

- **Divulgación y formación en nanociencia y nanotecnología en Iberoamérica: Informe de la Red “José Roberto Leite” –NANODYF/CYTED**
- **Las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia**





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

# DIRECTORIO

## Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. José Narro Robles

*Rector*

Dr. Eduardo Bárzana García

*Secretario General*

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz

*Coordinador de la Investigación Científica*

Dra. Estela Morales Campos

*Coordinadora de Humanidades*

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)

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

#### Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow • Louis.Lemkow@uab.es

(Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental,  
Universidad Autónoma de Barcelona, España)

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

#### Ciencia, tecnología y género

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

#### Filosofía de la Ciencia

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

(Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México)

#### Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia • amoz@labcomplex.net

(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y  
Humanidades, UNAM, México)

Dr. Ricardo Mansilla Corona • mansy@servidor.unam.mx

(Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y  
Humanidades, UNAM, México)

#### Medio ambiente, ciencia y tecnología

Dra. Elena Álvarez-Buyllá • eabuylla@gmail.com

(Instituto de Ecología, UNAM, México)

#### Aspectos éticos, sociales y ambientales

#### de la nanociencia y la nanotecnología

Dra. Fern Wickson (GenØk Center for Biosafetey  
TromsØ, Noruega)

Dr. Roger Strand • roger.strand@svt.uib.no

(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,  
Universidad de Bergen, Noruega)

Dr. Paulo Martins • marpaulo@ipt.br

(Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de  
São Paulo, Brasil)

Mtra. Kamilla Kjolberg • kamilla.kjolberg@svt.uib.no

(Centro para el Estudio de las Ciencias y la Humanidades,  
Universidad de Bergen, Noruega)

#### Divulgación

Dra. Julia Tagueña Parga, CIE-UNAM (México)

Dr. Aquiles Negrete Yankelevich, CEIICH-UNAM (México)

Dr. Joaquín Tutor Sánchez, ETSI-ICAI, Universidad Pontificia  
Comillas (España)



*Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, Vol. 4, No. 2, julio-diciembre 2011, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades; el Centro de Nanociencia y Nanotecnología y el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental. Torre II de Humanidades, 4º piso, Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México, 04510, D. F. Editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos y Noboru Takeuchi Tan. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-010713303600-102, ISSN: en trámite. Licitud de Título y Contenido en trámite. Impresa por Solar, Servicios Editoriales, S. A. de C. V., Calle 2 No. 21, San Pedro de los Pinos, México, 03800, D. F. Este número se terminó de imprimir en octubre de 2011 con un tiraje de 500 ejemplares. Cuidado de la edición: Concepción Altda Casale Núñez.

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

www.mundonano.unam.mx

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

# CONTENIDO

## 4 EDITORIAL

## 5 NOTICIAS

- 5 Curso de formación de profesores en el área de nanotecnología en la comunidad de Madrid, España
- 5 Nanohíbridos en ICAI-Comillas
- 6 Exposición itinerante “Un paseo por el nanomundo” visita Navarra, Madrid y la ciudad de Varna (Bulgaria)
- 7 La nanotecnología del CSIC se comercializa en Rusia
- 7 La prensa generalista se acerca a la nanotecnología
- 8 Grafeno en el espacio
- 8 IBM construye chips cognitivos en el laboratorio Fishkill
- 9 China desarrolla tecnología para limpiar agua y generar electricidad simultáneamente
- 9 Irán confirma productos a escala nano para su comercialización
- 10 Sudáfrica y Kenia colaboran en nanotecnología
- 10 Nanotecnología en *Gaceta UNAM*

## 12 RED TEMÁTICA “JOSÉ ROBERTO LEITE” DE DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA/NANODYF-CYTE

- 12 Situación de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Iberoamérica  
Joaquín Tutor Sánchez, Pedro Serena
- 18 Situación de la difusión de la nanociencia y la nanotecnología en Argentina  
Roberto C. Salvarezza
- 22 Situação atual da divulgação e do treinamento em nanociência e nanotecnologia no Brasil  
Alexys Bruno Alfonso
- 29 La nanociencia y la nanotecnología, un desafío a potenciar en el crecimiento económico de Chile  
Ernesto Zumelzu Delgado, Antonio Zárate Aliaga
- 34 La divulgación en Colombia de la nanociencia y la nanotecnología en tiempos de cambio  
A. Camacho B., C. A. Duque, J. J. Giraldo, M. E. Guerrero
- 43 Nanotecnologías en Cuba: divulgación y formación  
Carlos Rodríguez Castellanos
- 48 La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante  
Pedro A. Serena, Joaquín D. Tutor
- 59 Divulgación y formación en nanotecnología en México  
Noboru Takeuchi, Miguel E. Mora Ramos
- 65 El reto de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Perú  
Justo Rojas Tapia, Carlos Vladimir Landuro Saenz
- 72 Formación y divulgación de la nanotecnología en Venezuela: situación y perspectiva  
Anwar Hasmy

## 83 ARTÍCULOS

- 83 El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia  
M. Carmen Sánchez-Mora y Julia Tagüeña Parga
- 103 Nanotecnología, de la divulgación que tenemos a la participación que queremos  
Paulo Roberto Martins, María Fernanda Marques Fernandes
- 121 Experiencias en micro y nano escalas para niños y jóvenes  
Darwin D. Rodríguez Pinto y Alba G. Ávila Bernal

## 129 ENTREVISTA

- 129 Microscopía para el estudio de la materia a niveles casi invisibles. Entrevista con Jesús Arenas Alatorre  
Liliana Moran Rodríguez

## 131 LIBROS E INFORMES

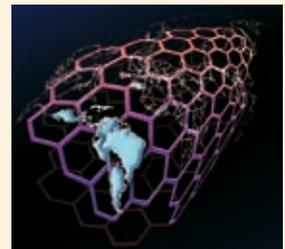
- 131 *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México.* Takeuchi, Noboru (ed.). nanoUNAM-CEIICH-CNyN, UNAM. México. 2011
- 132 *Nanomedicina, entre políticas públicas y necesidades privadas.* Simone Araldi, Gian Carlo Delgado, Mariassunta Piccinni, y Piera Poletti (eds.). nanoUNAM-CEIICH-CNyN, México. 2011
- 133 *Risk management methods & ethical, legal and societal implications of nanotechnology.* Heeter, Liesl (eds.). National Nanotechnology Initiative. EUA. 2011
- 134 *Nanotechnology. Research directions for societal needs in 2020.* Roco, Mihail, Mirkin, Chad y Hersam, Mark. Springer. EUA. 2010
- 135 *Human and environmental exposure assessment.* Heeter, Liesl (eds.). National Nanotechnology Initiative. EUA. 2011
- 136 *Survey on basic knowledge about exposure and potential environmental and health risks for selected nanomaterials.* Mikkelsen, Sonja H., Hansen, Erik.; Christensen, Trine B.; Baun, Anders; Hansen, Steffen F., Binderup, Mona-Lise. Danish Ministry of Environment. Project. No. 1370. 2011
- 137 *Reunión Conjunta FAO/OMS de Expertos acerca de la aplicación de la nanotecnología en los sectores alimentario y agropecuario: posibles consecuencias para la inocuidad de los alimentos.* OMS-FAO. Ginebra, Suiza. 2011

## 138 ANEXO-Red NANODYF-CYTE

## 166 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

## 167 EVENTOS

▼ Diseño e ilustración de la portada:  
Angeles Alegre Schettino.



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.

Es ya cada vez más claro que la nanociencia y la nanotecnología (NyN) tendrán un papel creciente en el desarrollo científico y tecnológico del siglo XXI. En la actualidad, hay ya muchos productos desarrollados a partir de ellas, y se habla de una potencial nueva revolución tecnológica. En tal sentido, los países desarrollados vienen invirtiendo decididamente desde inicios de siglo una gran cantidad de recursos, tanto materiales como humanos.

Para que esta revolución científica tome curso en Iberoamérica, es necesario formar nuevas generaciones de científicos, tecnólogos e ingenieros. Ello no solamente significa crear programas de licenciatura, maestría y doctorado específicamente sobre NyN, sino también introducir a los estudiantes en estas áreas, iniciando desde la educación básica y media.

En el mismo tenor, es necesario considerar de interés público la vinculación de los conocimientos sobre nanociencia y nanotecnología con la sociedad en general, para que ésta reconozca sus ventajas, sus potenciales riesgos, y con ello tenga más elementos para tomar sus decisiones. Esto es aún más importante en el caso de la clase política y dirigente, pues sus resoluciones nos afectan a todos.

Considerando lo expuesto, este número se enfoca a la difusión y formación de la nanotecnología en Iberoamérica, actividad nodal para el impulso informado y responsable del avance tecnocientífico. En esta entrega, se busca ofrecer una mirada panorámica de las diversas acciones y proyectos realizados o en curso en distintos países de la región. Para ello, se cuenta con una sección especial que se ha preparado en colaboración con la Red Temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF, perteneciente al Área 6 de Ciencia y Sociedad del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED. Asimismo, se incluyen tres artículos referentes

a experiencias en Brasil, Colombia y México. El primero expone un recuento crítico del panorama de divulgación y participación pública en actividades de información, aprendizaje y debate sobre nanociencia y nanotecnología impulsados por la Red de Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente de Brasil. El segundo presenta la experiencia de enseñanza por parte del Sistema Nacional de Aprendizaje de Colombia en materia de nanociencias y nanotecnología, a partir del lanzamiento de un laboratorio de nanotecnología, donde niñas, niños y jóvenes aprenden sobre el micro y nano mundo. El tercero hace una reflexión sobre la experiencia de divulgación de la nanociencia y la nanotecnología en el ámbito de los museos a partir de presentar la experiencia de cómo se diseñó y se recibió por el público la sala temática respectiva en el museo Universum de la UNAM.

Considerando que son diversas las perspectivas, metodologías y esquemas de implementación de acciones para la divulgación y comunicación del avance de la ciencia y la tecnología, con este número se pretende estimular la reflexión, diálogo y debate, no sólo sobre las experiencias presentadas, sino de cómo éstas y otras pudieran mejorarse de tal suerte que, efectivamente, se pueda promover el interés por el desarrollo de las ciencias y las tecnologías. Lo anterior siempre con un sentido de responsabilidad socioambiental, con contenido crítico, en tanto que es punto de partida para cambiar la dinámica unidireccional de la divulgación y la enseñanza y, sin lugar a dudas, con sentido humanístico, pues la ciencia y la tecnología –normativamente hablando– suponen su desarrollo como plataforma para mejorar las condiciones de vida de la sociedad. Cada frente tecnológico renueva este interés y lo convierte, sin duda alguna, en un reto que debería ser asumido de manera interdisciplinaria. La nanociencia y la nanotecnología no son la excepción.

▼ 3 de agosto de 2011

## Curso de formación de profesores en el área de nanotecnología en la comunidad de Madrid, España

Los avances de la nanociencia y nanotecnología hacen que los contenidos de estas áreas del conocimiento estén presentes, con las adecuadas matizaciones y adecuaciones curriculares, en los diseños curriculares de la educación primaria, de la enseñanza media, en la educación universitaria, en la formación profesional, en el reciclado de trabajadores, en la formación de consumidores, y en aquellas actividades formativas de la sociedad en general. Las enseñanzas formales cumplen seguramente el papel más importante para acercar la ciencia y tecnología a los ciudadanos.

Por esta razón, a iniciativa del Colegio Oficial de Físicos, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC) y del ETSI-ICAI de la Universidad Pontificia Comillas, y auspiciado por la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, en el mes de octubre de 2011, da inicio el curso de formación para el profesorado "Introducción a la Nanotecnología: Actualidad y Perspectivas". Este curso que se extiende del 4 de octubre hasta el 3 de noviembre del presente, pretende ofrecer una visión actualizada de la nanociencia y la nanotecnología, así como sus perspec-

tivas de desarrollo; y, además, analizar y discutir recursos didácticos sobre el qué y el cómo de la nanociencia y la nanotecnología debe incluirse en los contenidos de algunas asignaturas de ciencias y tecnología a nivel de la enseñanza secundaria (ESO) y el bachillerato. Sin descartar posibles comentarios didácticos correspondientes a otros niveles educacionales.

§

Más información en:  
[www.cofis.es](http://www.cofis.es)

▼ 3 de agosto de 2011

## Nanohíbridos en ICAI-Comillas

Desde hace varios años el Grupo de Investigación de Adhesivos Estructurales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, ETSI-ICAI, de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid, centra sus trabajos en el estudio de los adhesivos estructurales como técnica sustitutoria o complementaria de otros métodos de unión tradicionales, tales como las uniones mecánicas o la soldadura. Los trabajos se centran fundamentalmente en las uniones de adherentes metálicos, pero su campo

de investigación también se extiende a los polímeros y materiales compuestos. Es objetivo primordial de este grupo dar a conocer esta tecnología mediante la cooperación con las empresas y la formación a todos los niveles.

En los últimos años, este grupo ha incorporado a sus líneas de trabajo, la investigación de propiedades mecánicas en materiales composites basados en una matriz polimérica (EPOFER) donde se ocluyen micropartículas y nanopartículas

de materiales semiconductores y metálicos. Recientemente, el grupo comenzó a estudiar los efectos de erosión por cavitación en estos composites donde los materiales ocluidos en el EPOFER son micro y nanopartículas de carburo de silicio y carburo de boro. Los resultados erosivos de los nanohíbridos comparados con el composite cargado por micropartículas o simplemente la matriz polimérica sin carga son sorprendentes; el estudio de la pérdida de masa por erosión por cavitación

ción así como la velocidad de pérdida de masa evidencian el aumento de la dureza del nanohíbrido en comparación con las otras estructuras analizadas.

Para el grupo, es muy importante esclarecer las razones físicoquímicas por las cuales las micropartículas empeoran las propiedades mecánicas de

de la matriz polimérica, sin embargo cuando se trata de un nanohíbrido, estas propiedades mejoran de manera extraordinaria. En la actualidad, se hacen también estudios de los perfiles de rugosidad de los nanohíbridos en distintos instantes de los ensayos de cavitación para caracterizar la

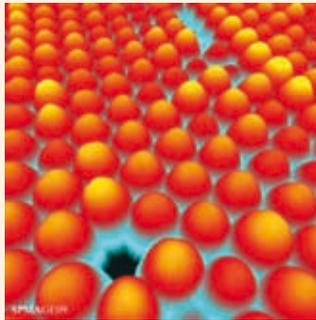
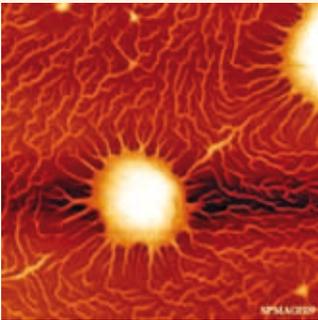
superficie de estos materiales con vista a su posible utilización como recubrimientos nanoestructurados

§

Más información en:  
[www.upcomillas.es](http://www.upcomillas.es)

## ▼ 4 de agosto de 2011

### Exposición itinerante “Un paseo por el nanomundo” visita Navarra, Madrid y la ciudad de Varna (Bulgaria)



La exposición “Un paseo por el nanomundo”, donde se muestran asombrosos paisajes de la nanoescala, organizada por el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, perteneciente al CSIC, y la Universidad Autónoma de Madrid, se exhibirá en el centro CEIN-Navarra Factori, ubicado en la localidad de Noain, desde el 15 de agosto hasta el 30 de septiembre. Posteriormente, la exposición se trasladará al espacio CIVI-

VOX de Pamplona desde el 1 de octubre al 30 de noviembre de 2011. Esta muestra recoge las mejores imágenes finalistas de las dos ediciones (2007 y 2009) del concurso SPMAGE <<http://www.icmm.csic.es/>>. A lo largo de noviembre de 2011, una réplica de la exposición será instalada en la escuela de ingeniería ICAI de la Universidad Pontificia de Comillas, en Madrid. Otra réplica de la exposición se exhibirá en la localidad

búlgara de Varna en el marco de la octava edición de la conferencia Internacional Congress «Machines, Technologies, Materials». Estas exposiciones dan continuidad al proyecto positivo que durante el primer semestre de 2011 fue mostrado en diferentes localidades españolas: el Museo de la Técnica del Ampurdán (Figueras, Gerona), la Universidad de Murcia, el evento Imaginenano de Bilbao, y el Museo Etnográfico de Castilla y León en Zamora. Una réplica fue expuesta con éxito en el Congreso Nacional de Divulgación Científica, celebrado en Medellín, del 29 de junio al 1 de julio de 2011.

§

Más información en:  
<http://www.congresodivulgacion.org/exposicion-nanociencia>

▼ 5 de agosto de 2011

### La nanotecnología del CSIC se comercializa en Rusia

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) <<http://www.csic.es>> participa por primera vez en la Feria internacional RUSNANOTECH 2011 que se celebra en Moscú (Rusia), del 26 al 28 de octubre de 2011. Esta feria internacional se ha convertido en uno de los mayores escaparates mundiales en el que se muestran las invenciones y aplicaciones de la nanotecnología. El CSIC forma parte del pabellón español que es promovido por el Instituto de Comercio Exterior (ICEX) y es coordinado por la Fundación Phantoms y la empresa Concord. El CSIC es la institución española con mayor número de patentes registra-

# nanotechnology

## Spanish National Research Council

das en diversas temáticas, destacando su enorme potencial en nanotecnología. Dicho potencial se comercializa a través de la Vicepresidencia Adjunta de Transferencia del Conocimiento, que, desde hace más de cuatro años, busca la valorización de los hallazgos de los investigadores del CSIC a través de diversos instrumentos. Entre éstos destaca la participación en ferias internacionales de gran reputación, como lo son las ferias NanoTech en Tokio, Nanotech de Taiwán, o

RusNanoTech. En esta ocasión el CSIC presenta una cartera tecnológica formada por 28 patentes en el ámbito de la nanotecnología y de los materiales avanzados, con aplicaciones en tecnologías de las comunicaciones y de la información, medicina y salud, medioambiente, alimentación y energía.

§

Más información en:

<http://www.rusnanoforum.ru>

▼ 15 de agosto de 2011

### La prensa generalista se acerca a la nanotecnología

El diario *El Mundo*, uno de los periódicos con mayor difusión en la prensa española, participa en un proyecto europeo dedicado a la divulgación de la ciencia en general y de la nanotecnología en particular. Dicha participación se hace efectiva mediante una sección semanal fija en la página WEB del periódico en la que se muestran noticias y opiniones sobre los últimos avances de nanotec-

nología. Ésta es la primera vez que un diario generalista dedica un espacio a las noticias sobre nanotecnología de una manera continuada. La investigadora del CSIC, Mónica Luna, perteneciente al Instituto de Microelectrónica de Madrid, es la responsable de los contenidos de esta sección y escribe una interesante columna semanalmente. Esta iniciativa es parte del ambicioso proyecto

Nano Channels, financiado por la Unión Europea, cuya finalidad es acercar la nanotecnología a los ciudadanos ayudando a establecer un debate razonado sobre las ventajas y riesgos de esta rama emergente de la ciencia.

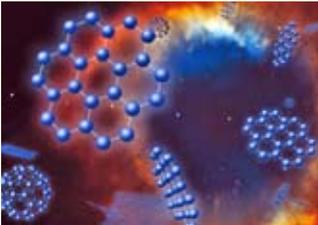
§

Más información en:

<http://www.elmundo.es/elmundo/nanotecnologia.html>

▼ 16 de agosto de 2011

### Grafeno en el espacio



El telescopio infrarrojo espacial Spitzer de la NASA ha identificado la presencia de grafeno en dos galaxias pequeñas fuera de la nuestra. Aunque no son conclusivos los resultados, la NASA confirmó que podría ser la primera vez que se detecta dicho material y que podría

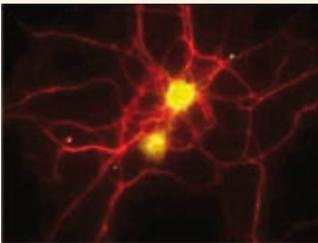
dar pistas de cómo las formas de vida basadas en el carbono, como nosotros, se desarrollaron.

§

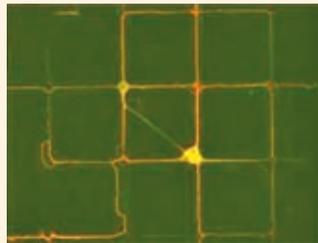
Más información en:  
[www.gizmag.com/graphene-in-space/19545/](http://www.gizmag.com/graphene-in-space/19545/)

▼ 19 de agosto de 2011

### IBM construye chips cognitivos en el laboratorio Fishkill



Investigadores de IBM han construido chips experimentales para emular la percepción, acción y cognición de cerebros. Los chips buscan reducir el consumo de energía y formar factores en computadoras cognitivas del futuro. Los primeros dos prototipos —que no



contienen elementos biológicos— fueron fabricados en 45 nanómetros de silicón sobre un insulador-complementario de un semiconductor oxido metálico. Los chips contienen 256 neuronas. Los circuitos digitales de silicón, inspirados por la neurobiología, crean un cora-

zón neurosináptico integrado a una memoria. Cada corazón contiene 262,144 sinapsis programables y también 65 mil sinapsis de aprendizaje. Ejecutan aplicaciones simples como navegación, visión de maquina, memoria asociativa, reconocimiento de patrones, clasificación, etcétera.

§

Más información en:  
[www.electroiq.com/articles/stm/2011/08/ibm-builds-cognitive-chips-at-fishkill-fab.html](http://www.electroiq.com/articles/stm/2011/08/ibm-builds-cognitive-chips-at-fishkill-fab.html)

▼ 18 de agosto de 2011

**China desarrolla tecnología para limpiar agua y generar electricidad simultáneamente**

Un sistema de celdas de combustible, desarrollado por científicos chinos, puede generar electricidad a partir de compuestos orgánicos y limpiar el agua al mismo tiempo. Yanbiao Liu y sus colegas de la Universidad Jiao Tong, en Shangai, desa-

rollaron la mencionada celda de combustible fotocatalítica a partir de un ánodo fabricado por una serie de nanotubos de TiO<sub>2</sub>, y un cátodo de platino. La celda usa energía de la luz para degradar compuestos orgánicos presentes en las aguas re-

siduales, generando electrones que pasan a través de cátodo, que a su vez convierte la energía química en electricidad.

§

Más información en:  
[www.rsc.org](http://www.rsc.org)

▼ 20 de agosto de 2011

**Irán confirma productos a escala nano para su comercialización**

En el marco del Corredor de Tecnología al Mercado de Servicios, una sección establecida por el Consejo de la Iniciativa de Nanotecnología iraní ha analizado 184 productos con el objeto de confirmar su carácter nano. Cuarenta y nueve han sido corroborados como productos que hacen uso de propiedades a esa escala, afirmó Qassem Jaffari. Los productos identificados recibirán el apoyo para su lanzamiento al mercado.



§

Más información en:  
<http://english.farsnews.com/newstext.php?nn=9005290091>

## ▼ 20 de agosto de 2011

### Sudáfrica y Kenia colaboran en nanotecnología

El Consejo para la Investigación Científica e Industrial de Sudáfrica colaborará con investigadores de Kenia para desarrollar

tecnologías de nanomedicina y así revolucionar el tratamiento de enfermedades como el HIV/ Sida, tuberculosis y malaria.

§

Más información en:  
[www.africasciencenews.org](http://www.africasciencenews.org)

## ▼ 4 de agosto de 2011

### Nanotecnología en *Gaceta UNAM*

#### Nanomateriales compuestos de múltiples usos industriales

##### **Arcillas combinadas con una resina poliéster son útiles para el sector médico**

Por Laura Romero

Integrantes del Instituto de Investigaciones en Materiales han elaborado un compuesto de tipo nanométrico útil para el sector médico. Además, han creado otros nanocompuestos poliméricos basados en resinas termoplásticas y termofijas –desarrollados por Octavio Manero Brito y Antonio Sánchez Solís, junto con su equipo de la mencionada entidad académica–. El estudio Nuevos Procedimientos de Fabricación de Resina Poliéster con Nanocompuestos en Sulfato de Agua –en proceso de patente– fue ganador en el Programa para el Fomento al Patentamiento y la Innovación de la Coordinación de Innovación y Desarrollo.

##### **Aplicación en botellas.**

Sánchez Solís explicó que si las partículas nanométricas se emplean en la producción de

botellas con termoplásticos, se disminuye la propagación de gases a través de sus paredes, lo que permite que el líquido contenido conserve sus propiedades por un tiempo más prolongado. Con los materiales nanoestructurados, se podrá contar con recipientes de baja permeabilidad, con una enorme ventaja: pesan alrededor de 10% menos que los de vidrio. “Sólo en el transporte se ahorran recursos considerables”, aseveró.

