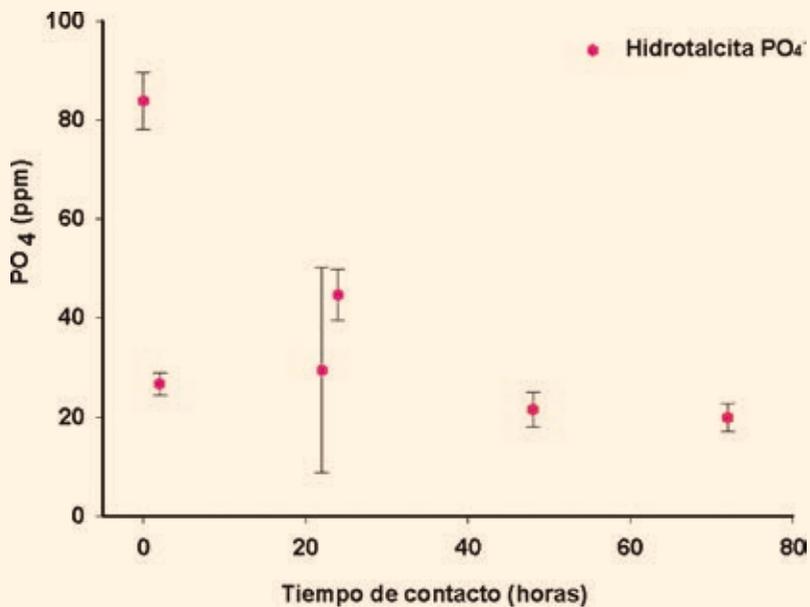
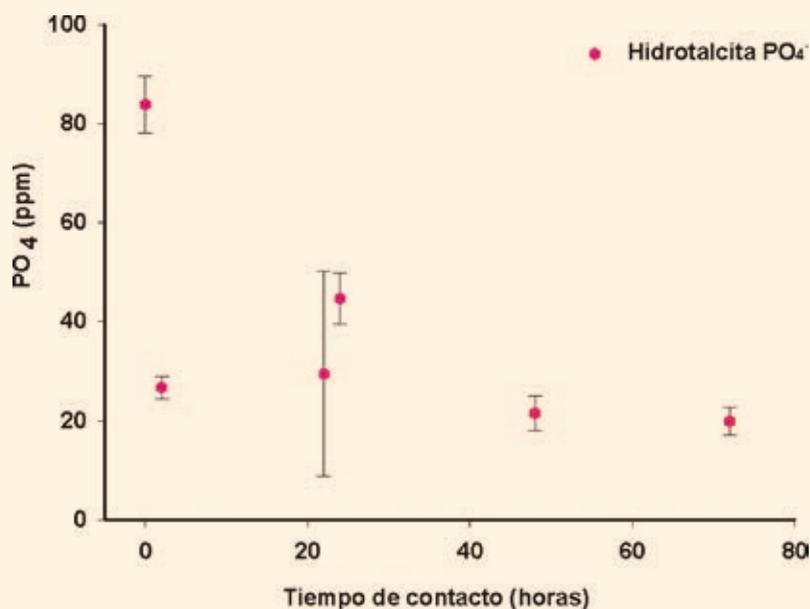


FIGURA 6. Concentración de fosfato liberado de la muestra Hidrotalcita- PO_4^{3-}



dante (solución en equilibrio) era remplazado por solución de CaCl_2 (8 mM). En este caso, el interés es simular el comportamiento de los materiales bajo el efecto de diferentes riegos para definir la cantidad de nutrientes puestos en solución, que equivalen a la fracción disponible para las plantas. Los resultados observados bajo estas condiciones se pueden resumir de la siguiente manera: la hidrotalcita fosfatada, Hidrotalcita- PO_4^{3-} , libera todo el nutriente en las primeras 24 horas; la mezcla 50:50 libera gran cantidad de NO_3^- en las primeras 24 horas (>1500 ppm) y mantiene su almacén hasta el siguiente evento de riego (>400 ppm); la muestra Hidrotalcita- NO_3^- libera menor cantidad de nitratos (~300 ppm) en 2 horas, sin embargo, mantiene su almacén hasta el último riego. Lo obtenido indica que existen diferencias entre los materiales sintetizados *vis a vis* y la velocidad de liberación de los nutrientes. Los materiales sintetizados en fosfatos se agotan en un tiempo de contacto, mientras que en los materiales sintetizados con nitrato se observa una liberación más lenta y controlada, sugiriendo una mayor eficiencia al utilizarlos como materiales fertilizantes.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

1. Se presenta un método sencillo y económico de síntesis de materiales arcillosos nanoestructurados que pueden liberar fertilizantes de manera controlada.
2. Los niveles de concentración de los nutrientes de los materiales evaluados están alrededor de 1400 ppm de NO_3^- equivalentes a 40 mgN/g mat. (miligramos de nitrógeno por gramo de material) y de 90 ppm PO_4^{3-} (2.8 mg P/g mat). Por ejemplo, si se desea fertilizar un cultivo que requiere 0.3gN/m², sólo sería necesario aplicar 7.5 g del material preparado, es decir, para un área de 100m² de cultivo sólo sería necesario 0.75 kg de arcilla aniónica. Además, el contenido de nitrógeno y fósforo puede ser predeterminado en la síntesis de los materiales, es decir, se pueden obtener materiales con las concentraciones deseadas para un determinado tipo de cultivo.
3. La liberación de la mayor masa de nitrógeno y fósforo contenido en los materiales sintetizados ocurre de forma inmediata al entrar en contacto con la solución, tal resultado es positivo al considerarse que los nutrientes deben ser puestos a disposición de la planta de forma inmediata con el riego.
4. La siguiente etapa del trabajo será evaluar la liberación de nitrógeno y fósforo en condiciones experimentales más cercanas a lo que ocurre en una práctica agrícola al fertilizar un suelo. Se sugieren experimentos en maceta bajo condiciones de invernadero, de tal manera que sea posible definir la cantidad de nutrimentos liberados a partir de los materiales sintetizados, la cantidad lixiviada y la cantidad tomada por la planta.

REFERENCIAS

- Carretero, M. I. (2002). "Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review". *Applied Clay Science*, vol. 21, núm. 3-4: 155.
- Choy, J.-H., Choi, S.-J., Oh, J.-M., y Park, T. (2007). "Clay minerals and layered double hydroxides for novel biological applications". *Applied Clay Science*, vol. 36, núm. 1-3: 122.

- Dasgupta, S., y Torok, B. (2008). "Application of clay catalysts in organic synthesis. A review". *Organic Preparations and Procedures International*, vol. 40, núm. 1: 1.
- Fetter, G., y Castillo, P. S. (2005). "Catalizadores tipo arcillas pilareadas". *Materiales Avanzados*, vol. 4: 19.
- Klopprogge, J. T., Komarneni, S., y Amonette, J. E. (1999). "Synthesis of smectite clay minerals: A critical review". *Clays and Clay Minerals*, vol. 47, núm. 5: 529-554.
- Li, F., y Duan, X. (2006). "Layered Double Hydroxides: Applications of Layered Double Hydroxides". *Struct. Bond*, 193.
- Lima, E. (2004). "Los hidróxidos dobles laminares, materiales con memoria". *Materiales Avanzados*, vol. 2: 31.
- Olanrewaju, J., Newalkar, B. L., Mancino, C., y Komarneni, S. (2000). "Simplified synthesis of nitrate form of layered double hydroxide". *Materials Letters*, vol. 45, núm. 6: 307.
- Rose, R., Haase, D. L., y Arellano, E. (2004). "Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación". *BOSQUE*, vol. 25, núm. 2, 89.
- Wu, L., and Liu, M. Z. (2007). "Slow-release potassium silicate fertilizer with the function of superabsorbent and water retention". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 46, núm. 20: 6494.
- Wu, L., Liu, M. Z., y Liang, R. (2008). "Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention". *Biore-source Technology*, vol. 99, núm. 3: 547.
- Zhang, D., Zhou, C. H., Lin, C. X., Tong, D. S., y Yu, W. H. (2010). "Synthesis of clay minerals". *Applied Clay Science*, vol. 50, núm. 1: 1.

Análisis de percepción sobre la nanociencia y la nanotecnología: el caso de la comunidad universitaria de la UNAM*

GIAN CARLO DELGADO RAMOS Y JUDITH SARAI PEÑA JIMÉNEZ*****

RESUMEN: Se presenta el análisis de percepción social de la comunidad de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) sobre el estado e implicaciones de la nanociencia y nanotecnología a partir de datos arrojados por una encuesta realizada a 500 estudiantes y trabajadores en Ciudad Universitaria (Ciudad de México). Los datos siguen la tendencia de ejercicios similares en otras latitudes. Se concluye con un llamado a fortalecer el apoyo, estímulo y regulación de la ciencia y la tecnología, al tiempo que se procura un trabajo interdisciplinario, así como de periodismo científico, divulgación y otras formas de información, comunicación y diálogo social constructivos y democráticos.