**Nanocompuestos.** Sánchez recordó que los materiales nanocompuestos se han usado desde hace centurias, por ejemplo, en las vasijas de cerámica en China. Fue en la década de los 70 que comenzó su estudio sistemático. Las nanoarcillas provienen de minerales que, al estar en contacto con un medio ácido, cambian su estructura de amorfa a cristalina; entonces adquieren orden y se pueden separar, exfoliar y obtener nuevas y mejores características. En este caso, se trata de la

arcilla montmorillonita, que se mezcla con la resina poliéster, líquido viscoso. Uno de los polímeros que más se emplean en recubrimientos son las resinas termofijas, como la usada por los universitarios. El doctorante Alejandro Rivera, académico del Colegio de Ciencias y Humanidades, expuso que una vez que se polimerizan, no es factible su reuso en procesos de moldeo. Se ha observado que el empleo de las nanoarcillas –las cuales contienen partículas del tamaño de la millonésima parte de un milímetro, y por ello son muy suaves al tacto, como el talco– presenta grandes ventajas sobre los materiales tradicionales. De hecho, con un gramo de esta arcilla se podría cubrir una superficie de 300 metros cuadrados; el reto es separar las capas.

**Agujas flexibles.** ¿Por qué sustituir las agujas de acero inoxidable si funcionan desde hace muchos años?, planteó Sánchez Solís. Porque su filo queda intacto después de su pri-

mer uso y en muchos países se reutilizan, desafortunadamente infectadas; en consecuencia, un número considerable de personas en el mundo enferma de gravedad. “Las agujas de acero tienen propiedades muy por encima de las requeridas”. En cambio, en las de poliéster con nanoarcillas el filo se termina después del primer uso, lo que impide su reuso. Además, al sustituir el acero el costo se reduce notablemente. “No se desperdicia un material tan caro, sino que se aprovecha otro más económico y manejable”. Los proyectos surgen no de un aspecto teórico, sino como respuesta a una necesidad industrial. “Investigamos el terreno científ-

**IMÁGENES.** Anillos para válvulas cardíacas y agujas de nanocompuestos



Imágenes: cortesía Antonio Sánchez.

fico y hemos publicado varios artículos sobre nanocompuestos, y siempre consideramos su aplicación y vínculo con la industria y la sociedad”, abundó. Las metas de publicar resultados científicos, obtener patentes y formar recursos humanos se cumplen junto con las de ge-

neración de conocimientos y empleos, finalizaron los universitarios.

§

Extractos tomados de:  
<http://www.dgcs.unam.mx/gacetaweb/historico.html>

# RED TEMÁTICA “JOSÉ ROBERTO LEITE” DE DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA/NANODYF-CYTED\*

## Situación de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Iberoamerica

JOAQUÍN TUTOR SÁNCHEZ\*\*  
PEDRO SERENA\*\*

RESUMEN: La nanotecnología no es una moda pasajera, es el paradigma que permitirá alcanzar altas cotas de desarrollo a los países capaces de incorporarlos en sus sistemas productivo y educativo. Sin embargo, ¿qué se está haciendo en el contexto de la «nanoeducación» y «nanodivulgación» en los países de Iberoamérica? ¿Cómo se están preparando nuestras sociedades ante este cambio de paradigma? ¿Tenemos estrategias bien definidas en cada uno de los países? ¿Qué podemos aprender unos de otros? En las páginas a continuación se presenta una instantánea de qué se ha hecho y qué se está haciendo en divulgación y formación en nanotecnología en Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Chile, España, México, Perú, Portugal y Venezuela, y se proponen algunas estrategias para promover estos importantes temas entre la sociedad. Estos informes nacionales se enmarcan entre los objetivos y tareas de la Red Temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, NANODYF, perteneciente al Área 6 de Ciencia y Sociedad del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED, y son el resultado de las primeras acciones devenida de la primera Reunión de Coordinación de la Red NANODYF, celebrada en Madrid, del 30 de marzo al 1 de abril del 2011.

PALABRAS CLAVE: nanociencia, nanotecnología, divulgación y formación en nanotecnología, impacto social, política científica.

ABSTRACT: Nanotechnology is not a temporary fashion, but the paradigm that will allow to reach high development levels to those countries which be able to incorporate nanotechnology into their productive and educational systems. However, what is being done in the context of “nanoeducation” and “nanodissemination” in Ibero-American countries? How do our societies face this paradigm shift? Do we have clear strategies in each country? What can we learn from each other? In the pages below it is presented a snapshot of what has been done and what is being done in dissemination and training in nanotechnology in Argentina, Brazil, Colombia, Cuba, Chile, Spain, Mexico, Peru, Portugal and Venezuela, and some strategies for promoting these important issues are presented. These national reports respond to the objectives and tasks of the Thematic Network “José Roberto Leite” of Dissemination and Training in Nanotechnology, NANODYF belonging to Area 6 of Science and Society at the Ibero-American Science and Technology for Development, CYTED and they are the result of the first actions becoming from the first Coordination Meeting of the Network NANODYF, held in Madrid, from march 30 to april 1, 2011.

KEY WORDS: nanoscience, nanotechnology, dissemination and education in nanotechnology, social impact, science and technology policy.

---

\* Los artículos que se presentan a continuación son informes nacionales que muestran los quehaceres en divulgación y formación en nanotecnología de los países pertenecientes a la Red. El anexo de esta sección está incluido, a su vez, en este número, como Anexo-NANODYF-CYTED, pp. 138-165.

\*\* Red de Divulgación y Formación en Nanotecnología –(NANODYF), CYTED.

## PRÓLOGO

La nanociencia y la nanotecnología se han constituido en auténticos pilares de la investigación científicotecnológica del siglo XXI. Desde la década de los años noventa del siglo XX, los gobiernos de los países más avanzados han puesto en marcha costosos programas para mejorar infraestructuras y formar investigadores en estas temáticas. La inversión en nanotecnología ha crecido de manera exponencial desde hace algo más de una década y los resultados no se han hecho esperar en forma de miles de publicaciones, patentes y millares de productos que ya se pueden encontrar en comercios. Sin embargo, esta explosión de conocimiento no ha hecho nada más que empezar y nos encontramos en los albores de una verdadera revolución tecnológica, que permitirá avanzar en la dirección de construir una sociedad basada en el conocimiento. Esta “nanorrevolución” afectará diversos sectores clave: nuevos materiales, salud, alimentación, energía y medioambiente, y tecnologías de la información y telecomunicaciones. Estos aspectos son tratados en el libro *Nanotechnology: Societal implications*, de Mihail C. Roco (Elsevier, 2006).

La nanotecnología representa una oportunidad que los países no deben desaprovechar para mantenerse o incorporarse al club de las sociedades avanzadas, pues de lo contrario sus sociedades se alejarán cada vez más de aquellas que basan su bienestar en el desarrollo tecnológico. Sin embargo, como ocurre con cualquier avance científicotécnico, por inocuo que parezca a primera vista, la inserción de la nanociencia y la nanotecnología en nuestro sistema de producción, en los materiales y dispositivos que nos rodean, también presenta problemas relacionados con sus posibles riesgos para la salud o el medioambiente, y la gestión de dichos riesgos. Estos aspectos han dado lugar a nuevos campos de estudio como la nanotoxicología o la nanoética, y están impulsando la creación de nuevos estándares, normas y reglamentos, en los que la nanometrología juega un papel fundamental. Es evidente que todo este fuerte impacto tecnológico, de profundas repercusiones sociales, ne-

cesita ser asimilado por una sociedad que esté capacitada para hacerlo. Los países más desarrollados se están adelantando a los acontecimientos mediante la planificación de tres tipos de actuaciones:

1. Divulgación generalista. Se trata de promover todas aquellas actividades de divulgación en las que los receptores son el público en general o segmentos concretos de la sociedad. El fin último de esta actuación es mejorar la cultura científica de los ciudadanos en relación con los temas propios de la nanotecnología.
2. Información y formación en educación primaria y secundaria. Aquí se engloban actividades dirigidas a sectores de la infancia y juventud, que con independencia de su futura vocación y realización profesional necesitan familiarizarse con el nuevo entorno científico, tecnológico y productivo.
3. Formación en la universidad. Se trata de diseñar y llevar a cabo actividades enfocadas hacia la formación de todos los profesionales que serán los verdaderos abanderados de la “nanorrevolución” y que desarrollarán su actividad tanto en el sector público como en el sector privado.

Sin duda alguna estas acciones se enfrentan a un reto gigantesco, pues prácticamente toda la sociedad es el objetivo de las mismas. Nos encontramos ante un gran espectro social (de edades, de formaciones de partida, de posibles actividades profesionales) y un gran abanico de medios de comunicación de todos estos novedosos contenidos (libros académicos y de divulgación, folletos, fichas, manuales y guías, programas de radio y televisión, exposiciones, conferencias y talleres, juegos y sistemas interactivos, y las infinitas posibilidades que proporciona internet). Por lo tanto, es muy importante saber coordinar el contenido que se desea transmitir, el destinatario del mismo, y el canal de comunicación para que la llegada de la nanotecnología a la sociedad sea fluida y efectiva. En todo este proceso, cobran especial relevancia tanto las técnicas más avanzadas de

divulgación como los procedimientos reglados de enseñanza-aprendizaje que tienen lugar en los colegios de instrucción primaria, institutos de educación secundaria y universidades. Por ello, creemos que el tema de la nanotecnología debe trascender a un proceso abierto, más general, de coexistencia de la nanodivulgación y la nanoeducación, que presente actividades en varios frentes: por un lado, a través del uso de los medios de comunicación, los museos de la ciencia, y otros sistemas de educación no formal y, por otro, a través de las asignaturas básicas de ciencias y tecnologías, así como de asignaturas especializadas en los estudios universitarios de pregrado y de posgrado.

Se pueden citar varios ejemplos sobre cómo cada país está avanzando mediante la puesta en marcha de actividades de nanoeducación (que en algunos casos son indiscernibles de las actividades de divulgación). En EEUU se ha creado el centro “US National Center for Learning and Teaching in Nanoscale Science and Engineering” (<http://www.nclt.us>); en Taiwán se hace énfasis en todos los aspectos relacionados con la formación integral de la nanotecnología a través del plan Nanotechnology Human Resource Development del Ministerio de Educación de Taiwán <[http://www.nano.edu.tw/en\\_US/](http://www.nano.edu.tw/en_US/)>; en Francia <[http://www.cite-sciences.fr/francais/ala\\_cite/expositions/nanotechnologies/](http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/nanotechnologies/)> y en Alemania <<http://www.nanotruck.de>> se han llevado a cabo grandes exposiciones itinerantes. Incluso países emergentes como Irán están apostando por la divulgación y educación de la nanotecnología a través de exposiciones, jornadas, materiales educativos, programas universitarios específicos, etc. <<http://en.nano.ir/>>.

No hace falta insistir más, la nanotecnología no es una moda pasajera, es el paradigma que permitirá altas cotas de desarrollo a los países capaces de incorporarlo en sus sistemas productivo y educativo. Sin embargo ¿qué se está haciendo en el contexto de la nanoeducación y nanodivulgación en los países de Iberoamérica?, ¿cómo se están preparando nuestras sociedades ante este cambio de paradigma?, ¿tenemos estrategias bien definidas en cada uno de los países?, ¿qué podemos aprender unos de otros?



El pasado año 2010, en la Asamblea General del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), fue aprobada la Red temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF), perteneciente al Área Temática 6 de Ciencia y Sociedad. Esta red, que en la actualidad cuenta con 14 grupos de 10 países iberoamericanos (España, Portugal, México, Cuba, Venezuela, Colombia, Perú, Brasil, Argentina y Chile), surge como un intento de responder a las preguntas que se han planteado al final de párrafo anterior. Pero no sólo eso, los objetivos generales de la Red NANODYF en la región iberoamericana son bastante ambiciosos:

- Considerar la aportación del conocimiento e investigación científica en nanotecnología a la gran masa de receptores de sus avances a través de una nanoeducación de dimensión pública.
- Analizar la interacción del conocimiento científico en nanotecnología con otros saberes y formas de conocimiento, maximizando los valores y capacidades de ésta para transformar el mundo mediante un diálogo productivo y positivo con otras formas de racionalidad y producción de conocimiento.
- Crear un marco cooperativo de trabajo que permita que en el futuro puedan surgir nuevas actividades a manera de acciones de coordinación de proyectos, nuevas redes temáticas en temas de interés para la región, o cualesquiera otras actividades relacionadas con la I+D+i una vez alcanzada y desarrollada una nanoeducación de dimensión pública.

Los grupos que se han embarcado en este ambicioso proyecto están liderados por los siguientes investigadores:

Jefe de grupo	Centro / Universidad	País
Joaquín Tutor (Coordinador de la Red)	ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas	España
Roberto Salvarezza	Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas	Argentina
Alexys Bruno Alfonso	Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista	Brasil
Ernesto Zumelzu Delgado	Universidad Austral de Chile	Chile
Antonio Zarate Aliaga	Universidad Católica del Norte	Chile
Carlos Alberto Duque Echeverri	Universidad de Antioquia	Colombia
Ángela Camacho Beltrán	Universidad de los Andes	Colombia
Carlos de Jesús Rodríguez Castellanos	Universidad de La Habana	Cuba
Pedro Amalio Serena Domingo	Consejo Superior de Investigaciones Científicas	España
Noboru Takeuchi	Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México	México
Miguel Eduardo Mora Ramoa	Universidad Autónoma del Estado de Morelos	México
Justo Rojas Tapia	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Perú
Maria de Jesus de Matos Gomes	Escola de Ciências, Universidade do Minho	Portugal
Anwar Hasmy	Red Venezolana de Nanotecnología	Venezuela

El reto es formidable pues, por experiencias conocidas, dentro de la comunidad iberoamericana existe la necesidad imperiosa de cubrir una demanda social y una carencia cognoscitiva en el ámbito de la nanotecnología. En concreto, la disponibilidad de sistemas bien estructurados de divulgación de los avances tecnológicos a escala nanométrica y su presencia en casi todos los sectores productivos y de servicios, así como de vías académicas de formación desde los primeros años escolares hasta el nivel universitario permitirá disponer de una ciudadanía que podrá convivir con productos y bienes de consumo basados en nanotecnología y despertar un espíritu crítico ante los mismos, podrá interpretar resultados tecnológicos de punta que aparecen continuamente en medios de comunicación, y permitirá mejorar las capacidades de científicos, ingenieros y técnicos del presente y del futuro. En este sentido, las actividades que se propone realizar la red NANODYF permitirán, además, impulsar la actividad de divulgación científica y didáctica de los grupos participantes, en su mayoría de

docentes e investigadores, de manera que exista una transferencia de los conocimientos de los resultados científicos y tecnológicos a las grandes masas, reduciéndose la distancia entre el mundo de la ciencia y la tecnología y sus receptores sociales. Además, los grupos participantes en NANODYF utilizarán sus conexiones académicas en sus respectivos países para ir creando un tejido que permita realizar actividades más ambiciosas y de mayor alcance en cada uno de los países y a escala regional.

Debido a las características de los resultados que se esperan alcanzar por la Red NANODYF el interés que puede suscitar al sector educacional es alto, visto como el vínculo entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. De tal modo, los resultados alcanzados por la red se dirigen básicamente a los sectores públicos y privados que tienen como objetivo la divulgación de la ciencia y la tecnología y la formación de cuadros profesionales capaces de enfrentar los retos de la nanociencia y la nanotecnología. En esta dirección y dado el elevado carácter educacional, en sentido am-

**IMAGEN 1.** I Reunión de Coordinación de la Red NANODYF, Madrid, España, 30 de marzo al 1 de abril del 2011.



**IMAGEN 2.** I Reunión de Coordinación de la Red NANODYF, Madrid, España, 30 de marzo al 1 de abril del 2011.



plio, de las acciones de NANODYF, las posibilidades de formar profesores en centros locales de los grupos participantes, así como de contribuir a la preparación de los medios masivos de difusión para la adecuada divulgación popular de la nanotecnología son elevadas. Cabe destacar que los grupos con mayor experiencia en actividades divulgativas y formativas en el campo del contenido de la Red deberán hacer un mayor esfuerzo para formar el personal necesario en aquellos grupos de menor desarrollo. Por ello, a lo largo del periodo de actividades de la Red se realizarán estancias de capacitación de los grupos de menor desarrollo en los grupos con más experiencia. Así como de especialistas de los grupos con mayor desarrollo y experiencia en los grupos de menor experiencia.

Además, esta capacitación de docentes podrá tener lugar en el marco de talleres organizados por la Red mediante la celebración de cursillos específicos y la edición de materiales didácticos adaptados a la realidad social de cada país.

Como consecuencia de todo lo anterior, y como resultado de la I Reunión de Coordinación de la Red NANODYF, celebrada entre los días 30 de marzo y 1 de abril del 2011, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI-ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas en Madrid, España, se presentan en esta edición especial de la *Revista Mundo Nano* los informes elaborados por los grupos miembros de la Red, a manera de una

primera aproximación, sobre la situación actual de la divulgación y la formación en nanotecnología. Junto con estos informes de cada país se han incluido en el Anexo (pp. 138-165, de esta misma revista) varias tablas que proporcionan información sobre la actividad que se ha llevado a cabo en los países representados en la Red NANODYF. En ellas se recogen un buen número de libros y publicaciones sobre nanotecnología, exposiciones, o programas de televisión, así como una visión preliminar de las titulaciones ofertadas por las universidades iberoamericanas en el ámbito de la nanotecnología.

Ésta es la primera vez que se tiene una visión de conjunto de las actividades que se llevan a cabo, en al menos 10 países de Iberoamérica, destinadas a insertar la nanotecnología como un elemento más de la cultura científica y de la formación académica de los ciudadanos. Aunque el número de actividades realizadas no son comparables al que podemos encontrar en otras regiones del mundo, es evidente que tienen cierta presencia y son un buen punto de partida para iniciar una tarea de “divulgación de las actividades de enseñanza y divulgación en nanotecnología”. Conocer lo realizado y por realizar en cada uno de nuestros países es fundamental para iniciar tareas de coordinación que permitan intercambiar conocimientos, optimizar los recursos existentes, y plantear proyectos más ambiciosos. Un buen número de estos recursos saldrán

a la luz gracias a una página web (<<http://www.nanodyf.org>>, actualmente en construcción) que verá la luz, en su versión definitiva, en el momento en que esté informe sea publicado. Esta incursión de la Red en internet es imprescindible para llegar a todos y cada uno de los rincones de los ciudadanos de nuestros países, cada vez más interconectados mediante redes sociales.

Esperamos que toda la información que se presenta a continuación permita dar lugar a un

momento de reflexión por parte de directivos de los organismos nacionales de ciencia y tecnología de los países iberoamericanos, directivos de centros docentes y de investigación, decisores del área empresarial y simples lectores, sobre la situación de la divulgación y la formación en nanotecnología: su actualidad y perspectivas.

*Madrid, a 20 de julio de 2011*

## Situación de la difusión de la nanociencia y la nanotecnología en Argentina

ROBERTO C. SALVAREZZA\*

Las autoridades de ciencia y técnica de Argentina comenzaron a percibir las oportunidades en NyN en el año 2003. En ese momento existían en el país sólo algunos grupos dispersos de investigadores cuyas temáticas estaban claramente en el área de NyN. En ese año, la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECyT) dependiente del Ministerio de Educación, quien estaba a cargo de promocionar y financiar las actividades de I+D en el país, decide que NyN es un área de interés para Argentina y considera a la misma como área de vacancia.<sup>1</sup> Al año siguiente, en el marco del Programa de Áreas de Vacancias se incluye en forma explícita la NyN y se convoca a la constitución de Redes a través de la Agencia Nacional de promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT). En el 2005 la ANPCyT financia con aproximadamente USD 1.000.000 las 4 Redes<sup>1</sup> de NyN presentadas en dicha convocatoria que cubren las siguientes temáticas: materiales nanoestructurados y nanosistemas, sistemas moleculares, supramoleculares e interfaces, MEMs: diseño, simulación y fabricación, y bionanoestructuras. Si bien estas Redes recién se financian en el año 2007 como resultado de los contactos realizados durante la convocatoria, comenzaron a trabajar en el año 2006. Las Redes funcionaron hasta mayo del 2011 involucrando unos 250 investigadores

y otros tantos estudiantes de doctorado, haciendo un aporte importante en la formación de la masa crítica en esta actividad y creando las condiciones de trabajo multidisciplinario imprescindibles para el avance de la NyN.

En el año 2005, se crea el Centro Argentino-Brasileño de Nanotecnología<sup>2</sup> con la función de apoyar las actividades de formación de recursos humanos (talleres, escuelas) entre ambos países. Ese mismo año el Ministerio de Economía crea la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN)<sup>3</sup> con el fin de fomentar, financiar y difundir actividades en las nano/microtecnologías, particularmente en el sector productivo. En el año 2007 la SECyT desaparece y se crea el Ministerio de Ciencia y Técnica e Innovación Productiva (MINCyT).<sup>4</sup> El MINCyT continúa con la política iniciada por la anterior Secretaría y considera a NyN como prioritaria para el país junto con TICS y biotecnología. Ese mismo año la FAN pasa a la esfera del MINCyT. Un año después se crea el Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN)<sup>5</sup> constituido por el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE UBA-CONICET), el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA, UNLP-CONICET), el Centro Atómico Bariloche (CAB-CNEA) y el Cen-

\* Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA). <robsalva@inifta.unlp.edu.ar>; Sitio web: <http://nano.quimica.unlp.edu.ar/>. Miembro de la Red NANODYF.

<sup>1</sup> El concepto de áreas de vacancia está asociado a la necesidad de producción y consolidación de conocimiento en áreas temáticas o geográficas estratégicas tanto para el fortalecimiento científico disciplinario, como para el desarrollo económico, social y productivo del país. N. del E. Tomada de: Convocatoria PAV 2004, consultado en línea: <http://www.agencia.minct.gov.ar/convocatorias/documentosconvocatorias/pav2004\_informe.pdf>.

<sup>2</sup> <cabnn.mincyt.gov.ar>.

<sup>3</sup> <http://www.fan.org.ar/>.

<sup>4</sup> <http://www.mincyt.gov.ar/>.

<sup>5</sup> <http://cinn.df.uba.ar/?page\_id=19>.

tro Atómico Constituyente (CAC-CNEA) a partir de un proyecto de áreas estratégicas del MINCYT involucrando alrededor de 80 investigadores. En este proyecto se realizó una cuantiosa inversión en equipamiento, infraestructura y formación de recursos humanos a través de distintos programas del MINCYT. Posteriormente, en el año 2010, se convocan los Proyectos de Fondos Sectoriales (USD 13.000.000) para el área de nanotecnología por parte del FONARSEC (FSNano2010, MINCYT) aprobándose 8 proyectos que involucran instituciones de I+D empresas del país.<sup>6</sup> Estos proyectos tienen como objetivo desarrollar capacidades críticas en áreas de alto impacto potencial y transferencia permanente al sector productivo. En 2011 el MINCYT y la Comunidad Europea acuerdan un proyecto en el marco del programa de fortalecimiento del empleo de las pequeñas y medianas empresas en el área de nanotecnología por un monto de 16.000.000 euros.

Es difícil calcular la inversión total en NyN realizada por Argentina en estos últimos 5 años pero podría estimarse en alrededor de U\$A 50.000.000.

Las instituciones argentinas que figuran entre las veinticinco más productivas de Iberoamérica en generar conocimiento en NyN son cuatro: el CONICET, donde se articulan la mayor parte de las relaciones dentro de la red de investigación de Argentina, la Universidad del Buenos Aires (UBA), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Entre los centros e institutos que dependen de estas instituciones cabe mencionar el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE, UBA-CONICET), el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA, UNLP-CONICET), el recientemente creado Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (INN, CNEA), los cuales integran investigadores del Centro Atómico Ba-

riloche y Centro Atómico Constituyente.<sup>7</sup> Estos centros concentran una buena parte de la producción científica en NyN, aunque cabe mencionar también, entre otros, al Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA, UNMDP-CONICET), al Instituto de Investigaciones en Físicoquímica de Córdoba (INFIQC, UNC-CONICET), y al Centro de Investigaciones en Química Biológica (CIQUIBIC, UNC-CONICET). En la actualidad, en mayor o menor medida, hay cerca de 20 instituciones trabajando en esta área. Las temáticas abordadas en Argentina no difieren de las que se desarrollan a nivel iberoamericano y a nivel mundial. El lector interesado en el tema puede consultar distintos informes especializados sobre temáticas y producción científica por centros e instituciones en NyN en Argentina<sup>8</sup> y en Iberoamérica.<sup>9</sup>

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

El primer antecedente de difusión en NyN en niveles externos al mundo académico corresponde al Centro Argentino Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN), el cual convocó en el año 2005, a una primera reunión en la Bolsa de Comercio de Buenos Aires con asistencia de delegaciones de ambos países<sup>10</sup> aunque con poca repercusión en el empresariado. En el año 2007, la FAN organiza el Primer Encuentro NANO MERCOSUR, en Buenos Aires, exposición de las actividades de NyN que realizan empresas e instituciones de I+D de Argentina y el MERCOSUR, paneles de discusión sobre distintos aspectos de interés, el cual recibió una buena acogida por parte del público en general y del mundo académico en particular.<sup>11</sup> Este evento se realizó con éxito una vez más en Buenos Aires, en el 2009,<sup>12</sup> y se realizará en su tercera edición este

<sup>6</sup> <[http://www.mincyt.gov.ar/noticias/noticias\\_detalle.php?id\\_noticia=151](http://www.mincyt.gov.ar/noticias/noticias_detalle.php?id_noticia=151)>.

<sup>7</sup> <[www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos](http://www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos)>; <<http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55>>.

<sup>8</sup> <[www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos](http://www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos)>.

<sup>9</sup> <<http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55>>.

<sup>10</sup> <<http://cabnn.mincyt.gov.ar/desarrollo.html>>.

<sup>11</sup> <[http://www2.mecon.gov.ar/fan/nano2007/encuentro\\_nano2007.htm](http://www2.mecon.gov.ar/fan/nano2007/encuentro_nano2007.htm)>.

<sup>12</sup> <<http://encuentronano.fan.org.ar/>>.

año 2011.<sup>13</sup> Las actividades del Encuentro incluirán una Feria de Empresas e Instituciones de I+D con capacidades y proyectos innovadores, además de un Seminario Internacional con temas clave para el desarrollo de estas tecnologías organizado en paneles que presentarán casos exitosos en transferencia de tecnología en micro y nano presentados por expertos nacionales e internacionales, consorcios academia-empresa promovidos por FSNano 2010, foros de oferta de nanotecnología para la industria proyectos «Pre-Semilla» de la FAN en curso proyectos NANOPYME para la competitividad y empleo en la pymes argentinas mediante la nanotecnología en el marco del programa de cooperación con la Unión Europea.

Durante el periodo 2007-2011, se observa un paulatino incremento del interés de los medios de difusión en NyN, apareciendo numerosas notas periodísticas en los principales periódicos nacionales y también en medios de localidades del interior del país. También se realizan emisiones televisivas cubriendo temas de NyN particularmente a través de los canales de la televisión pública (TV canal 7, ciclo Científicos Industria Argentina) y del Ministerio de Educación (Canal Encuentro) y entrevistas radiales. Las mismas acompañan la creciente actividad en NyN tal como los Encuentros Nano Mercosur de la FAN, los encuentros científicos realizados periódicamente en el Centro Atómico Bariloche, o la creación del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (2008). En el 2009, aparecen libros de nivel universitario: *Nanotecnología. El desafío del siglo XXI* (publicado por Eudeba)<sup>14</sup> y de difusión: *Quién es quién en NyN en Argentina* (publicado por la FAN),<sup>15</sup> así como de prospección.<sup>16</sup> La FAN, además de actuar financiando proyectos con el sector productivo, lleva a cabo una intensa tarea de difusión y vinculación con los sectores productivos a partir de visitas a las cámaras empresariales de distintos puntos del país donde se exponen las posibilidades de NyN en los negocios.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE ENSEÑANZA

La formación de recursos humanos a nivel posgrado está consolidada, a través de la actividad del CABNN con talleres y escuelas (30 escuelas en el periodo 2005-2011), que se realizan anualmente en ambos países, y del MINCyT quien promueve proyectos específicos (PRH 2009: PFDT y PIDRI). También a través de escuelas internacionales como las realizadas en el marco del Pan-American Advanced Studies Institute y, recientemente, las escuelas EULASUR de la Comunidad Europea. En la actualidad se llevan adelante numerosas tesis de doctorado en NyN en los distintos centros de investigación,<sup>17</sup> lo cual permitirá continuar con el crecimiento de los recursos humanos necesarios para el desarrollo de esta creciente actividad. Por el contrario, la formación de grado a nivel terciario recién está comenzando en algunas facultades de distintas universidades tales como UBA y UNLP, a través de algunos cursos de grado (en su mayoría optativos). En general, es muy difícil plantearse una titulación específica en nanotecnología cuando la demanda del sector productivo local es incipiente o nula.

A nivel primario y secundario las acciones son casi nulas. Existen algunos proyectos de extensión universitaria y de la FAN que implican la visita y ciclos de conferencias para estudiantes secundarios pero el nivel de actividad es aún muy bajo aunque con una tendencia positiva.

## CONCLUSIONES

En general puede decirse que NyN en Argentina despiertan el interés del gobierno y de los sectores académicos, recién comienza a interesar a los sectores productivos y todavía está lejos de captar la atención de la sociedad a pesar de las actividades de difusión realizadas.

<sup>13</sup> <<http://encuentronano.fan.org.ar/info.htm>>.

<sup>14</sup> <[http://www.uba.ar/eudeba/detalle\\_catalogo.php?id=8373](http://www.uba.ar/eudeba/detalle_catalogo.php?id=8373)>.

<sup>15</sup> <[http://www.fan.org.ar/quien\\_es\\_quien.htm](http://www.fan.org.ar/quien_es_quien.htm)>.

<sup>16</sup> <[www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos](http://www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos)>; <<http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55>>.

<sup>17</sup> <[www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos](http://www.caicyt.gov.ar/bases-de-datos)>; <<http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55>>.

## RECOMENDACIONES

Las acciones de difusión realizadas hasta el presente van en paralelo al desarrollo de N&N en Argentina. Se espera que el incremento de la actividad científica y de transferencia tecnológica vaya generando mayor difusión y recepción por parte de la sociedad.

**IMAGEN 1.** Escuelas del Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABNN). Segunda Escuela de Materiales Nanoestructurados: Caracterización mediante el empleo de luz de sincrotrón. La Plata 2010.



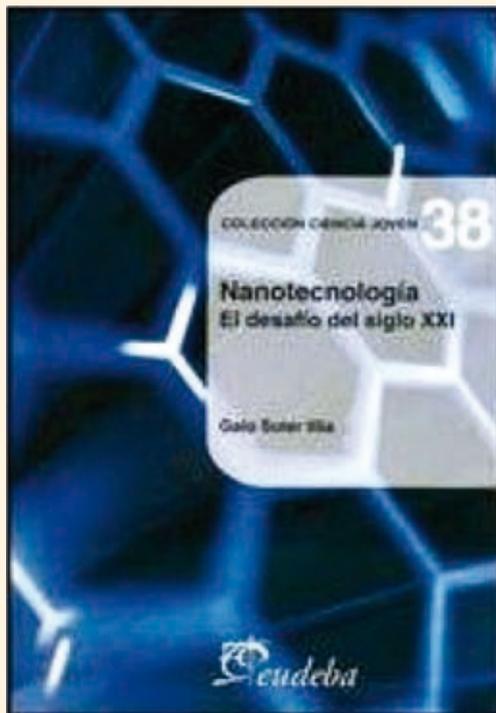
**IMAGEN 2.** Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN): Encuentro Nano MERCOSUR, Buenos Aires, 2009.



**IMAGEN 3.** Nanotecnología en la TV pública: Científicos Industria Argentina, Canal 7.



**IMAGEN 4.** Portada del libro *Nanotecnología. El desafío del siglo XXI*, de Galo Soler Illia. Argentina: Eudeba.



## Situação atual da divulgação e do treinamento em nanociência e nanotecnologia no Brasil

ALEXYS BRUNO ALFONSO\*

### INTRODUÇÃO

Entendemos por nanociência a área do conhecimento sobre moléculas, estruturas supra-moleculares e materiais, de tipo inorgânico, orgânico ou misto, em que são utilizados procedimentos de visualização, fabricação, processamento e controle na escala do nanômetro. Já a nanotecnologia dedica-se ao aproveitamento das propriedades dos objetos investigados pela nanociência na produção de dispositivos de utilidade aos seres humanos. Assim, embora físicos, químicos e biólogos estudaram sistemas de dimensões nanométricas ao longo do século XX, a nanociência somente seria reconhecida após o desenvolvimento de técnicas experimentais de alta resolução espacial, tais como o microscópio de força atômica (AFM) e o microscópio de varrido por tunelamento (STM), e de ferramentas teóricas e computacionais capazes de modelar de forma detalhada e eficaz os objetos nanométricos de interesse. Por essas razões, a nanociência tomou forma apenas nas últimas duas ou três décadas. Ela alimenta e impulsiona a nanotecnologia, ao mesmo tempo que nutre-se desta. De fato, países como o Brasil investem grandes quantidades de recursos em nanociência, visando os lucros que provavelmente virão dos avanços em nanotecnologia. Por exemplo, a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) do Ministério de Ciência e Tecnologia, dedicou mais do que 630 milhões de reais (aproximadamente 370 milhões de dólares) entre 2006 e 2010, para apoiar pes-

quisa e inovação em nanotecnologia.<sup>1</sup> Os investimentos em nível nacional, no entanto, poderiam superar apreciavelmente esse valor, se fossem computados os investimentos do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e as fundações estaduais de apoio à pesquisa, tais como a FAPESP. Essas instituições contribuem auxiliando projetos de pesquisa de grande e médio porte, realizados principalmente nas Universidades.

Como parte das atividades da Rede NANODYF, os membros da mesma realizaram um levantamento sobre as atividades de divulgação e formação em nanociência e nanotecnologia desenvolvidas entre 2006 e 2010, nos dez países inicialmente representados (Espanha, Portugal, Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, México, Peru e Venezuela). Trata-se de uma tarefa árdua e cujo completamento é intrinsecamente difícil. Possíveis omissões são de responsabilidade única do autor, mas de forma alguma seriam deliberadas. Esperamos que os pesquisadores e inovadores brasileiros em nanociência e nanotecnologia sintam-se representados, de forma direta ou indireta, neste manuscrito.

No Brasil, como descrevemos a seguir, foram realizadas muitas atividades no último quinquênio por uma grande comunidade composta de pesquisadores em NC & NT, tanto renomados e quanto iniciantes. A partir desses dados e daqueles apresentados pelos representantes dos outros nove países durante a primeira reunião da Rede, ficou evidente que o Brasil é um dos membros com maior produção em Ibero-

\* Grupo Brasileiro da Rede NANODYF. Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista. Bauru, SP, Brasil. <alexys@fc.unesp.br>.

<sup>1</sup> Dados fornecidos pelo Sr. Rogério Amaury de Medeiros, Chefe do Departamento de Acompanhamento, Avaliação e Gestão da Informação - DAGI / APLA, Finep.

américa nos temas de interesse. Além disso, observou-se que parte das produções devem-se a parcerias estabelecidas com países representados na Rede, tais como a Argentina e o México. A nossa expectativa é de que o Brasil obtenha um retorno cultural, econômico e social que justifique os investimentos feitos e que contribua, através de iniciativas internas e externas tais como a Rede NANODYF, para o desenvolvimento da nossa região.

Para a realização de atividades de divulgação e formação em Nanociência e Nanotecnologia (NC & NT) que visem interesses e levem em conta especificidades da nossa região, faz-se necessário o envolvimento de recursos humanos qualificados e a criação e manutenção de instituições e organizações nacionais. Naturalmente, a grande maioria dos os institutos, faculdades e departamentos de Física, Química e Biologia nas Universidades e Instituições de Pesquisa nacionais fazem constantes contribuições em Nanociência. Dentre os Laboratórios com maior visibilidade, encontram-se:

- Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes - C2Nano (com sede no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Campinas, SP).
- LabNano: Laboratório Multiusuário de Nanociência e Nanotecnologia (com sede no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, RJ).
- Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio – LNNA (com sede na Embrapa, São Carlos, SP).
- Também há vários Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) financiados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia<sup>2</sup> (MCT):
- INCT em Nanobiofarmacêutica (com sede na Universidade Federal de Minas Gerais, MG).
- INCT em Nanobiotecnologia do Centro-Oeste e Norte (com sede na Universidade de Brasília, DF).

- INCT de NanoBioEstruturas e Simulação NanoBioMolecular (com sede na Universidade Federal do Ceará, CE).
- INCT de Ciências dos Materiais em Nanotecnologia (com sede na Universidade Estadual Paulista, SP).
- INCT de Catálise em Sistemas Moleculares Nanoestruturados (com sede na Universidade Federal de Santa Catarina, SC).
- INCT em Materiais Complexos Funcionais (com sede na Universidade Estadual de Campinas, SP)
- INCT de Sistemas Micro e Nanoeletrônicos (com sede na Universidade Estadual de Campinas, SP).
- INCT de Nanomateriais de Carbono (com sede na Universidade Federal de Minas Gerais, MG).
- INCT de Nanodispositivos Semicondutores (com sede na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ).
- INCT de Nanotecnologia para Marcadores Integrados (com sede na Universidade Federal de Pernambuco, PE).

Observa-se que, em conjunto, as atividades desses institutos demonstram o caráter interdisciplinar da nanociência e a nanotecnologia. As atividades de pesquisa e inovação nessas áreas têm sido impulsionadas também por Redes de colaboração, tais como as seguintes:

- Rede NanoCETENE
- Rede de Nanofotônica
- Rede Nacional de Nanobiotecnologia e Sistemas Nanoestruturados.
- Rede Nacional de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces.
- Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono.
- Rede Nacional de Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas.
- Rede Nacional de Microscopias de Varreduras de Sondas - Software e Hardware Abertos.

<sup>2</sup> <[http://www.cnpq.br/programas/inct/\\_apresentacao/por\\_tema.html](http://www.cnpq.br/programas/inct/_apresentacao/por_tema.html)>.

- Rede Nacional de Simulação e Modelagem de Nanoestruturas e Materiais Complexos.
- Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestruturados.
- Rede Nacional de Nanoglicobiotecnologia.
- Rede Nacional de Nanobiomagnetismo.
- Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente.
- Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia
- Centro Virtual Brasileiro-Mexicano de Nanotecnologia.
- Rede Latinoamericana de Nanotecnologia e Sociedade.
- Rede AgroNano.

Cabe ressaltar que maior parte redes nacionais recebem apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia, e que há redes de colaboração em nível de Latinoamérica. É nesse mesmo espírito de colaboração internacional que a rede NANODYF está trabalhando.

A seguir, nas seções II e III são citadas atividades brasileiras de divulgação e formação em NC & NT, respectivamente.

## DIVULGAÇÃO

As principais atividades de divulgação dos resultados das pesquisas nacionais em NC & NT são os eventos locais, regionais, nacionais e internacionais. Neles têm participado especialistas e estudantes, e sua repercussão para o grande público é maiormente indireta. Dentre esses eventos, destacamse os seguintes:

- *II Workshop em Nanociências*, Santa Maria, RS, 2007, organizado pelo Centro Universitário Franciscano – Unifra.
- *Nano 2008 – 9th International Conference on Nanostructured Materials*, Rio de Janeiro, RJ, 2008, organizado pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.
- *I Simpósio Paulista de Nanotecnologia*, Araquara, SP, 2008, Organizado pelo Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos – FAPESP.
- *Simpósio: DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA EM NANOTECNOLOGIA*, Campinas, SP, 2008, organizado pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.
- *Simpósio: NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE*, Campinas, SP, 2008, organizado pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.
- *III Workshop em Nanociências*, Santa Maria, RS, 2008, organizado pelo Centro Universitário Franciscano – Unifra.
- *Workshop: Nanotecnologias para o Nordeste*, Recife, PE, 2009, organizado pelo Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), com apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia.
- *4º Encontro da Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos e 1º Encontro do INCT de Nanomateriais de Carbono*, Niterói, RJ, 2009, apoiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa.
- *Workshop em NanoBioEstruturas e NanoBioMoléculas*, Natal, RN, 2009, apoiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa.
- *Workshop: Nanotecnologia na América do Sul: Desenvolvimento e Implicações Sociais*, Curitiba, PR, 2009, apoiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa.
- *IV Workshop em Nanociências*, Santa Maria, RS, 2009, organizado pelo Centro Universitário Franciscano – Unifra.
- *Workshop to Develop a Pan-American Nanotechnology Network (PNN) as part of the GNN*, Rio de Janeiro, RJ, 2009, organizado pela Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais.
- *Workshop on Nanoscale Science, Technology and Innovation*, Rio de Janeiro, RJ, 2010, organizado pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.
- *II Simpósio Paulista de Nanotecnologia*, Bauru, SP, 2010, organizado pelo Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos – FAPESP.
- *Graphene Brazil 2010*, Belo Horizonte, MG, 2010, organizado pelo INCT de Nanomateriais de Carbono.

- *7ª Seminário Internacional de Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, RJ, 2010, organizado pela Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente.
- *Nanoagri - International Conference on Food and Agriculture Applications of Nanotechnologies*, São Pedro, SP, 2010, Organizado pela Embrapa.
- *V Workshop em Nanociências*, Santa Maria, RS, 2011, organizado pelo Centro Universitário Franciscano – Unifra.
- *International Conference Nanoscale Materials and Devices for Energy Conversion, Storage and Biosensors*, Natal, RN, 2011, apoiado pelo Conselho Nacional de Pesquisa.
- *I Workshop de Nanotecnologia Aplicada da Amazônia*, Belém, PA, 2011, organizado pela Universidade Federal do Pará.
- *5ª Escola de Nanociência e Nanotecnologia da UFRJ*, Rio de Janeiro, RJ, 2011, organizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Vale ressaltar que também houve nesse período uma quantidade grande de eventos em áreas como Física, Química, Biologia, Ciência de Materiais, nos quais houve certamente apresentação de resultados relevantes em Nanociência e Nanotecnologia.

No período analisado, aconteceram outros eventos de impacto direto na população, dentre os quais podemos citar:

- NanoAventura, feira de ciências organizada pelo Museu Exploratório de Ciências, da Universidade Estadual de Campinas, SP. Trata-se de um evento dirigido fundamentalmente aos jovens estudantes, mas aberta à população em geral. A feira recebeu prêmio internacional.
- Nanotec Expo, Feira e Congresso Internacional de Nanotecnologia, organizada pela Empresa Promove, tendo como público alvo o setor empresarial.

O grande público também teve oportunidade de conhecer sobre nanociência e nanotecnolo-

gia através da difusão televisiva de canais abertos nacionais tais como a Rede Cultura e a Rede Globo, e o canal fechado Globo News. Além disso, com o aumento do acesso à rede de computadores no Brasil, é possível obter informações desse tipo em sites tais como [http://www.mc.unicamp.br/atividades/nano\\_aventura/](http://www.mc.unicamp.br/atividades/nano_aventura/) e <http://www.nano.ufrj.br/sobre.html>.

Como divulgação ampla e permanente em NC & NT, é muito importante destacar os artigos e livros publicados. Dentre os artigos podemos citar os seguintes:

- *Nanotecnologia: Novas Questões Éticas para o Brasil, Dimensões Legais E Sociais numa Abordagem Interdisciplinar*, por Marise Borba da Silva, Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas, v. 4, n. 46, pp. 1-17 (2003).
- *Nanotecnologia E O Meio Ambiente: Perspectivas E Riscos*, por Frank H. Quina, Química Nova, v. 27, n. 6, pp. 1028-1029 (2004).
- *O futuro da nanotecnologia no Brasil. Vinte anos não são nada?*, por Marcelo Knobel, Ciência e Cultura, v.57, n. 1, pp. 4-5 (2005)
- *O que é Nanociência e para que serve a Nanotecnologia?*, por Peter A.B. Schulz, A Física na Escola, v. 6, n. 1, pp. 58-62 (2005).
- *Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia*, por Luiz Paulo Cadioli, Luzia Dizulina Salla, Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v.1, n.1, pp. 98-105 (2006).
- *Brasil aposta na nanociência e nanotecnologia (Entrevista: Cylon Gonçalves da Silva)*, por Simone Pallone e Wanda Jorge Inovação Uniemp, v.2, n.1, pp. 6-9 (2006).
- *QUÍMICA DE (NANO)MATERIAIS*, por Aldo J. G. Zarbin, Química Nova, v. 30, n. 6, 1469-1479 (2007).
- *A NOVA CONVERGÊNCIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA*, por Esper A. Cavalheiro, Novos Estudos, v. 78, pp. 23-30 (2007).
- *O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos*, por Betina G. Zanetti-Ramos, Tânia B. Cre-

- czynski-Pasa, Revista Brasileira Farmácia, v. 89, n. 2, pp. 95-101 (2008).
- *NANOTECNOLOGIA E ENSINO DE CIÊNCIAS À LUZ DO ENFOQUE CTS: UMA VIAGEM A LILLIPUT*, por Rodrigo Siqueira Batista e outros, Revista Ciências & Ideias, v. 1, n.1, pp. 76-86 (2009).
  - *Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio*, por Suzeley Leite Abreu Silva, Marcelo Machado Viana e Nelcy Della Santina Mohallem, Química Nova na Escola, v. 31, n. 3, pp. 172-178 (2009).
  - *OS IMPACTOS DAS NANO-TECNOLOGIAS NA CADEIA DE PRODUÇÃO DA SOJA*, por Soraia de Fátima Ramos e outros, Informações Econômicas, v. 40, n. 6, pp. 42-55 (2010).
  - *Resenhas Biblio-gráficas: A ENCRUZILHADA DA NANO-TECNOLOGIA: INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E RISCOS*, por Flávia Ferreira dos Santos, Revista de Administração Contemporânea, v. 14, n. 5, pp. 983-985 (2010).
  - *ESTRATÉGIA SUPRAMOLECULAR PARA A NANOTECNOLOGIA*, por Koiti Araki, Química Nova, Vol. 30, No. 6, pp. 1484-1490 (2007).
  - *Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)*, por Maria F. M. Fernandes e Carlos A. L. Filgueiras, Química Nova, v. 31, n. 8, pp. 2205-2213 (2008).
  - *Nanotecnologia - Introdução, Preparação e Caracterização de Nanomateriais e Exemplos de Aplicação*, por Luiz Henrique Capparelli Mattoso, ARTLIBER Editora, 2006.
  - *A Encruzilhada da Nanotecnologia*, Peter Schulz, Vieira & Lent Casa Editorial, 2009.
  - *Mundo Nanométrico, O: A Dimensão do Novo Século*, por Henrique E. Toma, Oficina de Textos, 2009.
  - *Nanotecnologia para o Mercosul*, UNESCO/Brasil, Brasília: UNESCO, MBC, RECYT/MERCOSUL, CNPq, 2010.

Também merecem destaque livros de ficção científica que popularizam os temas de nanociência e nanotecnologia:

- *Nanocarbon: a Maior Fonte de Energia do Planeta nas Mãos de um Monopólio Implacável*, por ALAOR CHAVES, Editora LTC, 2007.
- *Nano*, por Rogério Marcchi, Editora Multifoco, 2010.

## FORMAÇÃO NOS TRÊS NÍVEIS DE ENSINO

- **Nível fundamental**  
Não há registro de abordagem sistemática de temas de Nanociência e Nanotecnologia.
- **Nível médio**  
Não há registro de abordagem sistemática de temas de Nanociência e Nanotecnologia. No entanto, existe produção bibliográfica que discute as potencialidades da introdução desses temas no nível médio.<sup>3</sup>
- **Nível Universitário**  
Há muitos cursos nas áreas de Física, Química e Biologia que abordam temas de NC & NT. Citamos aqui apenas os três cursos que mencionam explicitamente os termos Nanociência ou Nanotecnologia:
  - o Engenharia em Nanotecnologia, oferecido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC – Rio).

No entanto, a consulta de revistas é hábito de um pequeno setor da sociedade, que inclui docentes e estudantes universitários, e alguns empresários. Os livros publicados são meios de divulgação mais abrangentes, disponíveis nas livrarias e de leitura mais fácil. O Brasil já conta com algumas publicações desse tipo:

- *Aplicações da Física Quântica do Transistor à Nanotecnologia*, por Alaor S. Chaves, Eduardo C. Valadares, Esdras G. Alves, Editora Livraria da Física, 2005.
- *Nanotecnologia: Os Riscos da Tecnologia do Futuro*, pelo Grupo ETC, Editora L&PM Editores, 2005.

<sup>3</sup> <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0556-1.pdf>>.