PALABRAS CLAVE: nanociencia, nanotecnología, percepción social, implicaciones, regulación.

ABSTRACT: An analysis on social perception of the community of the National Autonomous University of Mexico regarding current state and implications of nanoscience and nanotechnology is presented. The exercise is a result of a survey carried out at Ciudad Universitaria (Mexico City) on 500 students and workers. Data follows the tendencies of other similar social perception experiences as indicated properly. The text concludes with a call to promote support, stimulate and regulate science and technology in general, while seeking greater interdisciplinary work, a high level scientific journalism, popularization of science and other forms of informing, communicating and dialoguing with society in a constructive and democratic way.

KEYWORDS: nanoscience, nanotechnology, social perception, implications, regulation.

INTRODUCCIÓN

Durante los meses de febrero, marzo y abril de 2011 se diseñó una encuesta —véase anexo— para valorar la percepción de la comunidad de la Universidad Nacional Autónoma de México acerca del desarrollo científico tecnológico, el avance de la nanociencia y la nanotecnología y sus implicaciones. La encuesta tuvo un ejercicio piloto que llevó a la necesidad de sumar dos materiales adicionales. Un folleto con las principales definiciones oficiales de lo “nano” y otro folleto extenso de las implicaciones, riesgos y estado actual de la regulación de la nanotecnología. Éste incluyó información proveniente de publicaciones científicas arbitradas sobre las implicaciones positivas y potencialmente negativas en términos económicos, ambientales y a la salud.

Las definiciones ofrecidas fueron las siguientes:

* El presente trabajo es parte de los resultados de investigación del proyecto “Laboratorio SocioEconómico de Nanotecnología (LAB-nano)”, convocatoria de apoyo complementario-2009 No. 118244 del Conacyt.

** Economista egresado de la UNAM. Doctor por la Universidad Autónoma de Barcelona. Investigador del programa “El Mundo en el Siglo XXI” del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt.

*** Estudiante de la licenciatura de sociología. FCPyS, UNAM.

— *Royal Society (Reino Unido)*

La nanociencia y nanotecnología involucra el estudio y trabajo con la materia a una escala ultra pequeña. Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro y un solo cabello humano tiene alrededor de 80,000 nanómetros de ancho. La nanociencia y nanotecnología abarcan un conjunto de técnicas en lugar de una sola disciplina, extendiéndose por todo el espectro de la ciencia, tocando la medicina, la física, la ingeniería y la química (Royal Society and the Royal Academy of Engineering, 2004).

— *National Nanotechnology Initiative (EUA)*

La nanociencia y la nanotecnología refiere a la investigación y desarrollo tecnológico a nivel atómico, molecular o macromolecular, en una escala de longitud de aproximadamente 1–100 nanómetros, para proporcionar una comprensión fundamental de los fenómenos y materiales en la nanoescala, y para crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas que poseen propiedades y funciones novedosas debido a su pequeño o intermedio tamaño. La investigación y desarrollo en nanotecnología incluye la manipulación bajo el control de las estructuras a nanoescala y su integración en componentes materiales más grandes <www.nano.gov>.

— *Clasificación 997 de la USPTO (EUA)*

Relativa a la investigación y desarrollo tecnológico a niveles atómicos, moleculares o macromoleculares en escalas de longitud en un rango aproximado de 1 a 100 nanómetros en al menos una dimensión, y que proporciona una comprensión fundamental de los fenómenos y materiales a la nanoescala para crear y usar estructuras, dispositivos y sistemas que tienen propiedades y funciones novedosas debido a su tamaño <www.uspto.gov/web/patents/classification/uspc977/defs977.htm>.

— *Definición de la Oficina Europea de Patentes*

El término nanotecnología cubre entidades con un tamaño geométrico controlado del tamaño de al menos un componente funcional por debajo de los 100 nanómetros en una o más dimensiones susceptibles de hacer disponibles los efectos físicos, químicos o biológicos que son intrínsecos a ese tamaño. Abarca el equipo y los métodos para análisis controlado, manipulación, procesamiento, fabricación o medición con una precisión por debajo de los 100 nanómetros <www.epo.org/news-issues/issues/nanotechnology.html>.

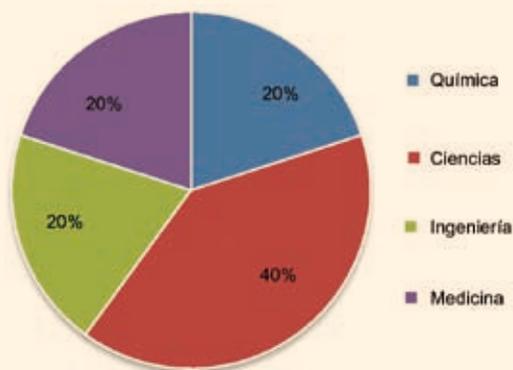
La elaboración del folleto con las definiciones arriba precisadas fue necesaria para que aquellas personas que no sabían qué era la escala nano y por ende la nanociencia y la nanotecnología tuvieran un punto de partida para expresar su opinión acerca de la temática en cuestión sin que fuera informada sobre la diversidad y complejidad de implicaciones, positivas y negativas o de debates existentes. El segundo, se entregó a todos los participantes al final de la encuesta y se les pidió a 1 de cada 10 su opinión después de leerlo, especialmente en cuanto a la utilidad que pudiera tener en relación con su percepción sobre la nanotecnología. Las respuestas fueron variadas pero por lo general se precisó no conocer la información ofrecida en el folleto, encontrándola de utilidad en un grado u otro. Ello con mayor énfasis en el caso de aquellos encuesta-

dos provenientes de las ciencias sociales y las humanidades. También en algunos casos se expresaron desacuerdos con aspectos puntuales que desde la lectura hecha por los participantes no coincidían con percepciones propias. Incluso fue evidente el desinterés de algunos en tanto “tener” que leer el folleto. Otros puntualizaron conocer la información del mismo.

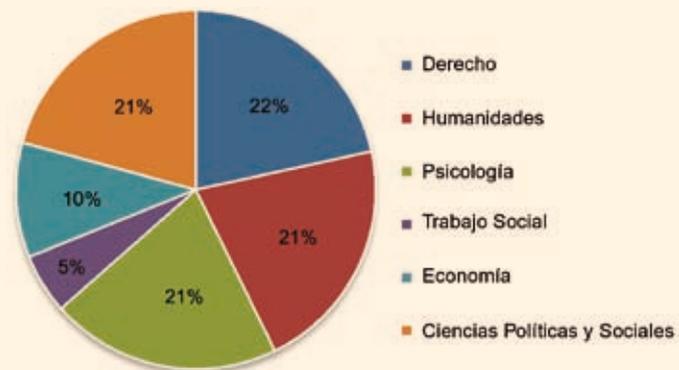
La encuesta se aplicó a 250 estudiantes y trabajadores del área de las ciencias naturales, exactas y las ingenierías (grupo 1), siendo los de mayor peso aquellos de entre 18 a 28 años de edad. También se aplicó a 250 estudiantes y trabajadores del área de ciencias sociales y humanidades (grupo 2), siendo los de mayor peso aquellos de entre 18 a 26 años de edad. El 53% de los encuestados en del grupo 1 fueron hombres y el 47% mujeres. En el grupo 2, los porcentajes fueron 34% y 66%, respectivamente.

La canasta de carreras cubiertas en el grupo 1 fueron en el orden del 40% a ciencias y 20% a química, medicina e ingeniería, respectivamente. En el grupo 2 correspondieron con el 22% a derecho, 21% a humanidades, 21% psicología, 21% ciencias políticas y sociales, 10% economía y 5% trabajo social.

Carreras del grupo 1



Carreras del grupo 2



Análisis de resultados del grupo 1

En el grupo 1 los encuestados se consideran casi en su totalidad, sin importar las diferencias de carrera, como personas interesadas en la ciencia y reportan obtener conocimiento sobre información y novedades tecnológicas por medio de publicaciones electrónicas, artículos en revistas especializadas y *Gaceta UNAM* <www.dgcs.unam.mx/gacetaweb>, que resulta un medio muy recurrente para conocer los avances tecnológicos y científicos por parte de la comunidad universitaria, aunque los pertenecientes a medicina e ingeniería, por ejemplo, al contar con una gaceta propia en su facultad, también reportan recurrir a ella como medio de conocimiento, pero en menor grado que los antes mencionados.

Respecto al conocimiento sobre lo que es la nanociencia y la nanotecnología, menos de la mitad de los encuestados respondieron afirmativamente, siendo también una respuesta recurrente el decir que tenían una idea sobre a lo que hacían referencia estos términos, pero no de una manera precisa.

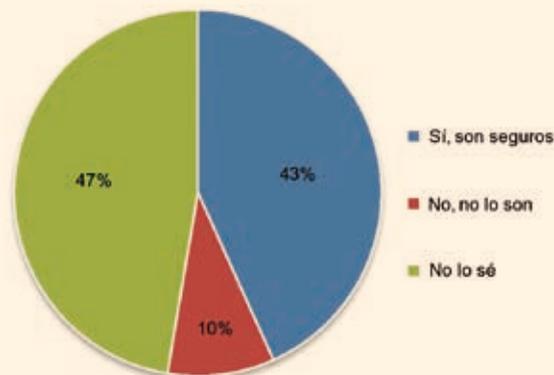
Casi generalizadamente está internalizada la concepción de que la nanociencia y la nanotecnología está vinculada a algo “pequeño” o “microscópico”; una cantidad significativamente pequeña de estudiantes de ciencias duras aluden al término “nano” y describieron la escala de 10^{-9} , sobre todo en las facultades de ciencias y de ingeniería. No obstante, una idea muy común fue también aquella que relaciona a la nanociencia y nanotecnología con robots.

Los médicos tienden a limitar sus apreciaciones de los probables beneficios de la nanociencia y nanotecnología únicamente dentro del área médica, especialmente aquellos relacionados con la resolución de problemas de índole patológica/sistémica/fisiológica y rara vez aluden a algún otro uso al inicio de la entrevista.

Los demás universitarios tienen una visión un poco más amplia, pero todos coinciden de manera recurrente en la cuestión biomédica e ingenieril de la nanociencia y nanotecnología. Casi ningún encuestado habla sobre avances en el área cosmética, ecológica, alimentaria o textil, salvo casos aislados.

La minoría de los encuestados que respondió conocer algún objeto o servicio derivado de la nanotecnología aludió, en casi todos los casos, a componentes electrónicos/computacionales y aparatos electrodomésticos, pero muy pocos hicieron alusión a cosméticos, medicamentos o textiles.

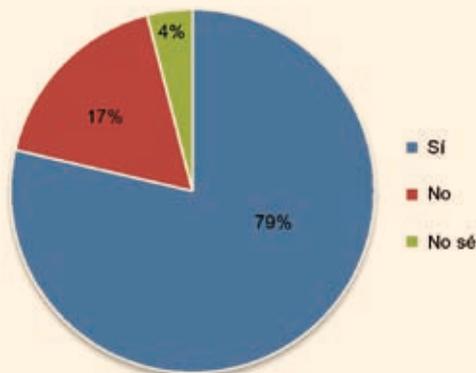
GRUPO 1. ¿Consideras que los avances de la nanotecnología son seguros para la salud y el ambiente?



Es de destacar que la enorme mayoría de encuestados del grupo 1 no sabe si la nanotecnología es segura para la salud o el ambiente, pero presentan generalmente opiniones positivas basadas en la creencia de que deben ser seguros por el tamaño que tienen ya que no contaminarían mucho. Se piensa que podrían ser de gran ayuda para curar enfermedades y que serían muy peligrosos en caso de usarse en armas o en objetos “terroristas”.

En general, los encuestados del grupo 1 respondieron que es necesaria una regulación de los productos nanotecnológicos ya que muchos coinciden en que se podrían tomar ventajas para los empresarios, como incrementos de precios o monopolización, o ambas. Asimismo, opinan que es importante tal regulación dada la relativa novedad del desarrollo de ésta tecnociencia y por tanto también de sus posibles consecuencias para la salud de los seres humanos. A varios de los encuestados les importó de igual manera el medio ambiente y las probables consecuencias que pueda haber sobre éste.

GRUPO 1. ¿Consideras necesario regular el avance de la nanotecnología y la comercialización de los productos?

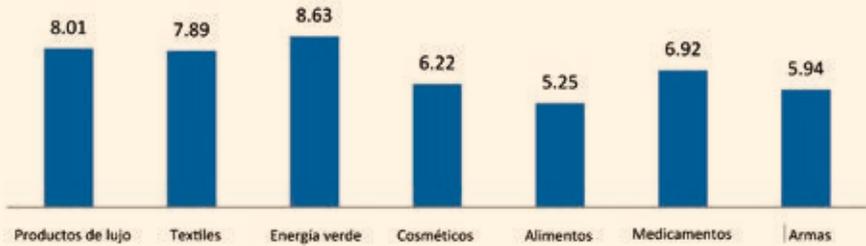


Los encuestados opinan que México cuenta con buenos científicos e investigadores, pero casi el 95% de los encuestados comparte que el país no invierte lo suficiente en investigación y desarrollo (IyD); que no hay impulso ni apoyo suficiente para la ciencia; que no se apoyará lo suficiente la nanociencia si ni siquiera se impulsa la tecnología “común”. También sugieren que, por estos motivos de abandono al campo científico, es que muchos investigadores de excelencia se han ido del país y quizá en este momento estén siendo los protagonistas del desarrollo nanotecnológico en el extranjero donde sí se cuenta con la inversión e infraestructura adecuadas.

Los resultados reflejan que los encuestados del grupo 1 muestran menor confianza en artículos hipotéticamente nanotecnológicos cuando éstos tienen un contacto directo con el ser humano (cuando se comen o se ingieren en forma de medicamentos), pero muestran más confianza en artículos o accesorios que tienen contacto directo con el cuerpo humano; incluso los aprueban a pesar de que pudiera tratarse del mismo nanomaterial. En el caso de los productos de lujo, son pocas las personas que no le otorgan el nivel máximo de confianza, al igual que con los avances en áreas de aplicación “verdes” como las fotoceldas, las cuáles se consideran benéficas para el medio

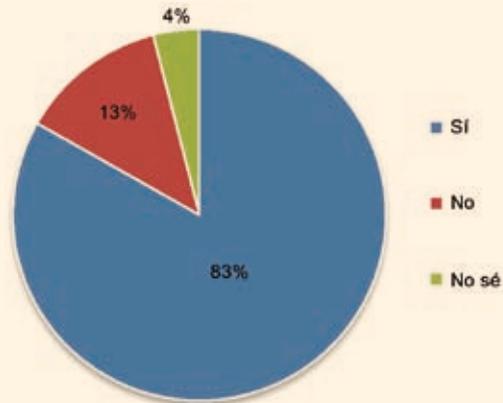
ambiente, y en caso de estar hechas con nanotecnología, se asumen como de mayor y mejor funcionamiento.

GRUPO 1. Grado de confianza al utilizar productos que hacen uso de la nanotecnología en escala del 0 al 10 donde cero es ausencia de confianza y 10 completamente confiado.



Casi el total de los encuestados opina que los bienes y servicios realizados con nanotecnología deben estar etiquetados indicando sus características para cumplir el derecho de contar con información para que los consumidores decidan sobre la compra y eventual uso de los mismos. A cerca de la regulación de las importaciones, se tiene la opinión mayoritaria de que sí deben ser regulados ya que puede tratarse de productos de baja calidad o de peligro inminente para la salud del ser humano o el ambiente.

GRUPO 1. ¿Crees necesario regular las importaciones de productos nanotecnológicos?



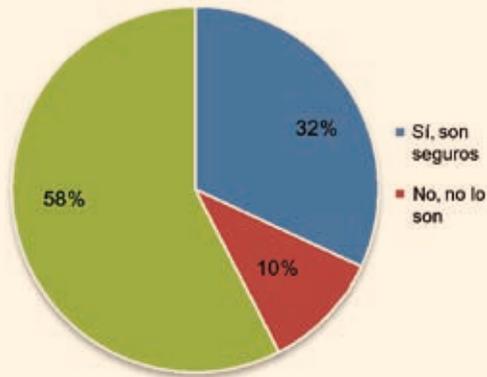
También se indica que debe darse un espacio presencial de mercado, tanto a los avances que entren al país, como a los productos desarrollados en México, ello —se precisa— para evitar que los productos importados coopten todos los nichos de mercado y esto perjudique tanto a las investigaciones nacionales como a los científicos que las realizan.

Análisis de resultados del grupo 2

A diferencia de los encuestados del grupo 1, en el grupo 2 el 24% dijo no estar interesado en la ciencia, mientras que un 76% dice estarlo (la pregunta no precisa qué tipo de ciencia, lo que confirma que un gran porcentaje de los universitarios de las ciencias sociales y las humanidades asumen automáticamente el concepto de “ciencia” a las ciencias naturales y exactas exclusivamente). Lo anterior se refleja en los porcentajes de reconocimiento sobre el conocimiento de una definición de nanotecnología y nanociencia, que es afirmativo sólo en un 34%, siendo casi equivalente este porcentaje al de afirmación de conocimiento sobre la existencia de productos nanotecnológicos, que es de 30%. Cifra que difiere poco de los datos del grupo 1, que son de un 33% y 28%, respectivamente.