- o Nanotecnologia (Licenciatura), oferecido pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- o Mestrado em Nanociências, oferecido pelo Centro Universitário Franciscano (Unifra).

## CONCLUSÕES

Os dados levantados permitem concluir que o Brasil tem produzido resultados científicos e material de divulgação apreciável em linhas de pesquisa e inovação jovens, tais como a nanociência e a nanotecnologia. Há contribuições de várias regiões do país, com destaque para a região sudeste. Além disso, parte das atividades ocorrem em colaboração com outros países. Dentre as atividades de divulgação, destaca-se a feira Nanoaventura, desenhada especialmente aos jovens estudantes e ganhadora de prêmio internacional.

Na área de formação, há cursos de ensino superior em nanociência e nanotecnologia, não há registro de abordagem sistemática desses temas nos níveis fundamental e médio de ensino. É preciso reconhecer também que a educação no Brasil, mesmo com todos os avanços conseguidos nas últimas décadas, passa por dificuldades em aspectos básicos como a infra-estrutura, a qualificação dos docentes, as condições de vida dos estudantes e sua motivação para o aprendizado. Poderia até parecer utópico, nessas condições, o ensino de Nanociência e Nanotecnologia. No entanto, na nossa apreciação, trata-se de uma necessidade cultural e econômica. Ao mesmo tempo, o sonho de muitos jovens de obter qualificação nessas áreas multiplicaria a motivação deles pelos estudos.

## RECOMENDAÇÕES

Há vários laboratórios, institutos e redes de pesquisadores dedicados a nanociência e nanotecnologia no Brasil. Seria recomendável que alguma organização coordenasse e unificasse parte das suas atividades. Ao mesmo tempo, há regiões aparentemente carentes nas atividades de interesse,

**IMAGEM 1.** Acelerador de partículas que produz radiação eletromagnética e permite a investigação de novos materiais no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. Foto disponível em <<http://www.lnls.br/ar2009/PDF/fr01.pdf>>.



**IMAGEM 2.** Microscópio Eletrônico de Transmissão de Alta Resolução (TEM-HR) de 300 KeV, com resolução pontual de 1.7 Å, dedicado ao estudo de propriedades cristalográficas e químicas de materiais nano-estruturados. Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), localizado na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. Foto disponível em <<http://www.lnls.br/ar2009/PDF/fr04.pdf>>.



**IMAGEM 3.** Sistema Nanolito, que permite fabricar objetos nanométricos mediante técnicas de litografia com feixe de elétrons baseado num Microscópio Eletrônico de Varredura (STM), no Laboratório Multiusuário de Nanociência e Nanotecnologia (LABNANO), instalado no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF/MCT), que está localizado na cidade do Rio de Janeiro. Foto disponível em <<http://portal.cbpf.br/index.php?page=Noticias.VerNoticia&id=394>>.



**IMAGEM 4.** Estudantes participando exposição “NanoAventura”, no Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas, localizada na cidade de Campinas, Estado de São Paulo. A exposição ganhou Prêmio Internacional de Melhor Projeto de Popularização da Ciência e da Tecnologia da América Latina e do Caribe. Foto disponível em <<http://www.mc.unicamp.br/novidades/artigo/282>>.



tais como o Norte e o Centro-Oeste. Quanto à divulgação, acreditamos que a comunidade de especialistas pode produzir uma quantidade maior de textos e vídeos. Na área de formação, existem cursos universitários em instituições de prestígio e espera-se que o número deles aumente. Por outro lado, as escolas de ensino fundamental e médio precisam ainda incluir noções sobre NC & NT em seus programas. Ao mesmo tempo, a experiência brasileira deve servir de exemplo e apoio ao desenvolvimento regional em NC & NT.

#### *Publicações:*

<<http://www.cbpf.br/nano/FolderNano.pdf>>.

#### *Redes:*

<<http://www.icpc-nanonet.org/content/section/5/39/>>.

#### *Sites:*

<<http://www.mc.unicamp.br/nanoaventura/>>.

## La nanociencia y la nanotecnología, un desafío a potenciar en el crecimiento económico de Chile

ERNESTO ZUMELZU DELGADO\*  
ANTONIO ZÁRATE ALIAGA\*\*

Las actividades científicas, tecnológicas y de innovación están organizadas en Chile a partir de un Consejo de Coordinación integrado por el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad <www.cnic.cl> y por un Comité de cuatro Ministerios (Educación, Hacienda, Economía y Mideplan), destacando, entre otros, dos importantes organismos ejecutores de la ciencia que se desarrolla en el país: la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICT <www.conicyt.cl> y el Programa Milenio <www.mideplan.cl>.

CONICYT promueve, financia y desarrolla dos grandes pilares: formación de capital humano avanzado e investigación basal. Por su parte, el Programa Milenio promueve y financia la creación de centros de excelencia en ciencia y tecnología a través de los Institutos y Núcleos Milenios. Ambos pertenecientes a distintas dependencias ministeriales, CONICYT del Ministerio de Educación, y Milenio recientemente traspasado al Ministerio de Economía.

CONICYT coordina distintos programas como son: el Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT), programa de investigación basal (del bicentenario del país); programas asociativos como Fondap y, programas regionales, entre otros, que son los que principalmente consideran las áreas de la nanociencia y la nanotecnología.

A su vez, el programa Milenio lo hace a través de los institutos o centros de excelencia.

Dichos programas se han visto fortalecidos en su financiamiento, desde el 2008, con fondos provenientes del royalty del cobre y préstamos del Banco Mundial.

En Chile, el aporte del PGB al desarrollo científico y tecnológico no supera el 0.4%, y una estimación de lo que se gasta en forma directa e indirecta con la nanociencia y la nanotecnología no supera los 30 millones de dólares en los últimos cinco años (tomando como base los montos asignados a los proyectos y validando con el costo aproximado de una publicación ISI en estas áreas).

Lo anterior se debe a que no existe una política en el país para el desarrollo de estas áreas científicas, y más bien la existencia de investigación de punta obedece a iniciativas de los propios investigadores chilenos con colaboración de su capital relacional internacional.

Sin embargo, debe quedar claro que muchos proyectos de investigación consideran desarrollos en nanociencia que no tienen una visibilidad específica, éstas son disciplinas asociadas principalmente a la física, química, biología molecular, bioquímica y biotecnología, y ciencias de la ingeniería.

En los últimos diez años, destacan el Anillo de Nanociencias en Valparaíso, Centro de Nanotecnología y Biología de Sistemas, Núcleo Científico Milenio Física Materia Condensada, Anillo Estudios Multidisciplinarios de Nanoestructuras Híbridas, Anillo Centro de Estudios Subatómicos (en conjunto con la Universidad Austral de Chile, <www.uach.cl>), todos liderados por la Universidad Santa María <www.usm.cl> y en colaboración con otras universidades chilenas.

También sobresalen, el Núcleo Milenio Mecánica Cuántica Aplicada y Química Computacional, de la Universidad Andrés Bello <www.uab.

\* Universidad Austral de Chile. Miembro de la Red NANODYF.

\*\* Universidad Católica del Norte. Miembro de la Red NANODYF.

cl>, el Centro de Investigación Interdisciplinario Avanzado CM, el Centro de Tecnología para la Minería y el Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería, de la Universidad de Chile <www.uchile.cl>.

Dos Anillos asociativos de la Universidad de Chile con la Universidad de Talca <www.utal.cl> y otro de la Universidad de Santiago de Chile <www.usach.cl> con esta última universidad en proyectos Anillos en Simulación Computacional Molecular de Nanomateriales y un Anillo en magnetismo a nano escala, respectivamente.

En el sur del país, la existencia de un Laboratorio Cluster Computacional de Física y un Laboratorio de Polímeros Avanzados, de la Universidad Austral de Chile.

En la Universidad de Concepción (www.udec.cl), un importante centro basal de Óptica y Fotonica CEFOP y un Centro Regional de I+D en el estudio de Polímeros Avanzados CIPA que incluye desarrollos en nanotecnología.

Sin embargo, es en el año 2009 que se crea, por concurso nacional, el más importante centro de nanociencia y nanotecnología del país, con fondos de fortalecimiento de ciencia basal de CONICYT, denominado Centro para el Desarrollo de la Nanociencia y la Nanotecnología (CEDENNA), liderado por la Universidad de Santiago de Chile, asociado a destacados grupos de investigadores de otras universidades chilenas como del extranjero. Es el único centro con un perfil totalmente focalizado al desarrollo de la nanociencia y nanotecnología en el país en la actualidad.

Se avanza y se concuerda, en distintos ámbitos universitarios y de centros de investigación en Chile, en que el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología son áreas estratégicas de desarrollo para el país, especialmente en aplicaciones en las que hay fortalezas en explotación de recursos naturales, desarrollos para la salud humana, así como en la manufactura.

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

La divulgación de la nanociencia y nanotecnología se efectúa a través de distintas modalidades,

ya sea por los propios grupos de investigadores (últimamente CONICYT de Chile pide a los líderes de proyectos que incluyan la actividad de difusión de sus resultados a la comunidad). Existe también como programa a nivel país el Programa Explora el cual es de divulgación nacional, estableciendo cada año un tema. Así, por ejemplo, el año 2008 fue el año de la divulgación de la nanotecnología, el 2009 de la energía, el 2010 de la astronomía y el 2011 el de la química.

Otra modalidad es a través de redes, como, por ejemplo, la Red RELANS, que es latinoamericana de tecnología y sociedad <www.estudiosdeldesarrollo.net/relans> de tipo académica y educativa; también la Red Grupo de Montevideo <www.grupodemontevideo.edu.uy> de asociación Chile-Uruguay en la temática. Similares a esta última son redes con Mexico: Red nanored <www.nanored.org.mx>; con Brasil a través del Grupo Binacional Chile-Brasil <www.conicyt.cl>, con latinoamérica y el Caribe por Redalyc <www.uaemex.mx> y a nivel iberoamericano con Universia <www.universia.cl>.

Diversos congresos nacionales e internacionales de ciencias básicas, realizados en Chile, incluyen la divulgación de resultados de investigaciones con componentes de nanociencia y nanotecnología.

Sin embargo, también se efectúan con poca periodicidad congresos y escuelas orientados específicamente a estas áreas. Así, por ejemplo, cabe mencionar los talleres y congresos nacionales de nanociencia organizados en Santiago y en las regiones de Valparaíso y Viña del Mar, durante el periodo 2007-2010, al alero de las Universidades Santa María, de Santiago de Chile, de Concepción, Católica de Chile, y de centros como el CIMAT (Centro de Investigación de Materiales) de la Universidad de Chile, en algunos casos se ha contado con la colaboración de empresas y universidades extranjeras.

A nivel de universidades y centros de investigación, es posible dimensionar la divulgación científica a través de artículos en revistas de corriente principal ISI, que dan cuenta de resultados de investigación con nuevos conocimientos generados, dan visibilidad a los grupos de investigación, disciplinas estudiadas y a

las instituciones a las que están adscritas. Estas publicaciones contribuyen como indicadores importantes a nivel país. Así, por ejemplo, en el periodo 2003-2010 Chile registra 444 publicaciones, concentradas principalmente en 12 universidades <www.isi.org>, con una fuerte colaboración por coautorías con España, Brasil y México a nivel iberoamericano. Las principales instituciones internacionales de colaboración en investigaciones en nanotecnología con Chile son: el CSIC y la Universidad de Barcelona, en España; el Instituto Max Plank, en Alemania; la Universidad Federal de Río de Janeiro, Estadual de Campina, Universidad de Sao Paulo, en Brasil; la Universidad de California, en EUA; y, NTL en el Reino Unido-Irlanda. Se registran también algunas empresas colaboradoras especialmente en biomedicina y nanoelectrónica.

Chile tiene tres revistas ISI que difunden artículos científicos de nanotecnología: *Electronic / Biothecology*; *Boletín de la Sociedad Chilena de Química* y *Revista Médica de Chile*.

También es destacable, la divulgación de resultados de investigación a través de la Base Scielo Chile, con cinco revistas especializadas en las que se cuantifican 93 artículos en el mismo periodo.

Otra forma de divulgación es a través de artículos publicados en revistas editadas en general para todo público. Las revistas que incorporan o han incorporados trabajos de nanociencia y nanotecnología son, por mencionar algunas: *Indualimentos*, *Chile Científico*, *Centro de Estudios de Recursos Andinos*, *Revista Ercilla*, *Estudios del Desarrollo*, *Utopía y Praxis LA*, *El Campesino*, *Muy Interesante*, *Ingeniare (UTA)*, *Nuevo Político*, *Revista del Colegio de Ingenieros*, *Ciencia y Trabajo*, *El Pensador*, que son las de mayor circulación y se encuentran en búsquedas por internet.

Dichas revistas abordan, principalmente, artículos de divulgación de interés global, de avances de desarrollos en estas áreas con impacto en la salud humana, la alimentación, los riesgos para la sociedad, de procesos biotecnológicos, nanotecnología y sociedad, nanoelectrónica en las comunicaciones y sobre las potencialidades de estas áreas para el desarrollo industrial, entre otros.

En menor volumen, existen escasos programas de divulgación en la radio y televisión de Chile. Destacan dos programas del periodo 2006-2008 y del 2008-2011 que son "Enlace" y "Cazadores de la Ciencia", <www.tvnacional.cl>. La mayor divulgación es aquella accesible por los estudiantes e investigadores a través de blogs, webs, y otros medios especializados, a través de motores de búsqueda a nivel internacional.

En cuanto a concursos y exposiciones, cuya temática está parcialmente relacionada con estas áreas, son poco frecuentes y se desarrollan más bien en las propias universidades o por medio de grupos de investigadores, con sesiones de póster, semana de la ciencia, casa abierta a la comunidad, como las más destacables.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE ENSEÑANZA

### *La nanotecnología en el nivel primario y secundario de enseñanza*

No hay evidencias en el país de la existencia de programas o cursos específicos sobre nanotecnología, más aún, no se incluyen en las directivas curriculares que supervisa el Ministerio de Educación.

Sin embargo, la nanotecnología forma parte de algunas asignaturas generales de física y química, en las cuales se describen los principios generales y fundamentos de esta área del conocimiento.

Como parte del proceso de aprendizaje-enseñanza, los alumnos de estos dos niveles realizan actividades de búsquedas bibliográficas, tareas con temas específicos de nanotecnología, seminarios guiados, conferencias propias o desde las universidades, debates, clubes científicos financiados por EXPLORA <www.explora.cl>, y otras actividades afines que les permiten familiarizarse con esta temática.

### *La nanotecnología en la enseñanza universitaria*

No existe a la fecha en el país una carrera universitaria, un programa de posgrado de maestría o

doctorado que aborde íntegramente o tenga alguna relación con la nanotecnología. A la fecha, está en etapa de proyecto un programa de doctorado en nanotecnología bajo el auspicio del CEDENNA, la Universidad de Santiago de Chile y las universidades asociadas a este Centro de Investigación Basal.

A nivel de pregrado, tanto para las licenciaturas como para las carreras profesionales, hay “cursos o asignaturas” que tienen contenidos básicos y generales de nanotecnología, especialmente en las cinco siguientes disciplinas: química, física, bioquímica, biología y ciencias de la ingeniería. Destaca un curso de nanoquímica, con carácter de electivo, en la Universidad de Chile. Hay actividades de vinculación de pregrado-investigación a través de tesis o de apoyos a líneas de investigación, preferentemente en las Universidades con participación activa de los estudiantes. En muchos casos, se realizan “Jornadas de Investigación de Pregrado” en las que los estudiantes muestran sus resultados y experiencias en forma de póster (u oral) del desarrollo de trabajos o estudios que incluyen la nanotecnología.

A nivel de posgrado, existen cursos y actividades que incluyen esta área y que se manifiestan, principalmente, a través de líneas de investigación consolidadas <www.fondecyt.cl>, cuyos resultados se publican en revistas de corriente principal <www.isinet.com>.

Por tanto, la nanociencia y la nanotecnología se incluyen en los aproximadamente 30 programas de magister y los 37 programas de doctorado que se asocian con las cinco disciplinas mencionadas, e impartidos por las universidades asociadas al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas (CRUCH), <www.cruch.cl>.

Cabe destacar también la formación de posdoctorados, principalmente en las universidades tradicionales (reconocidas así antes de 1982), de mayor prestigio en el país por su productividad científica, calidad en sus funciones básicas y años de acreditación obtenidos, éstas son : Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Concepción, Universidad de Santiago de Chile, Universidad Austral de Chile, Universidad Santa María, Universidad Ca-

tólica de Valparaíso y Universidad Católica del Norte.

Estos posdoctorados implican la formación, a través de la inserción de jóvenes doctores en determinados grupos de investigación de alta productividad científica en el país, tanto en universidades como en centros de investigación financiados principalmente por CONICYT, los cuales desarrollan investigaciones de frontera del conocimiento y donde se incluyen la nanociencia y la nanotecnología dentro de las disciplinas mencionadas.

## CONCLUSIONES

Chile está actualmente en un gran debate y generando proyectos de ley, para realizar transformaciones muy profundas a nivel primario y secundario que mejoren el sistema educacional del país, especialmente en cuanto a un modelo educativo con calidad en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y disminuir la brecha entre la enseñanza pública y la privada. Esto implica una educación primaria, secundaria y terciaria que lleve al país a ser un país desarrollado, lo que sin duda alguna implicará abordar, entre otros temas, en forma organizada, estrategias en lo referente a la nanotecnología.

Hay un gran desafío respecto a la nanociencia y la nanotecnología, por cuanto esto requiere una base científica sólida, de calidad y de excelencia, con un alto grado de internacionalización. Se trabaja en ello, hay compromisos del gobierno por incrementar el aporte al desarrollo científico y tecnológico respecto del PGB, al menos a un 1.0% en los próximos 10 años.

La divulgación de la nanotecnología pasa por mejorar la comunicación social de la ciencia, lo cual implica consolidar un sistema científico-tecnológico en el país, así como la generación de políticas, la formación en todos los niveles educacionales, la capacitación y generar compromisos de todos los actores públicos y privados.

## RECOMENDACIONES

Hay que avanzar en la divulgación y comunicación social de la ciencia en general y, en particular,

en la de la nanotecnología; asimismo, es necesario trabajar e investigar en temas globales, puesto que los grandes problemas de la humanidad, presentes y futuros, tendrán soluciones a través de estas áreas del conocimiento. El desarrollo de la nanotecnología es un área estratégica en cuanto a preservar los recursos naturales, cuidar el medioambiente y consolidar el modelo de innovación para la competitividad.

Lo anterior también implicará desafíos en cuanto a considerar los aspectos éticos de la formación e investigación en nanotecnología para esta sociedad del conocimiento.

**IMAGEN 1.** Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.



**IMAGEN 2.** Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.



Finalmente, el Estado debe asumir su rol respecto a fortalecer con financiamiento el sistema científico tecnológico del país, con la participación de todos los actores involucrados, lo cual permitirá generar riqueza y calidad de vida.

## BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Nacional de la Innovación para la Competitividad, Innovación Chile 2010-2020, vols. 1 y 2, 2009.
- Comision Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT, <www.conicyt.cl>.
- Consejo de Rectores de Universidades Chilenas CRUCH, *Anuario 2009*.
- Altbir, D. (2010). "Nanociencia: la ciencia del siglo XXI". *Revista Chile Científico*, julio.
- Foladoli, G. y Fuentes, V. (2008). "Nanotecnología en Chile ¿Hacia una economía del conocimiento?". *Estudios del Desarrollo*, México.
- Zumelzu, E. (2006). "Nanotechnology in Chile: Experiences and industry potentials". *Proc. International Conference on Nanoscience*, ICON, Venezuela, mayo.
- Zumelzu, E. (2008). "La nanotecnología en Chile!". *Revista Nanotecnología*, Hoja 4 Informativa, Universidad de Oviedo, España, 4: 28-29.

**IMAGEN 3.** Estudiantes realizando prácticas en el Laboratorio de Nanoquímica.



## La divulgación en Colombia de la nanociencia y la nanotecnología en tiempos de cambio

A. CAMACHO B.,\* C. A. DUQUE\*\*  
J. J. GIRALDO,<sup>†</sup> M. E. GUERRERO<sup>††</sup>

El estado colombiano, a través del *Programa Nacional de Ciencia y Tecnología* y del *Programa Nacional de Ciencia y Prospectiva*, ha dado impulso tanto a la nanociencia como a la nanotecnología en materia de divulgación e investigación. Para el presente año el gobierno destinó una inversión en ciencia y tecnología de 223 miles de millones, empleados en los diferentes Departamentos del Estado, tanto para actividades de divulgación como de investigación, sin discriminar los montos para nanociencia y nanotecnología, aún incipientes en nuestro país. [1]

Dentro de las instituciones educativas que han trabajado en la divulgación de la nanociencia y la nanotecnología se encuentran las universidades públicas como la Universidad Nacional de Colombia con sus facultades de Ciencias, Ingeniería y Medicina, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la Universidad del Valle con el Instituto de Ciencia, Innovación y Gestión del Conocimiento y la Universidad de Antioquia, entre otras.

Asimismo, las instituciones privadas también han dado su aporte a la divulgación; entre ellas se encuentran la Universidad de los Andes, en donde se ha establecido un curso básico de carácter informativo, además de cursos especializados de posgrado en nanoelectrónica; la Pontificia Universidad Javeriana, cuyo trabajo de investigación se basa en nanomedicina; la Universidad Santo Tomás, que en su línea IEEE ha

identificado la nanotecnología como un área de interés, ofreciendo eventos internacionales en biosensores; la Universidad el Bosque con investigaciones sobre el tratamiento contra el cáncer; la Universidad del Rosario, que ofrece conferencias y seminarios para su comunidad educativa, así como proyectos de investigación en algunas de sus áreas de formación.

Entre las organizaciones que propenden por el desarrollo y difusión de la ciencia y la tecnología en Colombia y que se han interesado por el tema se encuentran la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC), la Corporación Maloka y BUINAIMA (Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia). El objetivo misional de esta última es “mejorar la calidad en la enseñanza de las ciencias y de sus diversas aplicaciones en todo el territorio colombiano y a todos los niveles, integrándola al proceso enseñanza-aprendizaje de las otras áreas del conocimiento, incluido el artístico y filosófico, todo ello con responsabilidad social y ambiental, dando lugar al desarrollo y puesta en práctica de un conocimiento integrado, integrador y solidario”. [2]

La ACAC tiene dentro de sus objetivos: asesorar al gobierno en materia de política científica y tecnológica e impulsar el desarrollo del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología; trabajar por la consolidación de las comunidades científicas, tecnológicas y académicas a nivel nacional y

\* Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. <acamacho@uniandes.edu.co>. Miembro de la Red NANODYF.

\*\* Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. <cduque\_echeverri@yahoo.es>. Miembro de la Red NANODYF.

† Buinaima, Asociación pro Enseñanza. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <jjgiraldo@bt.unal.edu.co>. Miembro de la Red NANODYF.

†† Buinaima, Asociación pro Enseñanza. Bogotá, Colombia. <marthagramirez@misena.edu.co> y <marelena979@yahoo.es>. Miembro de la Red NANODYF.

contribuir a la creación de mecanismos que posibiliten su integración al contexto internacional y contribuir a la difusión y apropiación del conocimiento científico, tecnológico e investigativo, entre otros. Ha realizado eventos de divulgación de nanotecnología y publica, a través de la revista *Innovación y Ciencia*, artículos relacionados con el tema. [3]

En varias de estas actividades de divulgación ha fungido como coorganizadora la Fundación Latinoamericana para el Avance de la Ciencia (FUNLACI), cuyo objetivo estratégico es promover el fortalecimiento de los programas de capacitación, bienestar, méritos y estímulos para investigadores en América Latina, ha promovido varios encuentros de carácter didáctico, así como de socialización de resultados académicos producto de la investigación a través de simposios, congresos, foros y actividades de apropiación social del conocimiento. [4]

## CENTROS DE INVESTIGACIÓN EN NANOCIENCIA Y/O NANOTECNOLOGÍA

Con el apoyo de Colciencias han surgido centros de excelencia como el Centro de Excelencia de Nanomateriales (CENM), que forma parte de un esfuerzo nacional de alta prioridad apoyado principalmente por Colciencias e integrado por 19 reconocidos grupos de investigación multidisciplinaria, pertenecientes a 10 universidades alrededor del país. Adicionalmente, recibe el apoyo internacional de renombrados institutos mundiales de investigación de materiales. El trabajo de investigación en el CENM está organizado alrededor de 4 temas: materiales de recubrimientos, dispositivos de estado sólido, materiales compuestos y nanomagnetismo. [5]

El Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar (NanoCiTec) con sede en Bogotá, fue creado en el año 2006 como una asociación sin fines de lucro, compuesta por profesionales de áreas científicas (física, química, biología, medicina) y de ingenierías (electrónica, biomédica, química). Su objetivo es responder a los intereses de diferentes disciplinas que trabajan en los campos de nanociencia y nanotecnología; así, se ha consti-

tuido en una iniciativa autogestionada por sus actores. El programa principal de trabajo de NanoCiTec está centrado en investigaciones sobre tratamientos de cáncer usando nanotecnología.