Más de la mitad de los estudiantes encuestados respondieron (58%) que no saben si la nanotecnología y nanociencia son seguras. Esto comprueba que independientemente del área profesional de formación, existe un gran desconocimiento —y no rechazo— sobre este frente tecnológico y sus implicaciones.

GRUPO 2. ¿Consideras que los avances de la nanotecnología son seguros para la salud y el ambiente?



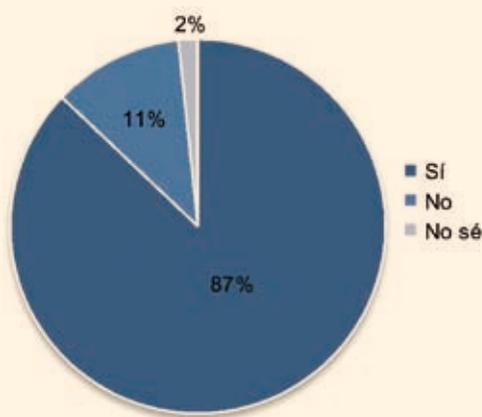
Los resultados reflejan que sólo un 10% en ambos grupos considera que la nanotecnología es insegura, mientras que un 43% del grupo 1 y un 32% del grupo 2 consideran precisamente lo contrario. De notarse es que ambas respuestas, negativas y positivas, parten de grados de conocimiento sobre el tema opuestos y, sin embargo, coinciden en su percepción sobre la cuestión de la seguridad del avance nanotecnológico. Y es que es de recordarse que dos terceras partes del grupo 1 dijo saber qué es nanociencia y nanotecnología mientras que esa misma cantidad del grupo 2 dijo no saberlo.

Los encuestados que afirmaron como segura a la nanotecnología, asociaron de modo muy generalizado sus respuestas a un pensamiento de que “si lo aprueba o lo promueve la ciencia, es seguro”. También respondieron que debe ser segura dado que se está trabajando en la mejora y la promoción de su desarrollo para beneficio de la humanidad. Las respuestas reflejan un conocimiento superfluo de la historia y naturaleza de la ciencia y la tecnología, así como una fuerte influencia del paradigma

normal de la ciencia (en términos kuhnianos [Kuhn, 1971]) acerca de la neutralidad, veracidad y certeza incuestionable de la ciencia, misma que es puesta en duda por la filosofía y la sociología de la ciencia y la tecnología desde hace casi cuatro décadas. Tales disciplinas y en especial los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (o STS, por sus siglas en Inglés) y los que se insertan en lo que se ha calificado como ciencia posnormal. Funtowicz, Silvio y Strand, Roger (2007), Gibbons *et al.*, (1997), Ravetz R. Jerome (1971), Ravetz, Jerome y Silvio Funtowicz (1990 y 2000), Strand, Roger y Deborah Oughton (2009), Wynne, Brian (1992) dan cuenta de múltiples casos que corroboran que lo anterior expuesto por los encuestados no necesariamente es así. Ello sobre todo cuando la ciencia y la tecnología se industrializan y corporativizan cada vez más (lo que se ha llegado a calificar como *Big Science* (Galison, 1992)), así como cuando se observa una fuerte militarización del quehacer científico, sobre todo en Estados Unidos —y que se ha calificado como *economía de Pentágono* (Melman, 1972)). Por tanto, la necesidad de una formación de carácter interdisciplinario se observa como algo crecientemente deseable.

Ahora bien, en el grupo 2 existe también prácticamente un consenso cuando se habla de la regulación de la nanotecnología, ya que el 87% de los encuestados dicen que tal regulación debe existir, siendo la respuesta más recurrente que es necesario dado que aún no se conocen las consecuencias reales y tangibles de la nanociencia, por lo que debe existir una exhaustiva regulación para controlar hasta dónde podrían llegar a afectar las innovaciones nanotecnológicas. El dato coincide con los del grupo 1, cuestión que sugiere que independientemente de la formación profesional o del grado de conocimiento sobre la nanotecnología, los usuarios o consumidores siempre prefieren un esquema de regulación que de autorregulación.

GRUPO 2. ¿Consideras necesario regular el avance de la nanotecnología y la comercialización de los productos?

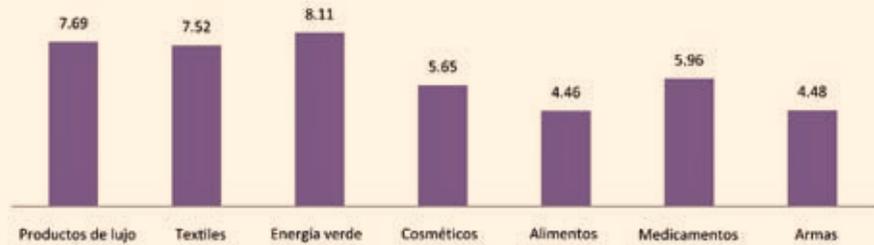


El 72% de los encuestados en el grupo 1 dice que México no está posibilitado para innovar en nanociencia y nanotecnología y opinan que esto se debe a que, al igual que respondieron los estudiantes de ciencias naturales, no existe suficiente apoyo económico ni inversión adecuada por parte del Estado respecto a la ciencia, ello a pesar de

que existe tanto buen capital humano como conocimiento en aplicación de la ciencia. Del total de encuestados (considerando ambos grupos), dos terceras partes coinciden en que no hay condiciones ni apoyo suficiente al avance y desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país. La percepción coincide con el balance que hizo la Academia Mexicana de Ciencias en el marco del encuentro La Ciencia en México, Zona de Desastre, convocado y celebrado por ésta entidad el 17 de junio de 2009.

Respecto a la confianza que los encuestados respondieron tener en bienes y servicios nanotecnológicos, los números no fueron muy dispares a los del grupo 1, siendo la menor confianza a las aplicaciones en alimentos, con un promedio de 4.46 en una escala del cero al diez. Le siguen el rubro de las armas, con 4.48, los cosméticos con 5.65 y los medicamentos con 5.96, manteniendo un nivel mayor de confianza los productos que podríamos señalar como “de uso externo” como textiles, con 7.52, los artículos de lujo, con 7.69 y manteniéndose a la cabeza, la producción de energía verde con el promedio más alto, de 8.11.

GRUPO 2. Grado de confianza al utilizar productos que hacen uso de la nanotecnología en una escala del 0 al 10 donde cero es ausencia de confianza y 10 completamente confiado.

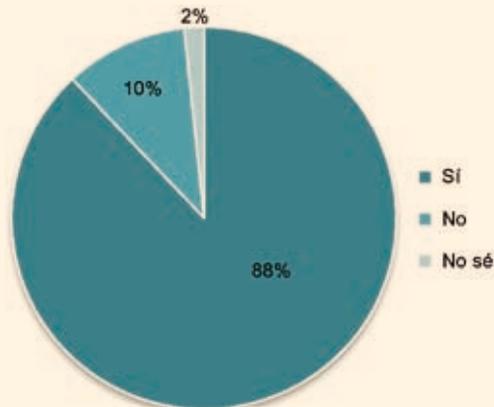


La importancia de etiquetar los bienes y servicios “nano” es del orden del 92% en el grupo 2, teniendo como principal motivación la de la necesidad de informar al consumidor para que tome sus propias decisiones. De notarse es que algunas respuestas en la Escuela Nacional de Trabajo Social, aludieron a la poca importancia del etiquetado dado que consideraron que “la gente no lo leerá, ya que sólo les importaría el precio, no la información sobre el contenido o modo de producción del producto”. En ninguna de las demás facultades se encontraron señalamientos alusivos a tal perspectiva. Por el contrario, el consenso casi total de ambos grupos es por la apuesta al etiquetado de productos nano.

Por último, para el 88% de los encuestados del grupo 2 es importante la regulación de la nanociencia y los productos nanotecnológicos, siendo la opinión generalizada que, de haber un control legal, podrían prevenirse aspectos riesgosos de los productos, incluyendo los importados; se obligaría a cumplir estándares de calidad; y se controlarían los productos “pirata”.

También, al igual que algunos encuestados del grupo 1, en el grupo 2 hubo opiniones que subrayaban la necesidad de promover y favorecer el mercado nacional mexicano frente a productos extranjeros que pudieran ocasionar desventajas para México en términos principalmente económicos.

¿Crees necesario regular las importaciones de productos nanotecnológicos?



REFLEXIONES FINALES

Los datos arrojados por la encuesta conciden con algunos indicadores generados en otras latitudes, como los del EuroBarómetro de 2006 (Gaskell *et al.*, 2006) que ofrecen un balance de la percepción en torno a la biotecnología y la nanotecnología en Europa. Asimismo, coincide con las percepciones identificadas en 2010 en las investigaciones del Parlamento del Reino Unido (House of Lords, 2010) en el sentido de que la mayor desconfianza existente en el público de ese país es alrededor del uso de la nanotecnología en productos de contacto directo como los alimentos, siendo de mayor aceptación las aplicaciones medioambientales.

De notarse es que, en efecto, el universo encuestado tiene un sesgo importante: se trata de población con un nivel educativo y de acceso a la información mucho más elevado que el grueso de la población nacional, misma que 8.4% es analfabeta; 14.4% no cuenta con educación primaria y 21.2% no tiene acceso a la educación secundaria. Así, considerando los datos anteriores, es claro que existe mucho por hacer en materia de educación, desarrollo científico y tecnológico, incluyendo, por supuesto, no sólo apoyo, estímulos y regulaciones gubernamentales de mediano y largo plazo, sino también actividades de divulgación, periodismo científico y diálogo social abierto, constructivo, informado e interdisciplinario. Se trata de un ejercicio en el que será necesario ir afinando conceptos para la comunicación adecuada entre los diversos actores, desde los más básicos sobre qué se entiende por ciencia y tecnología o tecnociencia; pasando por cómo se evalúan y se definen las prioridades nacionales, hasta qué se asume cuando se habla de riesgos, peligros, incertidumbre y regulación. Esto y más está por supuesto abierto a discusión, definición, análisis y aterrizaje concreto en políticas públicas y otro tipo de medidas y acciones que se consideren útiles y adecuadas en tanto la realidad específica de cada país.

AGRADECIMIENTOS:

Especial agradecimiento por su apoyo en la aplicación de encuestas, vaciado y organización de datos a los siguientes estudiantes de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM: José Manuel Mata Méndez, Maritza Islas Vargas, Liliana Morán Rodríguez, Carolina Bustamante Cruz, Patricia Marisol Rentería Juárez, Valentina Sarmiento Cruz, Sara Susana del Real Pérez, Leslie Cristina Campos Chávez, Emiliano Castillo Jara y Diana Lilia Trevilla Espinal.

BIBLIOGRAFÍA

- Funtowicz, Silvio y Strand, Roger (2007). "De la demostración experta al diálogo participativo". *Revista CTS*, España, abril, no. 8, vol. 3: 77-113.
- Galison, Peter (ed.) (1992). *Big science. The growth of large scale research*. Stanford University Press, Stanford.
- Gaskell, George *et al.* (2006). *Europeans and biotechnology in 2005: Patterns and trends*. Eurobarometer 64.3. Comisión Europea. Disponible en: <http://ec.europa.eu/research/press/2006/pdf/pr1906_eb_64_3_final_report-may2006_en.pdf>.
- Gibbons *et al.* (1997). *La nueva producción del conocimiento*. Barcelona: Pomares-Corredor. España.
- House of Lords (2010). *Nanotechnologies and food. Vol. 1: Report*. The Stationery Office Limited. Londres, Reino Unido. Enero. Disponible en: <www.publications.parliament.uk/pa/ld200910/ldselect/ldsctech/22/22i.pdf>.
- Kuhn, Thomas (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Melman, Seymour (1972). *Capitalismo de Pentágono. La economía política de la guerra*. México: Siglo XXI.
- Ravetz R. Jerome (1971). *Scientific Knowledge and its Social Problems*. Nueva York: Oxford University Press,.
- Ravetz, Jerome y Silvio Funtowicz (2000). *La ciencia posnormal. Ciencia con la gente*. Barcelona: Icaria.
- Ravetz, Jerome y Silvio Funtowicz (1990) *Uncertainty and Quality in Science Policy*. Londres: Kluwer Academic.
- Royal Society and the Royal Academy of Engineering (2004). *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*. Londres, Reino Unido.
- Strand, Roger y Deborah Oughton (2009). *Risk and uncertainty as a research ethics challenge*. National Committees for Research Ethics in Norway, publicación no. 9, Noruega.
- Wynne, Brian (1992). "Uncertainty and Environmental Learning—preconceiving Science and Policy in the Preventive Paradigm". *Global Environmental Change* 2, no. 2: 111-127.

ANEXO

FORMATO DE ENCUESTA

EDAD: _____ SEXO: _____ FACULTAD: _____

CARRERA: _____

1. ¿Te consideras una persona interesada en la ciencia?

a) Sí b) No

2. ¿Por qué medio te informas de cuestiones científicas? En caso de varios medios, ordenar de forma prioritaria.

a) Revistas b) Periódicos c) *Gaceta UNAM*
d) Publicaciones electrónicas e) Televisión f) Radio
g) Otra- ¿Cuál? _____

3. ¿Sabes qué es la nanociencia y la nanotecnología?

a) Sí* b) No

*¿Qué es? _____

4. ¿Conoces, usas o has visto algún producto derivado de la nanotecnología a la venta en tiendas?

a) Sí* b) No *¿Cuál(es)? _____

*¿Dónde? _____

5. ¿Consideras que los avances de la nanotecnología son seguros para la salud y el ambiente?

a) Sí, son seguros b) No, no lo son c) No lo sé

¿Por qué? _____

6. ¿Consideras necesario regular el avance de la nanotecnología y la comercialización de los productos? ¿Por qué?

7. ¿Crees que el nivel científico y tecnológico de México es suficiente para poder innovar en nanotecnología?

a) Sí b) No

Por qué: _____

8. ¿Cuál es el grado de confianza que tendrías al utilizar productos abajo indicados en caso de que hicieran uso de la nanotecnología? Indica tu respuesta en una escala del 0 al 10 donde cero es ausencia de confianza y 10 completamente confiado.

Productos de lujo	
Textiles	
Producción de energía verde (por ejemplo, fotoceldas)	
Cosméticos	
Alimentos	
Medicamentos y drogas de uso farmacológico	
Armas	

10. ¿Crees que se deberían etiquetar los productos nanotecnológicos?

a) Sí b) No

¿Por qué? _____

11. ¿Crees necesario regular las importaciones de productos nanotecnológicos?

a) Sí* b) No

*¿Por qué? _____

ENTREVISTA

El mundo de lo pequeño desde la mirada de la paleontología. En busca de la huella química Entrevista a Francisco Riquelme*

POR LILIANA MORAN RODRÍGUEZ

¿QUÉ ES LA PALEONTOLOGÍA MOLECULAR?

La paleontología molecular es hacer las investigaciones de paleontología pero mediante análisis químicos, microscópicos y moleculares de cualquier material fósil, es decir, revisas el mundo de lo pequeño, el de las moléculas y el de las células.

¿PARA QUÉ SIRVE?

Esto se hace principalmente para ver la evolución de los ambientes, la preservación de tejidos, la reacción de las moléculas orgánicas con susstratos minerales.

También, tiene una gama muy amplia de aplicaciones, por ejemplo la, tafonomía —rama de la paleontología— estudia los procesos de fosilización y la formación de los yacimientos de fósiles. Nos dice qué ocurrió con el organismo; cómo murió, cómo se rectificó y cómo se preservó. Gracias a esto puedes hacer muchas inferencias sobre el ambiente, la biología del organismo y la evolución de ciertos grupos.

¿QUÉ ES ARQUIOMETRÍA?

En la arqueometría hacemos esencialmente lo mismo que en la paleontología molecular (análisis químicos, físicos o microscópicos), pero se trabaja material con cierto contexto arqueológico, se puede decir que más reciente. Entonces, básicamente son las mismas estrategias, como



Riquelme en el Instituto de Física de la UNAM.

de una ciencia forense: pistas, huellas químicas, microscopios potentes y una metodología rigurosa, pero con edades muy distintas que ayudan a saber qué ocurrió con ese material antiguo, determinar sus propiedades físicas y químicas para caracterizarlas, así como entender su origen.

* Francisco Riquelme, paleontólogo y profesor en la Facultad de Ciencias, es también estudiante de doctorado en ciencias biológicas en el Instituto de Geología (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sus investigaciones las dedica a la paleontología molecular y a la arqueometría.

¿Y ESTO PARA QUÉ NOS SIRVE HOY DÍA?

Pues sirve, entre otras cosas, pensando en un sentido evolutivo, para entender cómo eran los ambientes de hace millones de años y hacer una correlación de cómo evolucionaron. También ayuda a entender la biología de los organismos que ya se extinguieron, pues lo poco que sabemos de ellos es a través de esqueletos o exoesqueletos, por eso nosotros estudiamos los tejidos y sus ramamientos que están más implicados en la biología de los organismos y de esta forma podemos saber dónde vivieron los mismos.

¿CÓMO ORGANIZA SU TRABAJO?