Dentro de esos eventos se encuentra el ciclo de conferencias “Nanotecnología, investigación y desarrollo y nanotecnología y su impacto en el área de la salud”, realizado los días 18 y 19 de septiembre de 2007, con la participación de expositores nacionales e internacionales. [6]

El Centro de Excelencia en Modelamiento y Simulación de Fenómenos y Procesos Complejos (CEIBA), cuyo foco es el Grupo Seguimiento Corazón vía satélite, se caracteriza por ser un grupo multidisciplinario que, desde 1958, tiene como objeto de estudios los fenómenos electrofisiológicos; en la actualidad trabaja en el proyecto del nanomarcapasos liderado por el Dr. Jorge Reynolds, inventor del marcapasos en el año 1958, quien ha dirigido numerosas investigaciones relacionadas con este campo de estudio, es el creador, director general del grupo SCVS y director del proyecto Nanopuente A-V Artificial (investigación en desarrollo). [7]

También el Centro Internacional de Física (CIF) en Bogotá, el Centro de Biomateriales y la Corporación para la Investigación de la Corrosión de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en Bucaramanga son instituciones que han dedicado buena parte de sus investigaciones al tema de nanotecnología.

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN Y ENSEÑANZA UNIVERSITARIA DE LA NANOTECNOLOGÍA EN COLOMBIA

2005, el año Internacional de la física, fue quizá la primera gran oportunidad para hablar ampliamente de lo nano en Colombia. En efecto, reconociendo que Albert Einstein hizo los primeros aportes significativos a lo que hoy puede denominarse nanociencia; en una serie de conferencias ofrecidas en Bogotá y ciudades aledañas con motivo del centenario de sus famosas teorías, se aprovecharon dichos espacios para señalar sus contribuciones a esta ciencia y tecnología emergente. El Ministerio de Educación Nacional, por

su parte, declaró aquél el “año de las competencias científicas”. Con ese pretexto, se propuso llevar a todas las regiones de Colombia conferencias y talleres que incentivaran la enseñanza de las ciencias. BUINAIMA se unió a esta campaña, tomando en sus manos la responsabilidad de difundir los conceptos básicos y las aplicaciones de la nanotecnociencia. En particular, organizó unas conferencias y talleres en varias ciudades de Colombia que se denominaron: “La nanotecnociencia y nosotros”, destacando el importante papel que el tema desempeñaría en las décadas venideras. Los talleres fueron realizados en Bogotá, Paipa, Florencia, Mocoa y Villavicencio. De ahí surgió la idea de dar a la luz un libro que recogiera la experiencia y divulgara más ampliamente los avances en el campo, publicado finalmente en 2007.

En agosto de 2005 se realizó el primer evento en el tema con invitados internacionales en la Biblioteca Virgilio Barco Vargas, denominado “Conferencia Internacional Nanotecnología Presente y Futuro” organizado por el entonces denominado Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología (CNNN). Posteriormente, surgió el Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar, (NANOCITEC), desde el cual se impulsaron diversos eventos cuyo propósito era también difundir los conceptos y aplicaciones de la nanotecnología.

Otro evento pionero en pro de la divulgación de la nanotecnología en Colombia fue el Simposio Nacional de Nanotecnología, La Revolución del Siglo XXI, organizado por la Universidad Nacional de Colombia, en septiembre de 2006. Se presentaron temas como cura contra el cáncer, hidrógeno como combustible, aprovechamiento de energía solar, nuevos sistemas de almacenamiento de información con nanosensores, pinturas cosméticas, textiles inteligentes, materiales para aplicaciones médicas, electrónica y biotecnología.

La Universidad Externado de Colombia en su I Convención Internacional de Informática Jurídica, Documentación y Documento Electrónico, realizada los días 18 al 20 de octubre de 2006, trató temas a nivel jurídico con profunda preocupación por la ausencia de normativa en Colombia, los retos que la manipulación en nanotecnología depara y la madurez del mundo frente a estos avances. [8]

El 12 de abril de 2007, la Universidad Nacional y la Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia (BUINAIMA) organizaron un evento-foro denominado “NANOLOGÍA: un nuevo campo transdisciplinario”, durante el cual se hizo el lanzamiento del primer libro escrito en Latinoamérica sobre el tema: *NANOTECNOLOGÍA: nociones preliminares sobre el universo nanométrico*, editado por Jairo Giraldo, Edgar González y Fernando Gómez-Baquero. (Ediciones Buinaima, Bogotá, 2007.)

La Universidad de los Andes ha organizado los Encuentros Colombianos de Micro y Nanotecnología, actualmente en la versión III, cuyo objetivo es motivar la integración de los investigadores locales y regionales y presentar el panorama nacional e internacional en estas tecnologías. Para ello se realizaron conferencias con expertos internacionales y se brindó un espacio para la exposición de trabajos desarrollados en Colombia.

El II Simposio Nacional de Nanotecnología: NanoForum Colombia 2007, realizado entre el 26 y 27 de octubre. Organizado por FUNLACI y BUINAIMA entre otros. En este evento se expusieron temas como nanomedicina, prospectiva y gestión tecnológica en nanotecnología, bioética, educación en nanotecnología e instrumentación. Si bien gran parte de los trabajos tenían un carácter divulgativo, muestran el interés de diversas instituciones en el tema. [9]

Nanocolombia es uno de los espacios donde se han dado a conocer investigaciones entre CELBIT (células y bits) y grupos de investigación. Esta presentación narra la creación de nanoestructuras usando nanolitografía AFM, de las cuales el expositor es el autor de la primera que se tenga registro en Colombia, publicada en la *Revista Colombiana de Física* año 2006. CELBIT es una compañía de Investigación y Desarrollo acelerado de productos que brinda soluciones en el campo de la física aplicada. Las tareas de operación y proyectos se orientan en cuatro grupos de investigación: micro y nanotecnologías, nuevos materiales y energías alternativas, robótica e inteligencia artificial, informática y telecomunicaciones. [10]

El Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín (ITM) realizó el 3 y 4 de septiembre

de 2009, en el Aula Magna del campus Robledo, el Simposio Nacional de Nanotecnología: ITM, Fundación Latinoamericana para el Avance de la Ciencia (FUNLACI) realizado en colaboración con Nanocolombia 2009.

La Universidad Santo Tomás en Bogotá organizó el Curso Internacional Dispositivos Nanobiosensores: Innovación y Aplicación, adicionalmente, conferencias en nanomedicina: “Aplicación de la nanotecnología a la salud”, “Sensores nanomecánicos basados en tecnología MEMS”, en mayo de 2010. Entre tanto, en la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, existe un proyecto llamado ARBOT-Agente acuático. Su objetivo es lograr el diseño y operación de un sistema de agentes capaces de flotar parcialmente sumergidos en agua y dotados de movimiento autónomo de tipo browniano, con la capacidad de ligarse entre sí de acuerdo con ciertas reglas derivadas del comportamiento biológico del ADN. Se propone este sistema de enjambre de agentes como una fuente experimental de estudio de estrategias de transporte de partículas en medios húmedos, autoensamblado, autoorganización y replicación, aspectos que pueden ser proyectados a nivel de transporte y organización de estructuras a nivel nanoescala. [11]

La Universidad de Cundinamarca organizó el Congreso Internacional sobre las Aplicaciones de la nanotecnología en Colombia llamado COLNANOTECH 2009, cuyos focos fueron: las aplicaciones en ciencias de la salud, agroindustria, medio ambiente, TICS y enseñanza de la nanotecnología. [12]. También en esta universidad se inició una cátedra abierta titulada: “Prospectiva de la investigación para el siglo XXI”, dentro de sus actividades se realizaron conferencias divulgativas del estado de la nanociencia y la nanotecnología publicadas en la *Revista Diario de Campo* en su edición de 2010.

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) organizó una actividad de carácter nacional para mostrarle al país los avances que ha alcanzado en materia de tecnología y de innovación, especialmente desde 2002. Es de anotar el esfuerzo que el SENA ha hecho en actividades de divulgación creando el Centro de Formación de Talen-

to Humano en Salud, el cual organizó el Primer Foro Internacional de Nanotecnología e Inteligencia Artificial dirigido a la alta gerencia de los diferentes sectores industriales, academia e investigadores, en septiembre de 2009. Un paso más allá para mostrar los avances fue Expo SENA 2010 «Feria de la Competitividad», un evento que estuvo abierto a todos los colombianos, de manera gratuita en Corferias, Bogotá, del 30 de junio al 4 de julio de 2010.

La Universidad del Norte en Barranquilla fue la sede del Seminario Internacional Nanociencia 2010. La idea central de este seminario propuesto por la Academia de Ciencias Exactas y Naturales ACCEFYN, el Centro de Excelencia en Nuevos Materiales CENM y la Fundación Latinoamericana para el Avance de la Ciencia, fue la de poner en contacto investigadores de centros a nivel mundial, que están desarrollando proyectos e iniciativas en nanotecnología con grupos colombianos que estén interesados en incursionar en esta área a fin de establecer proyectos colaborativos e intercambios estudiantiles y de investigadores.

La Universidad Distrital ha realizado actividades de divulgación de la nanotecnología, entre ellas las charlas realizadas en agosto 18 de 2010 tituladas “Nanotecnología y sus aplicaciones en el área ambiental”, en la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. De igual manera, la Facultad de Ingeniería ha diseñado un “Portal de Nanotecnología” que cuenta con una plataforma *second life* para su entendimiento. [13]

La Universidad Javeriana destaca por pertenecer al grupo NanoCiTec liderado por el Dr. Edgar González, así como por su participación en varios eventos dentro de los cuales se encuentra el III Congreso de Bioingeniería e Ingeniería Biomecánica donde obtuvo el primer puesto dentro de la evaluación de ponencias orales gracias a su trabajo “Citotoxicidad por fototermólisis asistida con nanotubos de carbono”. [14]

Durante el primer semestre de 2011, en el esquema de la Cátedra José Celestino Mutis, la Universidad Nacional de Colombia –sede Bogotá– ofreció un curso semestral dirigido a más de 1,500 estudiantes y profesionales en el Auditorio León de Greiff, con conexión en red a algunas

de sus sedes (Medellín y Manizales), con el objetivo de introducir a los asistentes en los conceptos y temas básicos de la nanotecnología, nanomateriales (definiciones, tipos, propiedades y técnicas de caracterización), aplicaciones en la medicina, las ciencias básicas, la ingeniería y en la discusión del impacto a nivel ambiental, biológico, económico y sociocultural. La cátedra se denominó: “Nanotecnología: el tamaño sí importa”. Constó de 30 conferencias, aproximadamente la mitad de ellas ofrecidas por expertos internacionales, y una mesa redonda final en la que participaron la mayor parte de los conferencistas nacionales.

La Facultad de Ingeniería, el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad de los Andes, organizó el III Encuentro Colombiano de Micro y Nanotecnología, llevado a cabo los días 10, 11 y 12 de agosto de 2011. La Facultad de Ingeniería viene conformando desde hace un año sus Centros de Investigación Estratégica (CIE) sobre cuatro líneas estratégicas: movilidad sostenible, agua, energía y nuevos materiales. A través de estos CIE se buscará desarrollar investigación que contribuya al crecimiento del país en conjunto con instituciones del sector privado, público y académico. Como una de sus primeras actividades el CIE Nuevos Materiales se incorpora al trabajo que viene haciendo el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la organización de este evento. El encuentro colombiano de micro y nanotecnología tiene como objetivo generar un espacio interdisciplinario que fomente el conocimiento, la discusión, visiones, propuestas, inquietudes y colaboraciones nacionales e internacionales en torno a micro y nanotecnologías. Este espacio se abre para tener una perspectiva amplia sobre los trabajos nacionales desde múltiples ángulos: académico, industrial, educativo, político, económico y social.

Por otra parte, el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) ha diseñado un curso básico de divulgación en nanotecnología y sus aplicaciones en la medicina, dirigido a los profesionales y tecnólogos del área de la salud, en el Centro de Formación de Talento Humano en Salud en Bogotá.

La Universidad Autónoma de Colombia da sus primeros pasos en nanotecnología con el semillero de investigación llamado SINTEC, cuyo objetivo principal es generar y aplicar conocimientos al desarrollo de proyectos orientados a solucionar problemas de la industria nacional y la sociedad en general, relacionados con los campos de nanotecnología y nanoelectrónica. [15]

La Universidad del Valle ha participado en la divulgación de la nanotecnología a través de su participación en el CENM, en el Instituto de Prospectiva Innovación y gestión del conocimiento, en donde se realizan eventos que tratan temas de prospectiva en nanotecnología; asimismo, en la Facultad de Ingeniería Química, con investigaciones en estudios de células de cáncer, pancreas artificial, materiales cerámicos e investigaciones en energía.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS NIVELES DE EDUCACIÓN BÁSICA Y SUPERIOR

### *La nanotecnología en el nivel básico de enseñanza*

A partir de la experiencia mencionada en la sección anterior, se ha empezado a ampliar el programa de difusión en nanociencia a nivel básico. El primer intento en esta dirección fue tal vez el “Taller para la enseñanza del paradigma de lo nano”, realizado con el apoyo de la Secretaría de Educación Distrital y, principalmente, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas junto con la asesoría científica de la Universidad de Wisconsin. El taller estuvo dirigido a los profesores de enseñanza media de colegios distritales. Se produjo un video con el contenido de los talleres. Con el apoyo de personal científico que participó en el taller, se está diseñando, por parte de Buinaima, la Universidad Nacional y la Universidad de los Andes, una estrategia para desarrollar material didáctico en la nanoescala y continuar desarrollando este tipo de talleres.

Tecnoacademia-SENA. Desde el 2010, el SENA involucró la nanotecnología como formación básica dentro de su programa de Tecnoacademia, ofrecida por el Centro Industrial y Desarrollo Empresarial en Soacha, donde, adi-

cional a esta formación, se ofrecen conocimientos en ciencias, matemáticas, física, biotecnología y química, a los estudiantes que cursan los grados octavo y noveno. En la actualidad, asisten a la Tecnoacademia 560 aprendices, de los cuales 72 se forman en nanotecnología.

Con una inversión aproximada de 1,000 millones de pesos, el SENA conformó un laboratorio de alto nivel dotado de equipos con tecnologías de punta, como un nanoprofesor (equipo de nanolitografía con múltiples funciones), microscopio de fuerza atómica, microscopio de fluorescencia, microscopio de escaneo cromatógrafo, entre otros. Hasta el momento, los aprendices, quienes no sobrepasan los 16 años de edad, han desarrollado proyectos tan importantes como la creación de películas de dióxido de titanio con aplicaciones fotocatalíticas, utilizadas en la descontaminación de agua con colorantes. [16]

### *La nanotecnología en el nivel secundario de enseñanza*

Entre las actividades realizadas por instituciones de educación secundaria e instituciones de educación Formación Profesional Integral se cuentan:

El Colegio Distrital Manuelita Sáenz, donde, con la colaboración del Servicio Nacional de Aprendizaje, se ofreció un curso introductorio en nanotecnología y sus aplicaciones de carácter divulgativo, despertando el interés sobre el tema en la comunidad docente.

El Colegio Gimnasio Moderno cuenta, dentro de sus actividades anuales, con la celebración de la Feria de la Ciencia, las Matemáticas y la Tecnología en el auditorio principal del Gimnasio Moderno, ahí tuvo lugar la conferencia “Nanotecnología: un sueño grande muy muy pequeño”, dirigida a niños y niñas curiosos sobre los temas de procesadores y otros elementos que extienden el poder del cerebro; se llevó a cabo del 22 al 25 de septiembre de 2008. Esta actividad se realiza cada año con nuevas temáticas. [17]

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), A través de sus diferentes centros de formación, realiza actividades encaminadas a la divulgación

de la ciencia; dentro de ellas están las Tecnoacademias, que combina la educación del bachillerato con conocimiento de avanzada. Allí los estudiantes realizan en horarios contrarios a su jornada académica, actividades teóricoprácticas para el desarrollo de competencias básicas en nanotecnología, biotecnología e ingenierías, entre otras.

TecnoParque-Colombia es un programa liderado por el SENA de acceso gratuito a todos los colombianos. Nace con el fin de apoyar la generación y consolidación de ideas productivas e innovadoras en nuestro país, facilitando el acceso a tecnología, información y conocimiento dentro de un ambiente que incentiva la capacidad creativa e innovadora, acogiendo y apoyando la consolidación de ideas e iniciativas en las áreas de: materiales, electrónica, biotecnología, tecnologías de información y comunicaciones y diseño, para transformarlas en productos y servicios que se conviertan en nuevas empresas, nuevos empleos y aporten a la inserción de Colombia en la economía del conocimiento.

### *La nanotecnología en el nivel superior*

Dentro de las instituciones universitarias que cuentan con programas de formación en nanotecnología dentro de sus currícula se encuentran la Universidad de los Andes que cuenta con cursos que se han impartido con sentido formativo llamados CBU (Curso Básico Universitario) cuyo enfoque es la enseñanza de conceptos básicos en nanociencia y nanotecnología, además de cursos de posgrado para ingenieros eléctricos y mecánicos con énfasis en nanomateriales; asimismo, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas diseñó un curso virtual para ingenieros con conceptos básicos de nanotecnología a través de su proyecto Nanolearnproject.com.

## CONCLUSIONES

En este informe recopilamos las iniciativas colombianas que más se han difundido en el país en el campo de la nanociencia y la nanotecnología con objetivos de divulgación y formación. Nos enfocamos en la región centro de la geogra-

fía, pues es allí donde más se han organizado eventos, creado nuevos cursos en las universidades e iniciado talleres de formación a nivel secundario. Como sin investigación no se puede ofrecer una buena docencia, describimos muy brevemente algunas acciones tendientes a desarrollar investigación en estas áreas. Otro aspecto que no quisimos pasar desapercibido es el de la continuidad de estos eventos; por esta razón, enfatizamos actividades que cuentan con un número plural de ediciones como es el caso del III Encuentro Colombiano de Micro y Nanotecnología, o que se componen de reuniones preparativas, de desarrollo, de seguimiento y de evaluación como el “Taller para la enseñanza del paradigma de la nano”, y, en general, las actividades de formación organizadas por Buinaima. Es de destacar el gran esfuerzo económico hecho por el SENA para dotar su laboratorio de nanotecnología para uso de sus aprendices.

Sin embargo, reconocemos que, hasta ahora, todas éstas y otras iniciativas que no mencionamos, no se han integrado dentro de un plan formal de apoyo estatal a la nanociencia y nanotecnología específicamente, y motivo por el cual se repiten y se pierden muchos esfuerzos y se desperdician dineros.

Como conclusión principal de este informe proponemos orientar los numerosos esfuerzos hechos por las instituciones de educación e investigación en un plan nacional para el desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología financiado y coordinado por Colciencias.

## RECOMENDACIONES

Como recomendaciones importantes para sostener e incentivar el trabajo que hasta ahora se ha adelantado en este campo, proponemos, como tarea de la Red NANODYF, la colaboración para organizar foros de discusión, intercambio de profesores para cursos de divulgación y formación de maestros de secundaria, así como cursos de entrenamiento para profesores que sirvan de multiplicadores. También es necesaria la colaboración para desarrollar el material didáctico necesario que pueda utilizarse en los cursos de los diferentes niveles de formación.

## REFERENCIAS

- [1] Documento Conpes 3672, Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. En: <<http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/LinkClick.aspx?fileticket=wbvtM48Vmf%3d&tabid=1063>>.
- [2] Buinaima Asociación Colombiana pro enseñanza de la ciencia estatutos. En: <[http://www.ethosbuinaima.org/userfiles/Estatutos11\\_03\\_15.pdf](http://www.ethosbuinaima.org/userfiles/Estatutos11_03_15.pdf)>.
- [3] *Revista Innovación y Ciencia*, vol. XV, núm. 2. En: <<http://acac.org.co/index.shtml?apc=e1b5—REVISTA%20INNOVACION%20Y%20CIENCIA&x=1181>>.
- [4] Funlaci. Quiénes somos objetivo estratégico (2011). En: <[http://www.funlaci.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=25&Itemid=90](http://www.funlaci.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=25&Itemid=90)>.
- [5] Centro de Excelencia de Nanomateriales. Qué somos (2005). En: <<http://www.cenm.org/sp/quienes-somos.htm>>.
- [6] Pérez, C y Vinck D. (2009). Redes socio-técnicas de coestión de conocimientos en nanotecnologías en Colombia: ¿entre la visibilidad internacional y la apropiación local? *Redes*, vol. 15, núm. 29, mayo: 113-137. En: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/907/90717079006.pdf>>.
- [7] Redes Colombia. Tecnoparque Colombia. (2010) En: <<http://www.redescolombia.org/content/Conferencia-sobre-Nanomarcapasos-con-el-Dr.-Jorge-Reynolds-Pombo>>.
- [8] Informática jurídica.com. La nanotecnología y el derecho: análisis de un mundo infinitesimal. En: <[http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La\\_nanotecnologia\\_y\\_el\\_Derecho.asp](http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La_nanotecnologia_y_el_Derecho.asp)>.
- [9] Pérez, C y Vinck D. (2009). Redes sociotécnicas de coestión de conocimientos en nanotecnologías en Colombia: ¿Entre la visibilidad internacional y la apropiación local? *Redes*, vol. 15, núm. 29, mayo: 113-137. <En: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/907/90717079006.pdf>>.

- [10] CELBIT Innovation Outsourcing. En: <[http://celbit.x10.bz/blog/?page\\_id=2](http://celbit.x10.bz/blog/?page_id=2)>.
- [11] Corporación Colombiana Digital. Las universidades u y la nanotecnología. (2009). En: <[http://ccdboletin.net/index.php/%20http://%20http://daleclick.blogspot.com/2005/02/boletin/?option=com\\_content&view=article&id=1219&Itemid=246&fontstyle=f-smaller](http://ccdboletin.net/index.php/%20http://%20http://daleclick.blogspot.com/2005/02/boletin/?option=com_content&view=article&id=1219&Itemid=246&fontstyle=f-smaller)>.
- [12] Colnanotec Congreso Internacional de Nanotecnología Colombia 2009. En: <<http://colnanotec.wordpress.com/>>.
- [13] Nanolearnproject.com. Plataforma Nanotecnología Universidad Distrital Francisco José de Caldas. En: <<http://www.nanolearnproject.com/>>.
- [14] Formación Colombia. Blog Universia. Las Universidades y la Nanotecnología (2010). En: <<http://formacion-colombia.universiablogs.net/2010/01/18/las-universidades-y-lanotecnologia/>>.
- [15] Semillero de investigación en Nanotecnología. (2011) En: <<http://uacsintec.blogspot.com/>>.
- [16] Servicio Nacional de Aprendizaje. *Boletín de prensa*, núm. 7, Bogotá, 15 de junio de 2011. Nanotecnología al alcance de jóvenes y niños de Soacha, en Tecnoacademia del SENA. En: <<http://www.sena.edu.co/downloads/2011/boletines/6.Junio/Nanotecnolog%C3%ADa.pdf>>.
- [17] ACIS. Asociación Colombiana de ingenieros de Sistemas. Guía de eventos académicos.

Semana de las ciencias, la matemática y la tecnología. (2008). En <[http://www.acis.org.co/index.php?id=188&tx\\_mininews\\_pi1\[showUid\]=7993&cHash=eb6dd21f3e510875fe691212a3cab19f](http://www.acis.org.co/index.php?id=188&tx_mininews_pi1[showUid]=7993&cHash=eb6dd21f3e510875fe691212a3cab19f)>.

**IMAGEN 1.** Afiche: Curso Internacional “Dispositivos Nanobiosensores: Innovación y Aplicación” realizado 11, 12 y 13 de mayo de 2010, en la Universidad Santo Tomás, Bogotá, con la participación del CISC – CINN España.



Fuente: <<http://ewh.ieee.org/sb/colombia/usta/Eventos.html>>.

**IMAGEN 2.** Afiche Seminario Internacional Nanociencia2010, realizado del 21 al 23 de octubre de 2010, en la Universidad del Norte de Barranquilla, Colombia.