La investigación comienza desde que te planteas una pregunta, surge una hipótesis y así sigues con los pasos del método científico hasta que llegas a la plataforma experimental. Ésta debe llevar un orden para hacer los análisis, microscópicos, químicos y moleculares.



Mesa de trabajo, microscopio y cámara de video con muestra de ámbar.

En los análisis microscópicos depende del ejemplar con el que estés trabajando, ya sea que se utilice microscopía óptica, electrónica o ambas. En el químico se requiere ser muy puntual. Es donde entran los aceleradores, que permiten mapeos multielementales químicos del material, lo que te permite caracterizarlo. Es así como saltan ciertos indicadores químicos que te pueden servir como diagnósticos para ver qué está ocurriendo. Son, por así decirlo, como marcadores que estás identificando.

¿ADEMÁS DE MICROSCOPIOS, DE QUÉ MÁS SE AYUDA?

Del acelerador Peletron porque apoya la visión para distancias y áreas muy pequeñas, por ejemplo, para explorar materiales como el ámbar. La diferencia de cualquier otro aparato es que nos da análisis cuantitativos muy precisos y mapeos elementales que ayudan a saber de qué está compuesto. En otra fase, se hacen inferencias o se interpretan los resultados, es decir, se arma el rompecabezas, se construye el modelo pero con muchas evidencias y datos duros.

En el Instituto de Física (IF) de la UNAM se encuentra el Acelerador de partículas Tandem Peletron. Se basa en fuerza electrostática tipo tándem de 3MV y es capaz de acelerar una gran variedad de iones en un amplio rango de energías. Estos iones son generalmente empleados en experimentos de física nuclear, implantación, retrodispersión de Rutherford (RBS), PIXE y otras técnicas.



Acelerador de partículas Tandem Peletrón, Instituto de Física, UNAM.



Muestra en salida del acelerador Peletrón del IF, UNAM.



Muestra de ambar.

¿QUÉ OTRA VENTAJA ENCUENTRA AL UTILIZAR EL ACELERADOR DE PARTÍCULAS EN SU TRABAJO?

Como es una sonda externa puedes meter piezas grandes. Por ejemplo, organismos dentro de un ámbar muy grande, precisamente el material que investigo. Además, gracias a que es externa, puedes manipular los organismos con tus manos, dígase, cambiar de sentido.

Y lo mejor, sin duda, es que realiza análisis composicionales no destructivos, es decir, no

destruye la muestra. Eso es muy importante, ya que hay otros análisis químicos que acaban con tu muestra, las hacen polvo y luego ya no sirven. Basta imaginar el valor que tienen los ejemplares, y más si son únicos, como para dar cuenta de la importancia de tales análisis no destructivos.

¿QUÉ VENTAJAS ENCUENTRA EN SER INTERDISCIPLINARIO?

Es muy enriquecedor porque se conoce a mucha gente de diferentes áreas. Cuando vengo al IF tengo que trabajar con físicos experimentales, cuando voy al IG tengo que trabajar con gente de geología —ciencias de la Tierra— y en mis investigaciones me topo con biólogos, paleontólogos quienes, además, cada uno en sus propias disciplinas, están especializados en diferentes ramas.

Energía solar barata, apuesta de celdas de tercera generación Entrevista a Gerko Oskam

POR LILIANA MORAN RODRÍGUEZ

DR. OSKAM, UD. SE ESPECIALIZA EN CELDAS SOLARES DE TERCERA GENERACIÓN, ¿QUÉ SIGNIFICA ESTO DE TERCERA GENERACIÓN?, ¿QUÉ ES LO NUEVO EN ESTE CASO?

Bueno, la primera generación son las celdas de silicio que todos conocemos, son los paneles que ya se instalan actualmente en los edificios. La segunda generación son celdas hechas de películas delgadas que permiten usar menos material, son, tal vez, más económicas.

La tercera generación se refiere a celdas solares realmente nuevas. Se trata de un concepto novedoso, basado en materiales de punta: los nanomateriales. Se trata de celdas que todavía están en la etapa de investigación y desarrollo, y obviamente no han llegado al mercado.

¿Y QUÉ ES ESTE NUEVO CONCEPTO?

Son celdas solares que dan electricidad, contacto y corriente, dan energía eléctrica al igual que otras celdas solares de las otras dos generaciones. El nuevo concepto en el que trabajo radica en que son celdas solares fotoelectroquímicas tipo Grätzel, en ellas se utilizan nanomateriales para desarrollar tintes sensibles, lo que tornaría a las celdas muy económicas, con la consecuente promesa de que al final darían más energía a menor costo en comparación con las celdas de primera y segunda generación.

¿MÉXICO TIENE POSIBILIDADES REALMENTE DE AVANZAR EN ESTO, DESARROLLAR ESTA TECNOLOGÍA, DEBERÍAMOS HACERLO?

Me parece que sí. Hay que trabajar en todas las opciones tecnológicas que existen porque es

muy difícil predecir cuál tecnología al final es la que va a ganar y más bien es probable que hay que aprovechar de todas las opciones y tecnologías que se pueden generar para avanzar en el terreno de energía solar. Por tanto, yo creo que es muy importante trabajar en el terreno de las nuevas tecnologías aunque en este momento no es seguro si va a dar un producto final.

¿TAMBIÉN TRABAJA EN EL ÁREA DE LA PRODUCCIÓN, SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL?

Sí, las celdas solares son realmente sencillas, utilizan óxido de metales, nanopartículas, óxidos de metales, normalmente dióxido de titanio, otra vez óxido de zinc, también y nuevamente se sintetiza el material, luego se forma una pasta que es como muy dura, se aplica en sustrato una capa porosa de nanomaterial y entonces, en el laboratorio, sintetizamos los nanomateriales, pero también hacemos las celdas, es en esa etapa del proceso donde depositamos las capas y luego el nanomaterial; de hecho, éste no absorbe la luz solar, por lo cual hay que impregnarlo de una molécula con la capacidad de sí captar bien la luz visible: un tinte, un colorante. El aspecto nano del



Fotocelda orgánica de bajo costo de Konarka.

* Gerko Oskam es investigador del Cinvestav Mérida del Departamento de física aplicada. Se especializa en celdas solares de tercera generación, esto es, en celdas solares foto-electroquímicas basadas en nanomateriales.

material tiene un área superficial muy grande, eso permite absorber mucho material del colorante lo cual, a su vez, posibilita absorber mucha luz solar lo que da como resultado una eficiencia buena de conversión de luz.

¿CABRÍA LA POSIBILIDAD DE PENSAR EN QUE ESTA NUEVA GENERACIÓN, ESTA TERCERA GENERACIÓN, PODRÍA INCREMENTAR EL PORCENTAJE DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA?

Probablemente la eficiencia no será tan alta como en las celdas clásicas pero los costos de los mate-

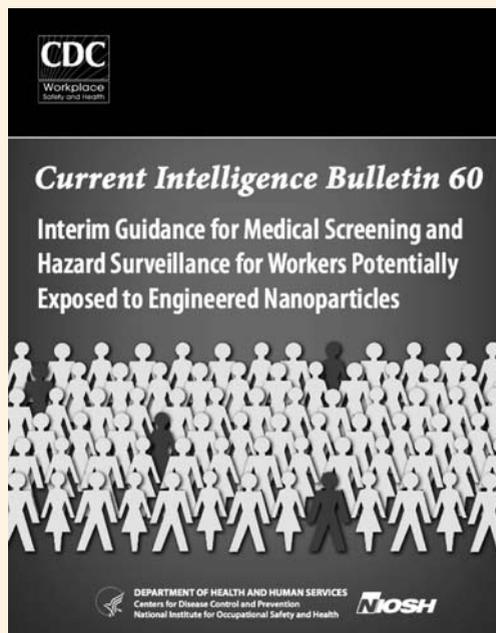
riales y el costo de la fabricación de las celdas sería mucho más bajo, entonces no hay necesidad de fundir material a 1200°, no hay necesidad de utilizar en reparación, en sistemas de vacío, todo se hace realmente a temperaturas muy normales y moderadas y en condiciones cambiantes normales. El proceso de fabricación y los costos de materiales base es lo que hace prometedora la tecnología porque son costos muy bajos. Así se espera.