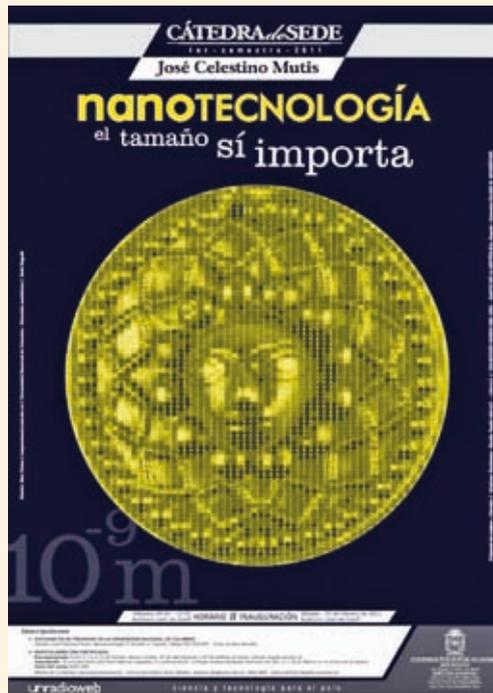
Fuente: <<http://www.accefyn.org.co/nanociencia2010/>>.

**IMAGEN 3.** Afiche: Colnanotec 2009. Congreso Internacional sobre Aplicaciones de la Nanotecnología en Colombia. Cursos y Conferencias. Realizado en agosto 13, 14 y 15, de 2009, en Bogotá.



Fuente: <<http://colnanotec.wordpress.com/2009/07/17/colnanotec-congreso-internacional-de-nanotecnologia-colombia-2009/>>.

**IMAGEN 4.** Afiche: Cátedra de sede. José Celestino Mutis. Nanotecnología el tamaño sí importa. Realizada en la Universidad Nacional de Colombia.



Fuente: <<http://www.catedras-bogota.unal.edu.co/mutis/2011-1/index.htm>>.

## Nanotecnologías en Cuba: divulgación y formación

CARLOS RODRÍGUEZ CASTELLANOS\*

En Cuba, como en otros países, las actividades en el campo de las nanotecnologías emergieron del desarrollo convergente de las investigaciones en física y química de materiales, microelectrónica, química supramolecular, microbiología y biología molecular.

Durante los años noventa del siglo XX, cobraron fuerza los trabajos teóricos y experimentales sobre nanoestructuras semiconductoras. Por iniciativa de los físicos cubanos se organizó la Red CYTED “Estudio, fabricación y caracterización de nanoestructuras semiconductoras para la micro y la optoelectrónica” que funcionó entre 1998 y 2003 con la participación de ocho países iberoamericanos. La red organizó varios cursos y reuniones científicas, editó un libro y apoyó la colaboración científica entre las instituciones participantes.

A lo largo de estas dos décadas, la investigación y la formación de doctores se extendieron a la nanobiología, el nanomagnetismo, los nanocoloides y otros sistemas dispersos, los polímeros nanoestructurados, la nanoencapsulación de fármacos y biomoléculas, los materiales nanoporosos, las nanoestructuras de carbono, las celdas fotovoltaicas nanoestructuradas, la estructura de nanocristales, la síntesis y funcionalización de nanopartículas metálicas, semiconductoras y magnéticas para aplicaciones médicas, la nanotoxicología, los nanosensores, los nems, la simulación y modelación computacional en la nanoescala, la fabricación de sistemas para la obtención de nanocapas y de instrumentos de resolución nanométrica, entre otros temas.

Las capacidades experimentales de las instituciones cubanas en este campo son muy modes-

tas, por lo cual las investigaciones mencionadas se han apoyado fuertemente en la colaboración científica internacional. Esto ha permitido publicar cientos de trabajos en revistas de alto impacto y formar más de treinta doctores en diversas especialidades. En el año 2009, la *Revista Cubana de Física* dedicó un número con un editorial y 15 artículos a reseñar parte de las investigaciones sobre nanociencias y nanotecnologías que se desarrollan en Cuba (<<http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/2009/vol.26-No.1/index.htm>>).

También han visto la luz algunos trabajos sobre problemas económicos y sociales asociados al desarrollo de las nanotecnologías en el contexto cubano [1-4]. Especialistas cubanos participan en la “Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad” y en la Red CYTED de Divulgación y Formación en Nanotecnologías.

Aunque no existe propiamente un programa nacional de investigaciones en nanotecnologías, se han venido financiando proyectos de investigación afines en el marco de otros programas nacionales. Para apoyar los trabajos en ésta y otras áreas relacionadas, el Ministerio de Educación Superior ha financiado la creación del laboratorio analítico LUCES por un monto cercano al millón de USD. En el año 2008, se anunció, por el Consejo de Estado, la creación del Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEAC) institución multidisciplinaria enfocada principalmente hacia la nanobiotecnología y la nanomedicina. La primera fase de esta inversión está prácticamente concluida. En el marco de este proyecto se realiza una intensa labor de entrenamiento y formación posgraduada de jóvenes científicos cubanos en universidades europeas.

\* Universidad de La Habana. Facultad de Física e Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales. <[crc@fisica.uh.cu](mailto:crc@fisica.uh.cu)>. Miembro de la Red NANODYF.

Se desarrollan regularmente eventos científicos y cursos internacionales relacionados con las nanociencias y las nanotecnologías, los cuales comenzaron en 2001 con un evento internacional sobre nanoelectrónica organizado por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME) del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría” (ISPJAE), y continuaron con las escuelas de verano, que desde entonces organiza cada año el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE) de la Universidad de La Habana (UH). Se destaca, además, el Taller Internacional de Nanomagnetismo (2004), el XVII Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido (2004), la conferencia “La Ciencia de Materiales en la era Nano” (2009) y tres seminarios internacionales de nanociencias y nanotecnologías (2006, 2008, 2010). Se han organizado encuentros binacionales con representantes de México (2003, 2009), el Reino Unido (2004), Brasil (2007, 2010), Sudáfrica (2010) y una reunión de la Red de Macrouiversidades de América Latina (2006). Entre los visitantes distinguidos recibidos en estos eventos durante la década se destacan los premios Nobel: Zhores Ivanovich Alférov (2007 y 2010) y Robert Curl (2009), así como el inventor del AFM, Christopher Geber (2009).

## DIVULGACIÓN

A partir de 2001 se incrementó en el país la divulgación y popularización de las nanociencias y las nanotecnologías para diversos públicos.

Por una parte, se destaca la labor dirigida a informar al gobierno y otros decisores sobre el contenido y posibles consecuencias del desarrollo de las nanotecnologías. Ésta comenzó en 2002, cuando el Observatorio de Ciencia y Tecnología del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) organizó un equipo de especialistas que preparó el documento “Elementos iniciales para el análisis de la nanotecnología en Cuba” dirigido al gobierno y a los directores de varias instituciones científicas. Un segundo proyecto de prospectiva sobre “Nanomateriales” se ejecutó entre 2005 y 2006 en el marco del Programa Nacional de Ciencia e Inno-

vación Tecnológica “Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada”.

Entre los años 2005 y 2007 un grupo de expertos convocados por la oficina del asesor científico del Consejo de Estado elaboró un estudio y una propuesta de la cual derivó la decisión de crear el CEAC mencionado anteriormente. También, la Academia de Ciencias de Cuba convocó a un grupo de expertos que propusieron modificaciones al código de ética de los trabajadores de la ciencia en Cuba de modo que éste incluyese algunos nuevos problemas planteados por el desarrollo de las nanotecnologías.

Por otra parte, se ha trabajado al interior de la comunidad científica para identificar intereses comunes y promover la colaboración interdisciplinaria en este campo.

En el año 2001, por iniciativa del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) y el IMRE, se realizó el taller nacional “Las Nanotecnologías en la Biotecnología y la Industria Médico – Farmacéutica” con la participación de varios centros de ese sector.

En el año 2002, se creó la Red de Nanotecnologías del Ministerio de Educación Superior, integrada por 12 instituciones, con el objetivo de “impulsar la cooperación científica nacional e internacional en nanociencias y nanotecnologías”. La red ha organizado varios encuentros nacionales y ha coordinado la participación de especialistas cubanos en reuniones Cuba–México (2003, 2009), Cuba–Reino Unido (2004), Cuba–Brasil (2007) y de la Red de Macrouiversidades de América Latina (2006). En el año 2009, la Universidad de la Habana creó un Colegio de Nanotecnologías, que agrupa a especialistas de las ciencias naturales, económicas y sociales.

Para públicos más amplios, se han desarrollado numerosas iniciativas que incluyen conferencias en escuelas y otras instituciones, artículos de prensa, teleclases y otras. Tanto la prensa plana como la radio y la TV le han brindado cobertura a los eventos científicos relacionados con las nanotecnologías que han tenido lugar en el país. Muchos periodistas cubanos manifiestan interés por ampliar la divulgación de las nanociencias y las nanotecnologías. Algunos órganos de prensa, como la revista *Juventud Técnica* muestran es-

pecial vocación por el tema. En periódicos y revistas ha sido publicada una decena de artículos ilustrados sobre las nanotecnologías, que enfatizan las aplicaciones prácticas y los posibles beneficios de los “nanoproductos”. Sin embargo, la TV cubana no ha podido disponer de documentales o materiales filmicos de suficiente calidad para realizar una divulgación más atractiva, que transmita al público, especialmente a los jóvenes, la fantasía de la manipulación de los átomos, las posibilidades tecnológicas que ofrece y la maravilla del comportamiento de la materia en la nanoescala.

## FORMACIÓN

La mayor parte de las actividades de formación desarrolladas se concentran en el posgrado y en los años terminales de algunas carreras de ciencias e ingeniería. Aunque no existe en las universidades cubanas un programa de posgrado dedicado específicamente a las nanotecnologías, se han defendido en el país más de treinta tesis de doctorado, así como un número indeterminado de tesis de maestría, licenciatura o ingeniería en temas de física, química, biología, ciencia de materiales y electrónica directamente relacionados con las nanotecnologías. Como parte del proyecto de creación del CEAC, se lleva a cabo un programa de entrenamiento y formación en laboratorios europeos de un grupo de jóvenes graduados de carreras de ciencias e ingeniería.

Aunque los programas de física, química y biología que se imparten en la escuela secundaria cubana incluyen los contenidos básicos necesarios para ilustrar algunos fenómenos característicos de la nanoescala y sus aplicaciones, no hay mención explícita de estos tópicos en esos cursos. Con mayor razón, no se incluyen contenidos relacionados con las nanociencias y nanotecnologías en la escuela primaria. Probablemente estén faltando materiales didácticos que contengan ejemplos ilustrativos, problemas sencillos, experimentos filmados o simulaciones, así como la capacitación correspondiente a los maestros y profesores para apoyar su trabajo.

Lo anterior es extensible a los cursos básicos de las universidades, aunque hay excepciones.

Desde hace varios años, especialistas del ISP-JAE vienen introduciendo de forma sistemática conocimientos actualizados de “Nanoelectrónica” en los programas de la disciplina electrónica que se imparte en las carreras de ingeniería en las universidades cubanas. El programa televisivo “Universidad para Todos” ha retransmitido en varias ocasiones dos clases sobre nanociencias y nanotecnologías como parte de un curso de nuevas tecnologías. También se impartió una teleclase sobre “El desarrollo de las nanotecnologías en Cuba”. Sin embargo, estos cursos podrían ampliarse y modernizarse apreciablemente, especialmente si se contase con materiales audiovisuales de alta calidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ha propuesto convocar a un concurso de elaboración de materiales didácticos y de divulgación para su uso en los niveles primario y secundario, así como en los cursos básicos de nivel universitario. La propuesta se encuentra en fase de implementación.

En el sitio web del IMRE se puso en funcionamiento un repositorio de nanotecnologías <<http://nanorepo.imre.oc.uh.cu/>>, con artículos y libros de interés general en este campo. Actualmente, se prepara un libro para estudiantes universitarios cubanos de una amplia gama de especialidades, que cubrirá contenidos relacionados con las bases científicas, las aplicaciones tecnológicas y las implicaciones sociales de las nanotecnologías.

## CONCLUSIONES

En las condiciones de un país pequeño, subdesarrollado y bloqueado como Cuba, se realizan modestos esfuerzos por desarrollar las capacidades para aprovechar las oportunidades que plantean las nanotecnologías, teniendo en cuenta especialmente las fortalezas existentes en la formación de recursos humanos de alto nivel en ciencias básicas y el desarrollo alcanzado por la biotecnología y la industria medicofarmacéutica, importante sector de alta tecnología en la economía cubana.

En este esfuerzo, la formación y divulgación, dirigida a todos los sectores de la sociedad, pero

muy especialmente a los jóvenes, juega un papel central, porque la principal fortaleza siempre será la preparación y motivación del factor humano.

Tanto en el sistema de educación, como en los medios de comunicación existe un gran potencial para incrementar la formación y divulgación en nanociencias y nanotecnologías, pero se necesita disponer de una mayor cantidad de materiales de calidad que se puedan poner en manos de maestros, profesores y comunicadores.

La formación y divulgación en nanotecnologías no debe estar dirigida exclusivamente a deslumbrarnos con los nuevos “nanoproductos” y exaltar su utilidad práctica, sino también a estimular la fantasía y la creatividad de los jóvenes presentándoles las maravillas del nanomundo y las nuevas posibilidades de fabricación y modificación de la materia que les ofrecen las nanotecnologías. Al mismo tiempo, deben considerarse los aspectos económicos, sociales y ambientales relacionados con el desarrollo de las nanotecnologías, incluyendo los riesgos o peligros que plantea.

Al igual que la investigación, las actividades de formación y divulgación requieren, junto con los esfuerzos nacionales, de una amplia y creciente participación en la colaboración internacional, que permita potenciar los limitados recursos disponibles y acceder a medios con los que el país no cuenta, al tiempo que se pongan a disposición de otros los modestos logros que se alcancen.

## RECOMENDACIONES

Estimular la producción, el intercambio y la difusión de materiales didácticos o de divulgación de alta calidad sobre nanociencias y nanotecnologías que puedan ser puestos a la disposición de maestros, profesores y comunicadores.

## REFERENCIAS

- [1] Rodríguez Castellanos, C. (2009). *Nanoamezanas y nanoportunidades. Universidad 2010*. ISBN 978-959-16-1137-6, 2009. <<http://revistas.mes.edu.cu/elibro>>.
- [2] Estévez Rams, E. y Aragón Fernández, B. (2010a). “Deshojando margaritas: ¿nanociencia o nanotecnología?”. *Revista Universidad de la Habana*, núm. 2718:33, 2010.
- [3] Estévez Rams, E. y Aragón Fernández, B. (2010b). “La fábula de los tres hermanos: las nanociencias y las nanotecnologías en el contexto cubano”. *Revista Temas*, núm. 61. <<http://www.temas.cult.cu/>>.
- [4] Castro Díaz-Balart F. (2011). “La nanotecnología y el desarrollo. Oportunidades e incertidumbres”. *Anales de la Academia de Ciencias*, vol. 1. <[No.1http://www.revistacuba.cu/](http://www.revistacuba.cu/)>.

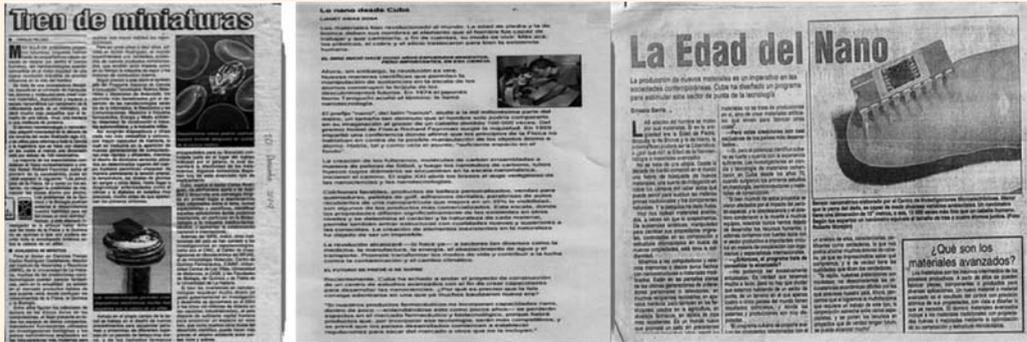
**IMAGEN 1.** Microscopio de efecto túnel fabricado en el IMRE con la colaboración del Centro de Nanociencias y Nanotecnologías de Ensenada, México. Imagen de resolución atómica de una superficie de grafito tomada con el mismo (ampliamente divulgada en Cuba).



**IMAGEN 2** El doctor Robert F. Curl, Premio Nobel de Química en 1996, durante su visita al Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas (IPVCE) “Vladimir I. Lenin”, ubicado en la periferia de La Habana, Cuba, el 26 de noviembre de 2009.



IMAGEN 3. Algunos artículos sobre nanotecnologías publicados en diarios cubanos.



## La divulgación y la formación de la nanociencia y la nanotecnología en España: un largo camino por delante

PEDRO A. SERENA\*  
JOAQUÍN D. TUTOR\*\*

España ha experimentado un notable incremento de la actividad científica a lo largo de los últimos treinta años debido a una conjunción de factores que han permitido que en estos momentos ocupe la décima posición mundial en términos tanto de producción científica como de impacto de sus publicaciones. Esta posición en el ámbito científico es consistente con su posición como décima economía mundial en términos de Producto Interior Bruto. Entre los factores que han permitido que España ocupe esta privilegiada posición, podemos destacar los siguientes: (i) una política activa y continuada en el fomento de las actividades de investigación y desarrollo (I+D) llevada a cabo con mayor o menor intensidad por todos los gobiernos que han dirigido tanto la nación como las comunidades autónomas; (ii) la promulgación en 1986 de una Ley de la Ciencia que se ha mantenido en vigor durante 25 años, sin grandes cambios, permitiendo un esquema formal y estable, el denominado Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación (PNIDI), que ha evitado grandes fluctuaciones e incertidumbres en la financiación de proyectos e infraestructuras y ha permitido diseñar una estructura para la carrera científica [Plan Nacional 2008-2011] y, (iii) la formación de cuadros de investigadores en países de gran tradición científica y su posterior reincorporación al tejido científico español.

A pesar de los logros de la ciencia española, el modelo presentaba ciertas inconsistencias y ha comenzado a manifestar señales de agota-

miento. Por ejemplo, no ha sabido dar un impulso decisivo a la investigación y desarrollo en el tejido industrial español, cuyos indicadores de actividad de I+D+i no son tan impactantes como los del mundo académico. Otros ejemplos los encontramos en la deficitaria balanza de pagos en productos de alta tecnología, el escaso número de empresas que incorporan doctores en sus plantillas, o la escasez de patentes que tienen origen en el sector privado. Todos estos indicadores negativos han sido decisivos para proponer el cambio de la Ley de la Ciencia que ha tenido lugar recientemente con el consenso de todas las fuerzas políticas [Ley de la Ciencia, 2011]. Es importante señalar, que esta nueva ley señala, por primera vez en nuestra historia, que las actividades de divulgación y comunicación de la ciencia son consustanciales a la actividad científica y que se deben establecer criterios para valorar dichas actividades en la carrera de un investigador. Sin duda, la ley pretende promocionar algunos aspectos que no se habían tratado adecuadamente en el pasado.

En este contexto de éxito relativo en el ámbito científico y de una escasa transferencia del conocimiento hacia el sector productivo, es en el que la nanociencia y la nanotecnología (NyN), ramas emergentes del conocimiento, han aparecido en el escenario de la ciencia y tecnología españolas. Sin embargo, la manera en la que se gestó la nanotecnología en España ha tenido ciertas peculiaridades que han permitido en es-

\* Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Madrid, España. Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF), CYTED.

\*\* Escuela Técnica Superior de Ingeniería, ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España. Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología (NANODYF), CYTED. <jdtutor@upcomillas.es>.

tos momentos, que España sea el séptimo país del mundo en términos de producción científica en este ámbito y el más productivo en el contexto iberoamericano [OEI, 2009]. Uno de los factores que explican este gran desarrollo ha sido, por ejemplo, el acceso temprano, en 1983-1984, por parte de los grupos de investigación españoles del entorno de la Universidad Autónoma de Madrid a los microscopios de proximidad (STM, AFM, etc.). Es oportuno reflexionar sobre la escuela de microscopistas en STM y AFM de la Universidad Autónoma de Madrid, ya que fue una de las primeras en establecerse en el mundo y ha dado lugar a algunas empresas *spin-off* de cierto éxito internacional y ha servido para nuclear nuevos centros de investigación. Estamos ante un claro ejemplo del éxito asociado a tener una ventaja competitiva.

Otro factor clave que ha condicionado el impacto de la NyN en España es la relativamente rápida autoorganización de los científicos en redes como la Red Nanociencia (1999-2004) y la Red NanoSpain, activa desde el año 2000 [NanoSpain]. La red NanoSpain, que en la actualidad cuenta con más de 310 grupos inscritos, ha sido otro de los elementos que ha permitido consolidar la investigación en NyN, pues ha proporcionado gran visibilidad a esta comunidad científica. NanoSpain, además, sirvió de catalizador ante el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología, para que la nanotecnología tuviese un especial trato dentro del Plan Nacional de I+D+i. Durante las dos últimas ediciones de dicho plan, 2004-2007 y 2008-2011, el gobierno de España ha impulsado el desarrollo de NyN a través de una Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología [Acción Estratégica NyN]. En este marco se han aprobado numerosos proyectos de gran impacto científico (dentro del llamado programa Consolider), otros tendentes a fomentar la actividad industrial (programa CENIT de proyectos de colaboración entre empresas y centros públicos), y otros focalizados hacia el sector biomédico, como los proyectos dentro del consorcio CIBER-BBN [CIBER-BBN]. Otra gran apuesta de la Administración General del Estado ha sido la puesta en marcha de grandes infraestructuras como el sincrotrón ALBA [ALBA] (ver imagen 1),

cofinanciado entre el gobierno de España, y la Generalitat de Cataluña, o el Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnología (INL) [INL], proyecto de gran envergadura co-financiado por los gobiernos de Portugal y España y ubicado en Braga (Portugal).

A este esfuerzo del gobierno central hay que añadir el efectuado por las Comunidades Autónomas (CCAA), que han impulsado la creación de nuevas infraestructuras singulares y avanzados centros de investigación. Por otro lado, la colaboración pública-privada ha permitido el desarrollo de nuevas plataformas tecnológicas y redes dedicadas a la aplicación de la nanotecnología en diferentes sectores: salud, materiales, electrónica, construcción, automoción, etc. Como resultado de todas estas actuaciones durante los últimos años se han invertido en España varios cientos de millones de euros en la promoción de la nanotecnología [Serena 2007, 2009].

Ya hemos mencionado que los resultados científicos han sido considerables, como acredita la excelente posición en el *ranking* mundial de publicaciones. Sin embargo no se puede decir lo mismo sobre la implantación de las nanotecnologías en los sectores productivos de España.

**IMAGEN 1.** El sincrotrón ALBA-CELLS [ALBA], situado en Cerdanyola del Vallès (Barcelona), es una de las mayores infraestructuras científicas de España y pertenece a la red de Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares (ICTS) del Ministerio de Ciencia e Innovación. Con una inversión de más de 200 millones de euros, este sincrotrón tiene siete líneas de trabajo, algunas de las cuales están estrechamente relacionadas con la nanotecnología.



Fuente de la imagen: <[http://www.cells.es/Images/aerial-view2011\\_small](http://www.cells.es/Images/aerial-view2011_small)>.

En este ámbito, como en otros sectores económicos, España carece de grandes grupos industriales que sean competitivos a nivel mundial. Sin embargo, comienzan a aparecer empresas (generalmente *spin-offs* procedentes de grupos de investigación) que lanzan sus productos hacia el feroz mercado global. Muchas de estas empresas se encuentran vinculadas a la extensa red de Parques Científicos y Tecnológicos que existe en España [APTE]. Algunas de estas iniciativas emprendedoras han contado con el apoyo del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que, a través del Instituto de Comercio Exterior (ICEX), ha promovido que empresas e instituciones españolas participen en ferias internacionales de nanotecnología [ICEX]. Sin embargo, a pesar de todo este esfuerzo realizado quedan muchos pasos que dar para que España pueda homologarse plenamente con los países más avanzados del mundo. Se espera que la nueva Ley de la Ciencia [Ley de la Ciencia, 2011] sea el instrumento capaz de permitir esta convergencia.

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

Los representantes más ilustres del sistema ciencia-tecnología-sociedad han señalado que la única manera que España tiene para seguir ocupando puestos de privilegio en el contexto económicosocial mundial es mediante una estrategia en la que ciudadanos, administraciones públicas, empresas y otras entidades privadas desarrollen sus actividades en un entorno innovador, que favorezca la generación y utilización de nuevos conocimientos para producir bienes y servicios de alto valor añadido. Estamos hablando de transformar la sociedad actual en otra que realmente esté basada en el conocimiento y en una actitud más emprendedora de la ciudadanía, apoyada por un Estado eficiente y moderno.

La divulgación de la nanotecnología, como vía de transformación social en el campo de NyN, tiene que propiciar la conexión nanociencia-nanotecnología-sociedad. Sin embargo, este ejercicio de divulgación de la NyN posee unos atractivos ingredientes que la diferencian de la

divulgación de otros tópicos científicos. El carácter multidisciplinar de la NyN permite usar lenguajes, experiencias y ejemplos muy variados, y encontrar numerosísimos ámbitos de aplicación. De esta manera, se puede transmitir de manera atractiva cómo, gracias a los diminutos objetos que pueblan el nanomundo, el ser humano va a ser capaz de elaborar nuevos materiales, nuevos dispositivos, nuevas formas de curación, nuevas fuentes de producción de energía... ¡La nanotecnología tiene “gancho” multidisciplinar! Con ella nos podemos acercar a personas que sienten atracción por la física, la biología, la química, la ingeniería, las matemáticas, la medicina. La nanotecnología es un gran recurso pedagógico para atraer hacia la ciencia a la población y sirve para incentivar la curiosidad y vocaciones científicas de los más jóvenes. Como contrapartida, la divulgación de la nanotecnología tiene sus propios problemas: (i) se trata de un campo muy extenso, con diferentes jergas y vías de aproximación, (ii) se trabaja con entidades que no se pueden ver a simple vista, y (iii) estos objetos funcionan siguiendo las ecuaciones poco intuitivas de la mecánica cuántica. Por todo esto, la nanotecnología requiere una divulgación más cuidada, más pensada, que seguramente exija el uso combinado de muchos de los recursos que actualmente están a nuestro alcance.

Si bien es cierto que la divulgación de la ciencia y la tecnología ha tenido un gran impulso en los últimos años gracias de diversas iniciativas de los gobiernos nacional y autonómicos [FE-CYT, 2011], las iniciativas de divulgación de la nanotecnología en España han sido escasas, esporádicas, y fruto de las iniciativas de un grupo entusiasta de personas que han actuado con generosa iniciativa pero con poca coordinación y poco apoyo desde las distintas instituciones. Esta situación nada tiene que ver con la que se ha dado en otros países como Estados Unidos, Japón, Taiwán, Alemania o Francia donde desde sus respectivos gobiernos se han establecido planes específicos de gran calado, en un intento de acercar la NyN a la ciudadanía con el fin de prepararla para la avalancha de productos que llegarán a nuestros mercados y tiendas en las próximas décadas basados en NyN.

Examinando las tablas que aparecen en el Anexo de este número especial (p. 138), observamos que de los más de treinta libros e informes que han sido publicados en España, y que están relacionados con la nanotecnología, sólo cinco están dedicados a la divulgación de esta rama del saber. Este número es muy pequeño si se compara con los libros de divulgación que se han editado en otros países como EUA, Francia, Alemania o Reino Unido.

Al contrario de lo que sucede con los libros, se puede decir que desde hace más de diez años se ha publicado un buen número de artículos de divulgación científica, de distintos niveles, y que han tratado diversos tópicos relacionados con la nanociencia y la nanotecnología. Además de estos artículos, accesibles por lo general al público que ya está interesado por los contenidos científicos, se ha hecho un esfuerzo relativo por parte de periódicos y revistas generalistas. Se puede decir que cada año ha habido algún artículo o suplemento de un periódico de cierta importancia dedicado a la NyN, destacando los que han aparecido en *El País*, *El Cultural de El Mundo*, *La Vanguardia*, etcétera.

Otra actividad que ha permitido que aquellos contenidos relacionados con la nanotecnología hayan llegado a la sociedad ha sido la convocatoria de concursos y el montaje de exposiciones. En cuanto a la convocatoria de concursos podemos destacar el concurso anual, de carácter nacional, FOTCIENCIA, patrocinado por la FECYT y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que cuenta con una sección de imágenes de microscopía [FOTCIENCIA]. El otro concurso, SPMAGE [SPMAGE], sólo ha celebrado dos ediciones de carácter internacional y se ha especializado en imágenes obtenidas mediante microscopía de barrido de sonda local (SPM). Los dos concursos han dado lugar a dos exposiciones itinerantes (imagen 2) de imágenes que han tenido gran éxito, recorriendo decenas de localidades de toda la geografía española y de algún que otro país iberoamericano. Además de estas exposiciones, se han realizado otras de carácter más didáctico en Cataluña y Aragón. Aunque estas iniciativas son interesantes, en estos momentos ningún museo de la ciencia, de los

muchos que existen en España, tiene en proyecto una exposición permanente dedicada a NyN. Esta situación es totalmente opuesta a la que se da en otros países como Francia, Alemania, Reino Unido, Irán o Brasil, donde se han llevado a cabo ambiciosos proyectos expositivos, tanto permanentes como itinerantes.

Quizás el espacio donde más se habla de nanotecnología sea internet, donde hay ya varios millones de páginas relacionadas con el término “nanotecnología”. Páginas webs de centros de investigación, de revistas, blogs de centros, de particulares, redes sociales dedicadas al tema “nano”. Internet es un hervidero un tanto caótico donde se mezcla información relevante con mucho ruido o noticias contrarias al desarrollo de la nanotecnología. Todo esto hace que sea difícil encontrar materiales y contenidos adecuados a las expectativas de la persona interesada por la nanotecnología, ya sea un estudiante, un profesor o una persona con cierto interés por los avances de la ciencia. Éste es un ámbito en el que hay que hacer un esfuerzo dada la importancia que está adquiriendo como medio de comunicación de masas.

Finalmente, se debe mencionar que en los últimos años se ha hecho una promoción permanente de las actividades de divulgación científica, creándose nuevos museos, unidades de cultura científica, ciclos de conferencias, talle-

**IMAGEN 2.** Imagen de la exposición “Un paseo por el nanomundo” celebrada en el Museo Etnográfico de Castilla y León, durante los meses de junio y julio de 2011.



Fuente: Foto cortesía del Museo Etnográfico de Castilla y León.

res, programas de televisión, espacios en prensa escrita, entre otros, pero sólo una mínima parte de todas estas actividades ha estado relacionada con la NyN. En paralelo, esta rama del saber se ha convertido en una de las líneas prioritarias de investigación en la Unión Europea y en la agenda del Ministerio de Ciencia e Innovación de España. Sin duda, nos encontramos ante cierta contradicción que debe resolverse en los próximos años.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS CUATRO NIVELES DE ENSEÑANZA

Es sabido que las profundas transformaciones sociales deben estar acompañadas de actuaciones en diversos frentes, siendo el de la educación reglada uno de los más importantes. En España nos encontramos ante un reto formidable: no existe un modelo educativo estable y bien definido, pues éste ha sufrido considerables modificaciones en función de los cambios políticos. Esta situación es, quizá, uno de los fracasos colectivos más grandes de nuestro relativamente joven sistema democrático, en el que los principales actores no han sido capaces de llegar a un acuerdo sobre un modelo educativo que sirva de base para nuestro relanzamiento como país.

Tal debilidad del modelo educativo ha tenido una consecuencia palpable: España ocupa una posición mediocre en las clasificaciones internacionales que miden el nivel de conocimientos, capacidades de comunicación, habilidades matemáticas, etc. En concreto, en el informe de PISA 2009 [ME, 2009], España ocupaba la posición 35 (de 65 países) en cuanto a la competencia científica de la población estudiantil analizada.

Por lo tanto, la población que ahora mismo se encuentra formándose en las aulas posee más dificultades para desenvolverse con conceptos científicos, por lo que difícilmente nuestras sociedades verán líderes de los cambios científicotecnológicos que se avecinan, se sabe también que muchos de esos cambios vendrán de la mano de la nanotecnología, uno de los pilares de este cambio científicotecnológico y social [OPTI, 2008], y debe ser uno de los re-

ferentes de esta estrategia de cambio en los modelos educativos. Por lo tanto, parece lógico que los contenidos de NyN estén presentes, con las adecuadas matizaciones y adecuaciones curriculares, en los diseños curriculares de la educación primaria, de la enseñanza media, en la educación universitaria, en la formación profesional, en el reciclado de trabajadores, en la formación de consumidores, y en aquellas actividades formativas de la sociedad en general. Las enseñanzas formales cumplen seguramente el papel más importante para acercar la ciencia y tecnología a los ciudadanos.

La Real Sociedad Española de Física (RSEF), la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y la Confederación de Sociedades Científicas Españolas (COSCE) han llegado a la conclusión, a través de encuestas, entrevistas y trabajo de campo a nivel de centros de enseñanza primario, medio y superior, así como a nivel de centros de investigación, de que la enseñanza de las ciencias se ha degradado al punto de convertirse en una enseñanza formalista en los niveles primarios y medios españoles; con muy pocas horas docentes y ausencia casi absoluta de prácticas de laboratorio ni siquiera demostrativas, aun cuando nos referimos a asignaturas de ciencias eminentemente experimentales. Según estos informes, la gente valora la ciencia y a los científicos, pero poca gente quiere acercarse a la ciencia.

A nivel de la Administración Central del Estado, adscrito al Ministerio de Educación, existe el Instituto de Tecnologías Educativas (ITE; <<http://www.ite.educacion.es>>) el cual tiene como objetivos:

- Elaborar y difundir materiales en soporte digital y audiovisual de todas las áreas del conocimiento, con el fin de que las TIC sean un instrumento ordinario de trabajo en el aula para el profesorado de las distintas etapas educativas.
- Gestionar los convenios con las televisiones educativas: RTVE y TEIb.
- Realizar programas de formación específicos, en colaboración con las Comunidades Autónomas, en el ámbito de la aplicación en el aula de las TIC.

- Desarrollar el portal de recursos educativos del Ministerio de Educación.
- Crear redes sociales para facilitar el intercambio de experiencias y recursos entre el profesorado.

En el sitio web de este instituto, en el link de RECURSOS se pueden encontrar un gran número de recursos didácticos por asignaturas de ciencias dirigidos a los profesores de niveles primarios, medio (ESO y bachillerato) y formación profesional; un número considerable de estos recursos son materiales soportados por el uso de las NTICs a manera de laboratorios virtuales, talleres virtuales, presentaciones, así como otros documentos en los que se recomienda a los docentes de estos niveles, determinados tratamientos de los contenidos, así como de formas de organización del proceso docente y técnicas de evaluación y control de los conocimientos.

### *Nivel primario de enseñanza*

En el nivel de enseñanza primaria en España, las consejerías de educación de las CCAA trazan las guías generales de las asignaturas diseñadas para cada grado a nivel central por el Ministerio de Educación. Tanto las escuelas públicas, como las concertadas (privadas con subvenciones de las CCAA) y las privadas dependen en gran medida de los textos a utilizar en cada asignatura por grados y, por ende, los contenidos tratados o sugeridos por los autores de los libros de texto.

En este sentido, la inclusión o no de determinados temas está supeditada en gran medida a los textos utilizados por los profesores como de sus propias iniciativas. Lamentablemente, el tema de la NyN es nulo en este nivel de enseñanza en el contexto español. En la página de recursos del ITE dedicados a la asignatura de conocimiento del medio natural, social y cultural se presentan 26 recursos, ninguno de los cuales menciona algo relacionado con la NyN. Aunque no debemos ignorar algunas iniciativas en algunas CCAA en la que centros de enseñanza primaria organizan excursiones didácticas a centros de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ubicados en las diferen-

tes CCAA, o iniciativas como el CSIC en la Escuela [CSIC en la Escuela].

### *Nivel medio de enseñanza: enseñanza secundaria obligatoria (ESO) y bachillerato*

En la ESO y en el bachillerato en España, la situación en cuanto a estructuras de centros es análoga a la de los colegios primarios (público, concertado y privado).

En la ESO existen tres asignaturas donde hay nichos que podían ser ocupados por conocimientos de NyN: ciencias de la naturaleza, tecnología y, biología y geología. Los libros de textos de estas asignaturas, en cualquiera de las estructuras organizativas de la ESO, están huérfanos de contenidos relacionados con la NyN; en los recursos didácticos ofrecidos a los profesores a través de la página web del ITE se presentan 101 materiales de diversos tipos: ninguno de ellos se dedica a conocimientos elementales de NyN, y ni siquiera se hace mención a ello.

En el nivel de bachillerato, otro tanto de lo mismo. Existen un total de 4 asignaturas donde sería factible, y necesario, la introducción de conocimientos elementales acerca de la NyN. Estas asignaturas son: ciencia para el mundo contemporáneo, física y química, biología y geología, y tecnología industrial. Algunas editoriales como SM, Alianza Editorial y McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U. incluyen comentarios y figuras relacionadas con la nanobiología, la nanoelectrónica, la nanomedicina, etc., de una manera muy superficial y fuera de cualquier objetivo de aprendizaje. En el ITE se dedican 68 materiales como recursos didácticos de las asignaturas antes mencionadas y en las cuales, sólo un recurso (biología y geología) está dedicado a la introducción de conceptos de nanobiología.

Sin embargo, debemos destacar algunas iniciativas de gran valor instructivo y docente metodológico, en la introducción de conocimientos de NyN en el nivel medio de enseñanza en España. Estas son:

- Una unidad didáctica titulada *Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro* [Martín-

Gago *et al.*, 2008], dirigida principalmente a estudiantes de nivel medio de enseñanza, aunque puede ser utilizada como guía didáctica por profesores (imagen 3 (a)).

- Una unidad didáctica titulada *Nanotecnología. ¿Cómo será la vida dentro de 25 años* [Zaballos *et al.*, 2011], igualmente dirigida principalmente a estudiantes de nivel medio de enseñanza, aunque puede ser utilizada como guía didáctica por profesores (imagen 3 (b)).
- Curso de formación para el profesorado en el área de nanotecnología, aprobado por la Comunidad Autónoma de Madrid a propuesta del Colegio Oficial de Físicos (COFIS) y que será impartido por profesores e investigadores de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ETSI-ICAI) de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid y del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), CSIC, del 4 de octubre al 3 de noviembre de 2011. <[tin\\_COFIS\\_julioagosto2011.pdf> \(imagen 3 \(c\)\).](http://www.cofis.es/colegiado/boletinespdf/2011/Bole-</a></li>
</ul>
</div>
<div data-bbox=)

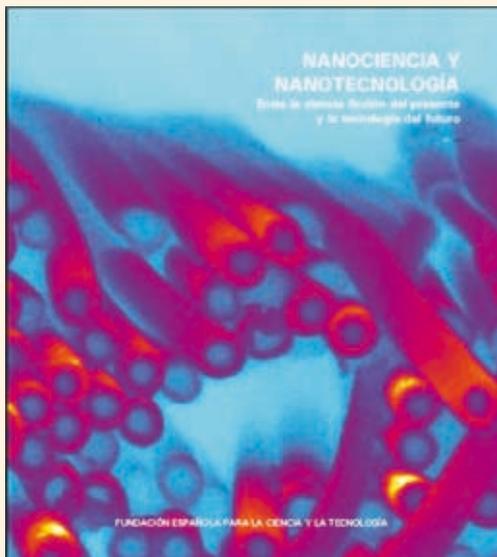
- 5 recursos en la web del ITE, dedicados a profesores a manera de noticias de ciencia y tecnología.

No se descarta la posibilidad de que existan otras iniciativas a este nivel, pero su cantidad y su visibilidad pública son escasas.

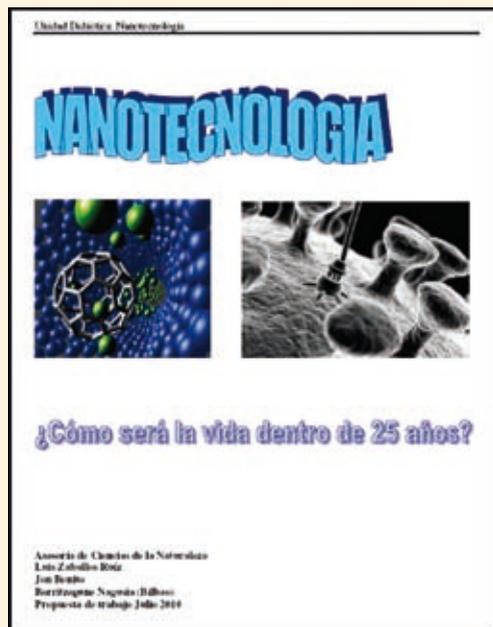
### Nivel de enseñanza universitario

En este nivel de enseñanza, en España, sí ha estado muy presente el tratamiento de conceptos, leyes y categorías relacionadas con la NyN, aunque de manera espontánea en la mayoría de los casos. Esto se ha debido a que una masa crítica de docentes de la educación superior española ha estado y están vinculados directamente en investigaciones en NyN. Temas de nanoelectrónica, nanomedicina, nanobiología, nanoquímica,

**IMAGEN 3(A).** Portada de la unidad didáctica *Nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro* [Martin-Gago *et al.*, 2008].



**IMAGEN 3(B).** Portada de la unidad didáctica *Nanotecnología. ¿Cómo será la vida dentro de 25 años* [Zaballos *et al.*, 2011]. Asesoría de Ciencias de la Naturaleza de la Consejería de Educación del País Vasco.



**IMAGEN 3(C).** Curso de formación para el profesorado en el área de nanotecnología. *Boletín Informativo del COFIS*, julio – agosto de 2011. <[http://www.cofis.es/colegiado/boletinespdf/2011/Boletin\\_COFIS\\_julioagosto2011.pdf](http://www.cofis.es/colegiado/boletinespdf/2011/Boletin_COFIS_julioagosto2011.pdf)>.



**cofis**  
CONSEJO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO

**Curso para Formación del Profesorado**

**"Introducción a la Nanotecnología: Actualidad y Perspectivas"**

CONSEJO DE EDUCACIÓN  
Comunidad de Madrid

## Nuevo curso del COFIS para la formación de los profesores en nanotecnología

Con el título «Introducción a la nanotecnología: actualidad y perspectivas», el Colegio de Físicos ha organizado un nuevo curso de formación del profesorado que se celebrará este próximo otoño en la Universidad Pontificia Comillas en Madrid.

El curso será presencial, con sesiones los martes y jueves entre el 4 de octubre y el 3 de noviembre de 2011, en horario de 18 a 21 h. Los colegiados tendrán un **descuento del 50%** sobre el precio general de 120 € y los profesores de Física y/o Química de ESO y Bachillerato recibirán 3 créditos de formación.

Más información en [administracion@cofis.es](mailto:administracion@cofis.es) y próximamente en: [www.cofis.es](http://www.cofis.es) > **Oferta formativa** > **Cofis organiza**

etc., se han incluido en asignaturas por parte de docentes investigadores; igualmente, una buena cantidad de textos especializados en NyN han servido de referencias bibliográficas en muchas asignaturas. Además en los currícula de grados de física, química, biología, ingeniería industrial, etc. en universidades públicas y privadas aparecen explícitamente asignaturas con títulos relacionados con la NyN.

En la actualidad, hay un gran debate sobre la posible implantación del grado en nanotecnología. Solo la Universidad Autónoma de Barcelona ha implantado este grado pero no existe aún un consenso sobre este tema. Y dependerá mucho de a qué nivel del mercado laboral español se haga explícita la necesidad de graduados con un perfil netamente de “nanoespecialistas”.

### *Nivel de enseñanza de posgraduado*

En este nivel de enseñanza donde se incluyen los cursos de Máster y doctorado se debe mencionar que en España hay ya una tradición en temas de NyN. En casi todas las universidades públicas españolas están presentes ambos tipos de cursos y en el caso de doctorados una considerable cantidad de tesis relacionadas con la NyN. Pero con el transcurso del tiempo la oferta se ha hecho mayor que la demanda por parte de graduados de licenciatura y de ingeniería lo que ha conllevado a que los cursos de Máster y doctorado en es-

tas especialidades se hayan convertido en cursos interuniversitarios.

En el caso de los cursos de Máster existe además una experiencia de una entidad privada, la Escuela Internacional de Negocios ALITER, que, desde el 2009, viene ofertando un Máster en nanotecnología y en la que han participado ya decenas de graduados universitarios que se encuentran trabajando, muchos de ellos, en medianas y pequeñas empresas tecnológicas con base en la nanotecnología.

En cuanto a los doctorados debemos mencionar que aún cuando el CSIC forma en estos momentos el 30% de los doctores, no está autorizado a expedir títulos de doctor, teniéndose que vincular a las universidades públicas para que éstas expidan los títulos correspondientes. Otro tanto ocurre con centros de punta en el área nano como son el Instituto Iberoamericano de Nanotecnología, el Centro Internacional de Nanotecnología, radicado en Cataluña, y el Centro Tecnológico NANOGUNE, en el País Vasco, que son centros formativos en NyN a nivel posgrado, sin autorización para expedir títulos de doctorado.

## CONCLUSIONES

Durante los últimos treinta años España ha avanzado mucho en términos de producción y calidad de sus resultados científicos, gracias a la estruc-

tura estable de los Planes Nacionales de I+D+i y a una inversión razonable en la formación de recursos humanos capacitados para las tareas de investigación y la construcción de instalaciones e infraestructuras homologables internacionalmente. La nanotecnología se ha desarrollado en este contexto de crecimiento y es de las ramas con más éxito a nivel mundial. Sin embargo, el sistema de I+D+i ha crecido dejando algunos huecos en su estructura que hacen imposible seguir creciendo con la misma estrategia. Estos problemas están relacionados con la transferencia de la ciencia y tecnología a la sociedad, en un sentido amplio. Por un lado, las empresas no han sabido aprovechar el caudal creativo de los investigadores y, por otro, la sociedad está absorbiendo lentamente los avances que se logran en nuestros laboratorios, decreciendo el interés por dedicarse a la ciencia. La nanotecnología tiene estos mismos problemas: llega con dificultad a las empresas y a la sociedad.

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo considerable tanto en transferencia de tecnología como en divulgación y formación, pero parece que los frutos van apareciendo muy lentamente. En el caso de la nanotecnología la situación es más dramática ya que mientras desde las instituciones que rigen la política científica del país se dice que este tema es clave para el desarrollo de la sociedad, en paralelo no hay iniciativas claras para incentivar que la nanociencia y la nanotecnología se implanten en la sociedad de una manera más consistente. En relación con la divulgación a todos los niveles de la nanotecnología se han hecho muchas cosas, pero sin una línea argumental clara, sin coordinación, basadas en el esfuerzo de “espon-táneos” obsesionados por acercar la ciencia a sus conciudadanos. Si nos comparamos con los otros países hermanos de Iberoamérica nuestra situación parece excelente, pero no debemos engañarnos, ya que estamos muy por detrás de los países que lideran el mundo, en los que ya existe una gran tradición por la transferencia y la divulgación, y que tienen modelos educativos sólidos y estables.

Nuestro modelo educativo es bastante inestable y no ha sabido ubicar correctamente la en-

señanza de las ciencias, y esto también ocurre con la nanotecnología. En los niveles educativos universitarios la situación no es mala, y hay una oferta razonable en términos de formación de posgrado, pero la situación cambia cuando descendemos al bachillerato, la educación secundaria o la primaria. En estos niveles lo “nano”, que puede servir de enganche para la ciencia, prácticamente no existe. ¿Es así como pensamos tener investigadores punteros o consumidores formados en el futuro?

## RECOMENDACIONES

- Potenciar la divulgación científica en general y la de la nanotecnología en particular, aumentando recursos y potenciando estructuras de red, para optimizar los recursos y materiales de una manera más eficiente.
- Potenciar la divulgación de la NyN como enganche para la gente joven hacia la ciencia. Esto se puede lograr debido a la fascinación que ejerce y a ser multidisciplinar, por lo que se puede activar la pasión por la ciencia en estudiantes o personas con diferentes perfiles.
- Potenciar actividades en “nano” a través de nuevos recursos: video juegos, video-presentaciones, comics, entre otras.
- Insertar la NyN en los museos de ciencia y tecnología, en particular en las sedes más modernas y mejor equipadas. Establecer contenidos itinerantes con demostradores, ilustraciones, imágenes, etc., imitando la iniciativa alemana de “NANOTRUCK” [Nanotruck] o la más modesta iniciativa del CSIC y FECYT del MOVILAB.
- Incentivar que grupos españoles planteen su participación en proyectos divulgativos a escala europea dentro del VII y VIII Programa Marco.
- Aumentar los contenidos de nanotecnología en todas las asignaturas donde haya posibilidades de introducir conocimientos con mayor o menor grado de profundidad sin detrimento de los contenidos básicos de las mismas.