LIBROS E INFORMES

INTERIM GUIDANCE FOR MEDICAL SCREENING AND HAZARD SURVAILLANCE FOR WORKERS POTENTIALLY EXPOSED TO ENGINEERED NANOPARTICLES. *CURRENT INTELLIGENCE BULLETIN.* DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS. NIOSH. EUA. FEBRERO, 2009

Boletín del Instituto de Salud y Seguridad Ocupacional de EUA (NIOSH), donde se aborda la interrogante sobre si la exposición a nanopartículas diseñadas implica un riesgo a la salud ocupacional. Según se advierte, hasta el momento no se conocen completamente cómo tales nanopartículas entran al cuerpo, si viajan dentro de éste y qué tipo de efectos pudieran tener sobre los sistemas del cuerpo. En tal sentido el NIOSH sugiere una postura prudente en términos de precaución de tal suerte que se tomen medidas que reduzcan las exposiciones a nanomateriales en los espacios de trabajo al tiempo que se evalúan los potenciales riesgos y se valora la necesidad de proveer revisiones médicas periódicas a los trabajadores.

El texto aborda los efectos a la exposición de partículas ultrafinas y los de nanopartículas diseñadas. Revisa la necesidad de un monitoreo médico y de esquemas de manejo del riesgo y vigilancia de peligros reconocidos como parte de un protocolo amplio de vigilancia de la salud ocupacional. Concluye con recomendaciones puntuales como la toma de medidas prudentes a exposiciones ocupacionales de nanomateriales, vigilancia e implementación de controles y monitoreo médico.



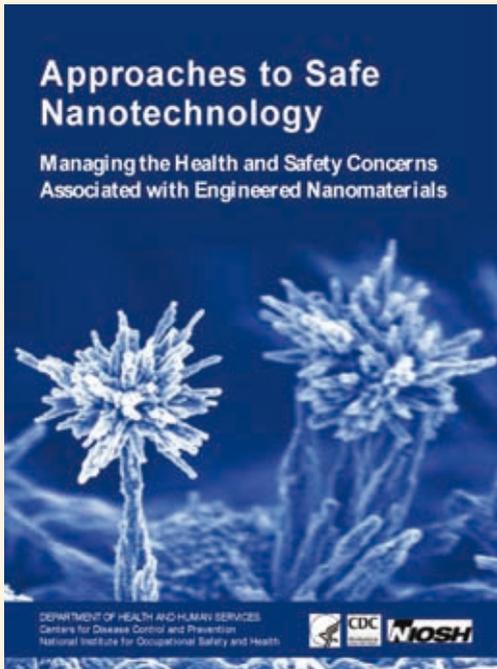
§

Disponible en:
<http://www.cdc.gov/niosh/review/public/115/PDFs/DRAFTCIBExpEngNano.pdf>.

APPROACHES TO SAFE NANOTECHNOLOGY. MANAGING THE HEALTH AND SAFETY CONCERN ASSOCIATED WITH ENGINEERED NANOMATERIALS.

DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS. NIOSH. EUA.

MARZO, 2009



De cara a la rápida expansión de la nanotecnología y los productos que hacen uso de ella, con un mercado estimado en los próximos años de 1 billón de dólares con más de 2 millones de trabajadores involucrados en el sector, el NIOSH reconoce los retos que esto implica en términos de la investigación necesaria para entender, predecir y manejar potenciales riesgos a la seguridad y salud de los trabajadores. El texto es resultado de una discusión con expertos, cuatro años atrás de la publicación de este informe final. Indaga en las potenciales implicaciones a la salud y la seguridad, el significado de trabajar con nanomateriales tanto en términos de su forma, estado, concentración y tipo de manipulación y condiciones de espacios de trabajo. Asimismo, da cuenta de la necesidad de impulsar mecanismos de evaluación de posibles escenarios de exposición y de su caracterización, de la toma de medidas precautorias y el monitoreo de la salud ocupacional.

§

Disponible en :
www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/pdfs/2009-125.pdf

SECURING THE PROMISE OF NANOTECHNOLOGIES. TOWARDS TRANSATLANTIC REGULATORY COOPERATION.

BREGGIN, LINDA; FALKER, ROBERT; JASPERS, NICO; PENDERGRASS JOHN Y PORTER, READ.

CHATHAM HOUSE. ROYAL INSTITUTE OF INTERNATIONAL AFFAIRS.

LONDRES, REINO UNIDO.

SEPTIEMBRE, 2009

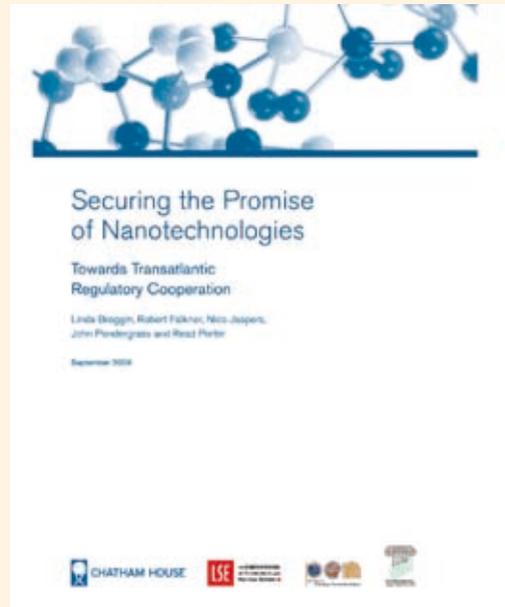
Informe que indaga la amplia agenda de regulación de las nanotecnologías. Ofrece una descripción introductoria de las nanociencias, nanotecnologías y materiales, las diferentes generaciones de nanotecnologías y las dimensiones económicas. Aborda las implicaciones y riesgos relativos a la seguridad, la salud y el medio ambiente, y los aspectos clave de regulación y retos. Revisa las incertidumbres del cambio tecnológico, tanto en términos de rutas de comercialización, de riesgos, marcos regulatorios y de fuentes científicas y cuestiones de propiedad.

Se presenta una breve revisión de los marcos regulatorios, su composición y funcionamiento, de EUA y Europa. En particular se precisa el caso de la regulación de químicos, alimentos y cosméticos. Se concluye con una propuesta de promoción de cooperación internacional y de convergencia en la regulación de nanomateriales.

§

Disponible en:

www.chathamhouse.org.uk/publications/papers/download/-/id/773/file/14692_r0909_nanotechnologies.pdf.



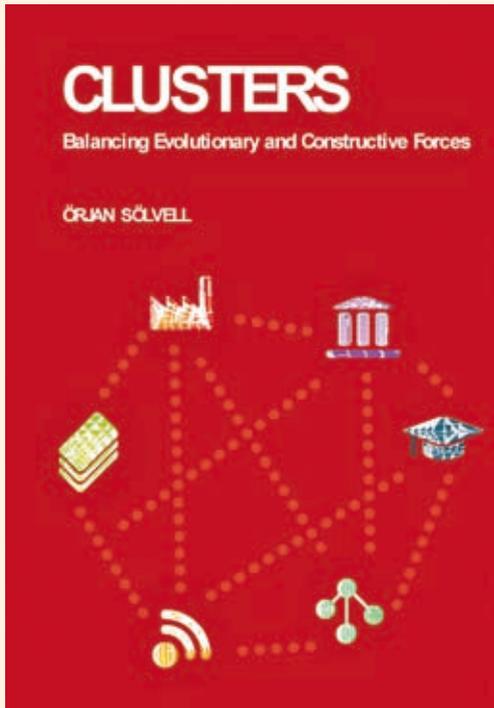
CLUSTERS. BALANCING EVOLUTIONARY AND CONSTRUCTIVE FORCES

SÖLVELL, ÖRJAN.

IVORY TOWER PUBLISHERS.

ESTOCOLMO, SUECIA.

2008



Considerando la conformación de parques tecnológicos y clusters tecno-industriales como parte central del Programa Especial de Ciencia y Tecnología del actual gobierno de México, resulta útil conocer la concepción, implementación, evolución y estado actual de los clusters en la arena internacional. Sölvell es tal vez uno de los principales proponentes y estudiosos de la temática.

El libro ofrece resultados de investigación de varios años por parte del autor en diversos clusters, mapeando datos estadísticos, iniciativas y políticas regulatorias. Para el autor, los clusters son importantes para la promoción de la innovación, además de que evolucionan en el tiempo y en el espacio, desarrollando sinergias y fortalezas que configuran rasgos propios a cada caso. La primera parte del libro trata sobre el desarrollo de los clusters, las condiciones de aglomeración, actores clave, y del dinamismo y competitividad de los mismos. La segunda sobre su construcción y reconstrucción, especialmente en lo relacionado con política, programas, iniciativas y evaluación de experiencias. El texto ofrece diversos ejemplos tanto de Europa como de Estados Unidos.

§

Disponible en:

www.arr.cz/userfiles/file/Cluster_Red_Book.pdf

EL PEQUEÑO E INCREÍBLE NANOMUNDO
TAKEUCHI, NOBORU Y ROMO, MARISOL
NANOUNAM-CNUN, UNAM-CANAL 40 -FUNDACIÓN TV AZTECA.
MÉXICO.
2010

Libro de divulgación sobre la nanociencia y la nanotecnología para niños. Explica los principios básicos de la materia a escala nanométrica, sus características y potencialidades.



FOTOS PREMIADAS EN NANOMEX 2010*

▼ 1er Lugar

Nanodonas

Autor: Alejandro Lozano

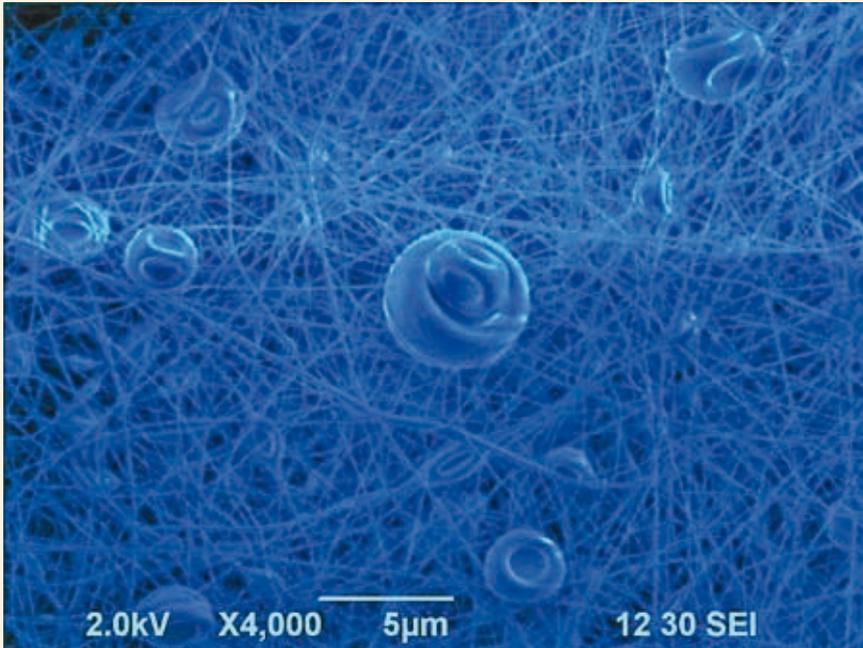


FOTO DE NANOFIBRAS Y NANODONAS DE TiO_2 .
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE TRANSMISIÓN.

* **EN ESTA OCASIÓN:** EN EL MARCO DEL TERCER ENCUENTRO INTERNACIONAL E INTERDISCIPLINARIO EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA, CELEBRADO EL 18 Y 19 DE NOVIEMBRE DE 2010 EN CUERNAVACA, MORELOS, SE PREMIARON LAS MEJORES FOTOGRAFÍAS DE NANOPROCESOS, NANOMATERIALES O NANOOBJETOS, E INCLUSO DE NANOARTE. LAS FOTOGRAFÍAS QUE AQUÍ SE PRESENTAN CORRESPONDEN AL PRIMER LUGAR, DECLARÁNDOSE DESIERTOS EL SEGUNDO Y TERCER LUGARES.

AVISO IMPORTANTE: HACEMOS UNA EXTENSA INVITACIÓN A PARTICIPAR EN ESTA SECCIÓN, ENVIÁNDONOS SUS IMÁGENES CON UNA BREVE EXPLICACIÓN DE LA MISMA. SE ACEPTAN COLABORACIONES TODO EL AÑO.

▼ 1er lugar

Nanoflor

Autor: Alejandro Lozano



NANOFLOWER DE ÓXIDO DE TITANIO, FORMADA
POR TUBOS QUE SE APRECIAN COMO RAMITAS.

INSTRUCTIVO PARA AUTORES

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

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

CARTAS DE LOS LECTORES

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

NOTICIAS

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

ARTÍCULOS

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

RESEÑAS DE LIBROS

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

IMÁGENES

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

MECANISMO EDITORIAL

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

▼ II LOS MANUSCRITOS CUMPLIRÁN CON LOS SIGUIENTES LINEAMIENTOS:

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

EVENTOS

▼ 30 de mayo a 1 de junio de 2011

Euro NanoForum 2011



BUDAPEST, HUNGRÍA.
WWW.EURONANOFORUM2011.EU/

▼ 7 al 9 de junio de 2011

NanoMaterials 2011. Inspiring Commercial Success of Nanotechnology in Europe



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

▼ 7 al 9 de Junio de 2011.

Nanotech China



SHANGAI, CHINA
EVERBRIGHT CONVENTION & EXHIBITION CENTER
WWW.NANOTECHCHINA.ORG

▼ 28 de noviembre al 2 de diciembre de 2011

Zing Conference
Conferencia en Nanomateriales 2011



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

▼ 13 al 14 de septiembre de 2011

Nanopolímeros 2011



DÜSSELDORF, ALEMANIA

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

WWW.ISMITHERS.NET/CONFERENCES/XNAN11/NANOPOLYMERS-2011

▼ 19 al 23 de septiembre de 2011

Optics Surfaces and Interfaces 9



AKUMAL, MÉXICO.

EVENTO ENFOCADO EN LA DISCUSIÓN DE RESULTADOS, TENDENCIAS EMERGENTES Y PERSPECTIVAS EN LA CIENCIA DE ÓPTICA DE SUPERFICIES E INTERFACES, NANOPARTÍCULAS Y NANOESTRUCTURAS.

WWW.CIO.MX/OSI9/HOME.HTML

▼ 9 al 11 de noviembre de 2011

NanoMex2011



MÉRIDA, YUCATÁN. MÉXICO.

EVENTO ORGANIZADO POR NANOUNAM QUE EN SU CUARTA EDICIÓN, SE REALIZA EN ALIANZA CON EL CINVESTAV-MÉRIDA. SE ENFOCA EN PROMOVER EL DIÁLOGO INTERDISCIPLINARIO DE ALTA CALIDAD SOBRE LOS AVANCES, PROMESAS E IMPLICACIONES DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA CON EL OBJETO DE ENRIQUECER LA TOMA DE DECISIONES NACIONALES REFERENTES A LA MAXIMIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS, LA DEFINICIÓN DE RESPONSABILIDADES Y LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS INNecesarios O INDESEADOS.

WWW.CEICH.UNAM.MX/NANOMEX2011

▼ 11 al 15 de diciembre de 2011

2nd NanoToday Conference



HAWAII, EUA.

ORGANIZADO POR NANOTODAY SE CENTRA EN MATERIALES NANOESTRUCTURADOS Y DISPOSITIVOS NANO, EN PARTICULAR, EN CUESTIONES SOBRE SÍNTESIS, AUTOENSAMBLAJE, FUNCIONALIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE NANOPARTÍCULAS Y NANOMATERIALES.

WWW.NANOTODAY-CONFERENCE.COM/INDEX.ASP

▼ 13 al 19 de noviembre de 2011

11th Conferencia Internacional de Ablación Láser

COLA 2011

PLAYA DEL CARMEN, MÉXICO.

WWW.COLA11.ORG

▼ 22 de agosto al 3 de septiembre de 2011

II TALLER DE FÍSICA DE NANOESTRUCTURAS



ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO.

CENTRO DE NANOCIENCIAS Y
NANOTECNOLOGÍA-UNAM

WWW.CNYN.UNAM.MX

La Universidad Nacional Autónoma de México a través del consorcio académico nanoUNAM y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional–Unidad Mérida invitan a

nanomex'11



Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología

Romeo de Coss Gómez, Gian Carlo Delgado Ramos, Noboru Takeuchi y Rodolfo Zanella Specia (coordinadores)

9 al 11 de noviembre de 2011

Mérida, Yucatán, México



- * Obtención y caracterización de sistemas nanoestructurados
 - * Aplicaciones específicas en nanomateriales
- * Modelado de nanoestructuras y sistemas moleculares
 - * Toxicidad, ecotoxicidad y regulación
- * Cooperación internacional y nacional e industrialización
 - * Educación, divulgación y medios de comunicación en nanociencia y nanotecnología
- * Aspectos éticos, económicos, sociales y legales de la nanotecnología

www.ceiich.unam.mx/nanomex2011

Inscripciones abiertas hasta el día del evento. 30 de septiembre cierre de propuestas oral y póster.

NanoMex2011 invita al "Curso avanzado sobre nanociencia computacional" y al "V taller introductorio sobre nanociencia y nanotecnología" que se realizarán de manera simultánea el 9 de noviembre de 2011.

Sede:

Hotel Los Aluxes

Calle 60 No. 444

97000 Mérida, Yucatán., México

Tel: (999) 924 21 99

<http://www.aluxes.com.mx/>

Informes:

Mérida, Yucatán

Geonel Rodríguez Gattorno

geonelr@mda.cinvestav.mx

Tel: +52.999 9429429

México, D.F.

Gian Carlo Delgado

gjandelgado@unam.mx

Tel: +52.55.5623022 Ext 42777