- Elaborar un plan de formación de NyN para los profesores de ESO y bachillerato de toda España. Insertar contenidos de NyN en los nuevos máster de formación del profesorado.
- Estudiar la necesidad y conveniencia de establecer estudios de NyN a nivel de grado, siempre y cuando haya respaldo del mercado laboral español para tales especializaciones.
- Potenciar la parte experimental de la ciencia. Aumentar horas de física y química en ESO y bachillerato. Establecer planes de estudio nuevos, con temario menos extenso, enfatizando aquellas competencias experimentales o que permiten establecer conexiones entre conceptos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [Acción Estratégica NyN] Acción estratégica de Nanociencia y Nanotecnología, Nuevos Materiales y Nuevos Procesos Industriales (2008-2011). Ministerio de Ciencia e Innovación. <<http://www.micinn.es>>. (Inicio -> PLAN NACIONAL de I+D+i 2008-2011 > Acciones Estratégicas).
- [ALBA] ALBA-CELLS Synchrtron Light Facility. <<http://www.cells.es/>>.
- [APTE] Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos de España (APTE). <<http://www.apte.org/es/>>.
- [CIBER-BBN] Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN). <<http://www.ciberbbn.es/>>.
- [CSIC en la Escuela] Programa CSIC en la Escuela. <<http://www.csicenlaescuela.csic.es/>>.
- [FECYT, 2011] Fundación Española de Ciencia y Tecnología (2011). "Diez años de divulgación científica en España". <<http://www.fecyt.es/>>.
- [FOTCIENCIA] Certamen Nacional de Fotografía Científica (FOTCIENCIA). <<http://www.fotciencia.es/>>.
- [ICEX] Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX). <<http://www.icex.es>>.
- [INL] Laboratorio Internacional Ibérico de Nanotecnología. <<http://www.inl.int/>>.
- [Ley de la Ciencia, 2011] Ley 14/2011, de 1 de junio, de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación. <<http://www.boe.es/boe/dias/2011/06/02/pdfs/BOE-A-2011-9617.pdf>>.
- [Martín-Gago *et al.*, 2008] Martín-Gago, J.A. *et al.* Unidad didáctica Nanociencia y Nanotecnología. *Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. Madridcolor I.D., S.L. ISBN 978-84-691-7266-7.
- [ME, 2009] Ministerio de Educación (2009). Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos OCDE (Informe Español). <[http://www.educacion.gob.es/ievaluacion.html#pisa2009\\_1](http://www.educacion.gob.es/ievaluacion.html#pisa2009_1)>.
- [NanoSpain] Red Española de Nanotecnología (NanoSpain). <<http://www.nanospain.org/>>.
- [Nanotruck] Iniciativa "Nanotruck" del Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania. <<http://www.nanotruck.de/en/home.html>>.
- [OEI 2009] Organización de Estados Iberoamericanos (2009). *La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias*. <<http://www.oei.es/salactsi/nano.pdf>>.
- [OPTI, 2008] Fundación Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial (OPTI) y Fundación INASMET-TECNALIA (2008). "Aplicaciones Industriales de las Nanotecnologías en España en el Horizonte 2020".
- [Plan Nacional 2008-2011] Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación <<http://icono.fecyt.es/contenido.asp?dir=05%29Publi/AA%29planaid>>.
- [Serena, 2007] Serena, P.A. (2007) «The implementation of the Action Plan for Nanosciences and Nanotechnologies in Spain (2005-2007)». *E-Nano Newsletters*, 15: 22-34. <[http://www.phantomsnet.net/files/E\\_NANO\\_Newsletter\\_Issue15.pdf](http://www.phantomsnet.net/files/E_NANO_Newsletter_Issue15.pdf)>.
- [Serena, 2009] Serena, P.A. (2009). "La implantación de la nanotecnología en España: muchas luces y alguna sombra". *Revista "Mundo-Nano"*, vol. 2, núm. 2: 74-90.

(SPMAGE) Concurso Internacional de Imágenes SPM (SPMAGE). <<http://www.icmm.csic.es/spmage>>.

[Zaballos *et al.*, 2011] Zaballos Ruíz, L. y Benito J. (2011). Unidad didáctica *Nanotecnología. ¿Cómo será la vida dentro de 25 años*. Asesoría de Ciencias de la Naturaleza de la Consejería de Educación del País Vasco, España.

## Divulgación y formación en nanotecnología en México

NOBORU TAKEUCHI\*  
MIGUEL E. MORA RAMOS\*\*

La manipulación de la materia a escala nanométrica ya comienza a dar frutos en aplicaciones que tienen el potencial de impactar prácticamente todos los aspectos de nuestras vidas. Es por eso que en muchos países se tienen políticas y estrategias que buscan fomentarlas. En particular, se han lanzado iniciativas nacionales de nanotecnología para coordinar y fomentar a nivel gubernamental la investigación y el desarrollo de la nanotecnología. En México no existe una iniciativa de esta clase. Es posible constatar la existencia de inversión en la infraestructura de investigación de alta calidad pero contrasta con la ausencia de una política clara por parte del gobierno y de un programa coherente que articule la actividad en esta rama desde la realización de investigación básica hasta la obtención de patentes y la articulación con la industria,

Sin embargo, esto no significa que no se haga investigación en el campo. En un gran número de universidades y centros de investigación se trabaja en temas relacionados con la nanotecnología, con diversas calidades y grupos de investigación que trabajan investigaciones de primera línea [1]. Muchos de los grupos de investigación poseen equipamiento de primer nivel y recursos adecuados para el desarrollo de infraestructura para la investigación. Existe un número creciente de estudiantes, pero los técnicos capacitados para el manejo de equipos de alta tecnología son escasos. Mucha de la investigación realizada en estos centros es en ciencias básicas, y la mayoría de los sistemas de educación superior aún mantienen características de disciplina única.

Existen niveles muy reducidos de registro de inventos producto de la nanotecnología así como de solicitud de patentes asociadas.

Hacia finales del año 2006, el Conacyt lanzó una convocatoria para la creación de laboratorios nacionales, apoyando dos propuestas en el área de la nanotecnología. En la primera se respaldó al Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), localizado en la ciudad de Chihuahua, para la creación del Laboratorio Nacional de Nanotecnología (NaNoTeCH). El segundo proyecto aprobado benefició al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica en San Luis Potosí para la creación del Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología (LINAN). También, a finales del 2006, el Conacyt lanzó una convocatoria para la elaboración de megaproyectos en áreas estratégicas para el país. En el área de nanociencia y nanotecnología, se apoyó a 5 instituciones con \$100 mil pesos para la elaboración de una propuesta. Estos 5 proyectos se fusionaron para formar en el 2010 la Red Nacional de Nanociencia y Nanotecnología. Uno de los objetivos principales de la red es identificar e integrar a todos los grupos de investigación en las áreas de nanociencias, nanotecnología y nanomateriales.

Una gran parte de la investigación científica que se realiza en México se hace en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por tal motivo sorprende que también sea la institución mexicana que realiza el mayor número de investigaciones y publique más artículos en NyN en el país. La UNAM cuenta con un gran nú-

\* Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología. <takeuchi@cnyn.unam.mx>.

\*\* Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología.

mero de centros, institutos y facultades donde se realiza investigación en NyN, y, en marzo de 2008, se inauguró el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México en Ensenada, Baja California (imagen 1). Otras universidades e instituciones de investigación han creado centros especializados en nanotecnología, algunos de ellos son: Centro de Nanociencia y Micro-Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional, el Laboratorio de Nanotecnología e Ingeniería Molecular de la Universidad Autónoma Metropolitana, el Laboratorio de Nanotecnología, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía "MVS", México, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Laboratorio Nacional de Nanoelectrónica del INAOE.

Es difícil cuantificar el dinero que se invierte en investigación en nanotecnología en México. Según el informe elaborado por la Secretaría de Economía-CIMAV [2], entre los años 1998 y 2004 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) apoyó 152 proyectos de investigación relacionados con la nanociencia y la nanotecnología, que involucran a 58 instituciones, otorgándoles un presupuesto aproximado de 14.4 millones de dólares, a partir de la asignación de recursos a los proyectos individuales de ciencia básica (incluyendo a la UNAM) por parte del Conacyt. Como ejemplo, en el año 2010 se asignaron para esta clase de investigaciones un aproximado de 66 millones de pesos mexicanos. Asumiendo que en los últimos cinco años se haya destinado un promedio de 60 millones de pesos anuales tendríamos un total de 300 millones de

pesos, o unos 30 millones de dólares. Se pueden añadir algunas cantidades que se conoce han sido invertidas en la construcción de facilidades de investigación en el área, por ejemplo, en el año 2009, se inauguró el Centro de Nanociencia y Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional y se reporta que la inversión ascendió a 200 millones de pesos o 17 millones de dólares. Si se plantea el apoyo gubernamental a iniciativas parecidas en cuanto al equipamiento de otras instituciones, se podría inferir, en forma optimista, un total de 60 millones de dólares para el último quinquenio considerado.

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

En el 2008, se formó el consorcio académico denominado nanoUNAM, el cual es una iniciativa del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y del Programa Universitario de Nanotecnología Ambiental; todos de la Universidad Nacional Autónoma de México. En 2009, se integraron: el Instituto de Física, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Instituto de Biomédicas, el Instituto de Ciencias Físicas, el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, el Instituto de Investigaciones Sociales, el Instituto de Investigaciones Filosóficas y la Facultad de Derecho.

NanoUNAM es responsable de la edición de *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, la cual es una publicación universitaria de divulgación con el propósito de dar a conocer trabajos de colegas de las ciencias exactas, naturales, sociales y de las humanidades, y se publica semestralmente.

NanoUNAM es también responsable de la organización de los Encuentros Internacionales e Interdisciplinarios en Nanociencias y Nanotecnología – NanoMex, celebrados el 2008 en el Distrito Federal, el 2009 en Ensenada, y el 2010 en Cuernavaca.

Otros congresos especializados en NyN son los Nanotech, coorganizados por el Centro en In-

**IMAGEN 1.** Instalaciones del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Ensenada, Baja California.



investigaciones Ópticas, y los NanoMonterrey organizados por el CIMAV.

Libros relacionados con NyN y publicados en México son: *Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México*, por el CIMAV; *Guerra por lo invisible*, de Gian Carlo Delgado Ramos; *Nanociencia y nanotecnología* de Noboru Takeuchi (imagen 2); *Abecedario de la nanoenciclopedia*, de Boris Idulsovich Kharisov y Oxana V. Kharissova, y *Nanociencia y nanotecnología: panorama actual en México*, coordinado por Noboru Takeuchi.

En lo que respecta a la divulgación de NyN para niños se tiene el programa Ciencia Pumita. El objetivo principal es acercar a los niños a temas de ciencia y tecnología, particularmente a la nanociencia y la nanotecnología. 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 extiende la invitación a algunos grupos escolares a visitar las instalaciones del Centro, donde los niños y maestros tienen la oportunidad de ver los modernos equipos que están en los laboratorios, y así aprender directamente 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. Asimismo, se cuenta con una colección de libros

**IMAGEN 2.** Portada y contraportada del libro *Nanociencia y nanotecnología*, de Noboru Takeuchi.



**IMAGEN 3.** Portada y contraportada del libro *El pequeño e increíble nanomundo*, de Noboru Takeuchi y Marisol Romo.



denominada “Ciencia Pumita” con temas relacionados a las ciencias afines a la NyN tales como la física, la química y la biología. Los primeros libros publicados fueron *Hugo y las leyes de movimiento*, publicado en coedición UNAM/Editorial Resistencia, y *El pequeño e increíble Nanomundo* producto de una coedición de la UNAM y Editorial Resistencia, en la que también participan el Círculo Editorial Azteca de Fundación Azteca y el consorcio académico NanoUNAM. En este libro se enseña a los niños sobre la nanociencia y la nanotecnología (imagen 3).

En ambientes extrauniversitarios, es altamente escasa la labor de comunicación y de divulgación relacionada con estas áreas de la ciencia. Resulta significativo, por ejemplo, que la revista electrónica latinoamericana especializada en comunicación *Ciencia y Palabra* haya dedicado un número entero a la nanotecnología en 2009, abarcando disímiles aspectos y muy notoriamente algunas ideas relacionadas con su impacto social. En su gran mayoría, los contribuyentes a ese número son autores mexicanos o residentes en México. Esto, a pesar de ser todavía un hecho aislado, representa una demostración de la cada vez mayor incidencia de la nanociencia y la nanotecnología en el pensamiento actual, más allá de lo que prometen desde el punto de vista de su trascendencia económica.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE ENSEÑANZA

En México todavía no se incluyen temas y conceptos de nanociencia y nanotecnología en los

cursos de enseñanza básica (primaria y secundaria). Tampoco existen programas que de manera aunque sea parcial incorporen elementos de estas áreas en los centros de enseñanza tecnológica, con la consecuente carencia de una adecuada cartera de técnicos de laboratorio que pudiesen contar al menos con fundamentos teóricos de las principales técnicas analíticas y la instrumentación necesarias para el trabajo en la nanoinvestigación.

La componente principal de la formación en nanociencia y nanotecnología en el nivel universitario ha sido hasta hace muy poco la actividad de estudios de posgrado desarrollada por aspirantes a grados de maestría y doctorado insertados en los programas de los centros de investigación mencionados al inicio de este documento. Sin embargo, en estos momentos ya se cuenta con varios programas universitarios de nivel pregrado completamente dedicados a la NyN [3].

La primera universidad que ofreció un programa universitario en el tema de nanotecnología en México fue la Universidad de las Américas, Puebla (UDLAP), la cual a partir del 2006, ofrece la licenciatura en nanotecnología e ingeniería molecular. Esta licenciatura se cursa en nueve semestres y se enfoca principalmente a la ingeniería molecular y a la microelectrónica.

En la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, en septiembre del 2007, se abrió la carrera de ingeniería en nanotecnología, para completarse en ocho semestres. Sus temas de investigación son del área de energía (celdas solares de películas delgadas, producción de hidrógeno, almacenamiento de H<sub>2</sub>, baterías modernas, celdas de combustible y supercapacitores).

En el estado de Baja California, el Instituto Tecnológico de Tijuana (ITT) abrió, en el 2007, una ingeniería en nanotecnología, la cual se cursa en nueve semestres. Esta licenciatura se enfoca primordialmente en el área de química y cuenta con el apoyo del Centro de Graduados e Investigación en Química del ITT.

En Ensenada, la Universidad Autónoma de Baja California, en Baja California, ofrece una ingeniería en nanotecnología, la cual se cursa en

ocho semestres. A partir del 2011, se inicia una licenciatura en nanotecnología en el Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, en Ensenada.

A nivel posgrado hay algunas universidades con programas específicos en nanociencia y nanotecnología, como el CINVESTAV, en el Distrito Federal. Sin embargo, como ya se ha mencionado, en muchos de los programas de posgrado en temas como física, química y biología se realizan tesis de maestría y doctorado con temas enmarcados dentro de la nanotecnología.

## CONCLUSIONES

La nanotecnología transformará la ciencia, la tecnología y la sociedad en forma esencial.

En un lapso de entre 10 y 20 años, una parte significativa de la producción industrial, la atención médica y la interacción con el medio ambiente cambiarán debido a la utilización de las nuevas tecnologías. Serán afectadas ramas de la vida humana en el planeta como son el desarrollo de la economía, las oportunidades de trabajo y empleo, el desarrollo sustentable y cuidado y preservación del medio ambiente, entre otros. Para poder estar preparados para los cambios y poder asimilar, implementar y utilizar los beneficios de las nuevas tecnologías que se desarrollarán, toda la comunidad de científicos y tecnólogos deben incluir a todos sus miembros y a los miembros de la sociedad en el estudio de las manifestaciones futuras de los cambios que vendrán y en la definición de los objetivos sociales a lograr. También habrá que estar atentos a los efectos inesperados e implicaciones éticas de los mismos con vistas a poder hacer las correcciones necesarias en marcha. La nanotecnología podrá ayudar a resolver los urgentes problemas que tenemos en el mundo, como son la utilización de fuentes de energía renovables y alternativas, los cambios climáticos que se aproximan, la utilización de agua potable, el desarrollo de la agricultura y la creación de modos de desarrollo sustentables [4]. Esto resume muy bien la importancia de elaborar una estrategia de divulgación orientada no solamente a la atracción de los jóvenes estudiantes hacia la formación en áreas del

conocimiento que tendrán un papel preponderante en la economía y la sociedad de las próximas décadas sino que facilite el acercamiento del conjunto de todos los sectores sociales a la información que les familiarice con elementos que aunque ahora pertenezcan solamente al ámbito de los laboratorios de investigación, en pocos años puedan formar parte o repercutir de manera notable en el quehacer cotidiano de la humanidad.

México tiene grupos muy importantes trabajando en NyN en sus principales universidades y centros de investigación. El trabajo realizado es de muy alta calidad y los resultados de estos estudios son publicados en las mejores revistas del mundo. Sin embargo, el presupuesto asignado a la investigación en nanociencia y nanotecnología es muy pequeño comparado no solamente con el de países desarrollados, sino también con respecto a países de nuestra región, donde Brasil ya está tomando la delantera. No sólo es necesario un mayor apoyo financiero del gobierno, sino también que entienda la importancia de la NyN y lance una iniciativa nacional como ha ocurrido en muchos países. Es fundamental que el financiamiento que se otorgue a los proyectos sea a largo plazo. También es importante construir un puente entre la academia y la industria para que la investigación científica se transforme en productos que la industria nacional pueda comercializar. Por último, es imprescindible que la población conozca la importancia y el potencial que este nuevo campo de la ciencia ofrece, que se enteren de que en el país existe un grupo de investigadores, el cual, aunque pequeño, está dando todo su esfuerzo para que la nanociencia y la nanotecnología se desarrollen. Allí es primordial el aspecto de la difusión.

## RECOMENDACIONES

A tono con la necesidad que un país como México tiene de impulsar su independencia tecnológica, la implementación de una estrategia de divulgación y formación en nanociencia y nanotecnología es, sin temor a exagerar, un imperativo del momento. En este sentido, podemos sugerir el establecimiento de apoyos financieros especiales

a las instituciones de educación superior que determinen desarrollar programas de pregrado relacionados directamente con NyN. Por ejemplo, una vez establecida la viabilidad de los proyectos se podría destinar partidas presupuestales específicas para instalaciones y equipamiento que soporten el desarrollo de cada programa y la contratación de la fuerza calificada que estaría a cargo de la docencia y la investigación dentro de los mismos. Entre distintas alternativas se podría organizar un concurso anual que premie los tres primeros proyectos, garantizando el inicio de la realización de los mismos en un plazo no superior al año después de ser establecidos los correspondientes convenios. Este concurso deberá repetirse las veces que se considere necesario hasta conformar una red nacional de carreras universitarias directamente asociadas a NyN.

Al mismo tiempo, las instituciones encargadas de diseñar el esquema nacional de educación a nivel primario y medio deben proyectar la interacción con las instituciones e individuos vinculados a la investigación y desarrollo en NyN de forma que se regularice el suministro a los estudiantes de estos niveles de información actualizada, con propósitos motivacionales en estas áreas, a través de exposiciones, conferencias, materiales audiovisuales, programas de radio y televisión, visitas dirigidas, entre otras muchas.

Sería altamente deseable aprovechar la oportunidad de trabajar en conjunto con los colegas de Iberoamérica en el marco de la Red "José Roberto Leite" de Divulgación y Formación en Nanotecnología para, entre todos, generar un conjunto de propuestas de aplicación común a todos los países participantes que puedan servir como base para los respectivos documentos nacionales en caso de que éstos aún no se hayan elaborado, o bien como complemento a los ya existentes.

## REFERENCIAS

- [1] Cocolletzi, G. H., Vázquez-Nava, R.A., y Takeuchi, N. (2011). "Nanomateriales en las instituciones de educación superior y de investigación en México". *Mundo Nano*, vol. 3, núm. 2: 22.

- [2] “Diagnóstico y Propectiva de la Nanotecnología en México”, Secretaría de Economía, Ciudad de México, 2009.
- [3] Viana L. (2011). “La enseñanza de la nanotecnología en México”. En Noboru Takeuchi (ed.), *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México* Colección Aprender a Aprender, CEIICH, UNAM, México.
- [4] Hernández Rodríguez, A. (2009). “Breve estudio de las implicaciones sociales de la nanociencia y la nanotecnología”. *Razón y Palabra*, núm. 68.

## El reto de la divulgación y la formación en nanociencia y nanotecnología en Perú

JUSTO ROJAS TAPIA\*  
CARLOS VLADIMIR LANDURO SAENZ\*\*

No cabe duda, por lo menos para los actores de la ciencia y tecnología de los países avanzados, que con el desarrollo de la nanotecnología (NT) se avecina una verdadera revolución científico-tecnológica (Serena *et al.*, 2003). Por esta razón, la influencia de la nanotecnología en todos los aspectos de la actividad humana puede llegar a ser comparable con la influencia de la electricidad y antibióticos en el siglo XX y el internet en la era contemporánea. Si se logra realizar la esperanza, puesta por la comunidad científica internacional en las nanotecnologías en desarrollo, se dispondrá de una herramienta universal de reconstrucción del mundo material, que permite manipular realmente los ladrillos de construcción de la sustancia, es decir, los átomos, moléculas, nanopartículas o agregados (Jansen, 2004; Eberhardt, 2002). La nanotecnología, entendida como el conjunto de conocimientos, métodos y procedimientos que permiten de una manera controlada la manipulación de objetos cuyo tamaño no supera los 100 nm, por lo menos en una de sus dimensiones, es de enorme importancia casi para todos los campos de la industria. Los campos clave de aplicación de la nanotecnología son la medicina, la agricultura, el medio ambiente, la energética, los nuevos materiales, la tecnología de la información, entre otros muchos.

Las palabras con el prefijo corto, pero con gran potencial, “nano” como nanociencia (NC), nanotecnología, nanomateriales; especialidades como nanofísica, nanomedicina, nanoelectrónica, nanobiotecnología, etc. están posicionándo-

se cada vez con más fuerza en la conciencia de la gente que tiene relación con la ciencia y la tecnología en general. Desafortunadamente, debido a la carencia de políticas adecuadas en la educación y divulgación, estos términos aún no llegan a la gran masa de la sociedad, sobre todo en los países con menor desarrollo en ciencia y tecnología.

El análisis de las estrategias de organización de los trabajos en el desarrollo de NT en el mundo nos permite concluir que, a pesar de la inmensa variedad de líneas de investigación en este campo, cada país trata de seleccionar líneas de especial interés a las cuales prestar mayor atención (líneas prioritarias de investigación). Prácticamente, cada país diseña sus propias estrategias de desarrollo de la NT, que permita obtener ventajas competitivas y participación adecuada en el mercado. Por ejemplo, en Japón, uno de los países líderes en el desarrollo de la NT, han seleccionado cinco grandes campos: nanodispositivos, nanobiónica, nanomateriales, nanomedición y nano para el medio ambiente y energética.

En aquellos países donde se tomaron decisiones correctas para implementar todo un sistema y programas de desarrollo de la NT (Correia, 2008; Roco *et al.*, 2008, ) ya se están teniendo los resultados esperados, lo que puede verse en el aumento casi exponencial de la cantidad de publicaciones y patentes en NT (Dang *et al.*, 2010). De acuerdo con estos datos, la variación de la cantidad de patentes registradas en los años 2000 y 2008 para algunos países: EUA de

\* Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. <jrojust@unmsm.edu.pe>. Miembro de la Red NANODYF.

\*\* Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. <clandauros@unmsm.edu.pe>. Miembro de la Red NANODYF.

405 a 3,729 (9.2 veces); China de 105 a 5,030 (48 veces); México de 0 a 88 (88 veces), Brasil de 0 a 103 (103 veces), Ucrania de 0 a 83 (83 veces).

Teniendo en cuenta la enorme influencia de la nueva tecnología en todos los aspectos de la actividad humana es necesario realizar una divulgación adecuada de la NT resaltando no sólo sus ventajas sino también sus posibles riesgos (Delgado, 2006; Ramírez, 2006; Vandermoere *et al.*, 2010).

La implementación de políticas y programas integrales dedicadas a la NT, y en general a las actividades de investigación y desarrollo (I+D), aún está en sus inicios. Perú cuenta con una población aproximada de 30 millones de habitantes y un PBI per cápita de cerca de US\$9,330. Con una inversión en ciencia y tecnología en general de aproximadamente el 0.1 % del PBI, uno de los más bajos en América Latina, las posibilidades de desarrollo de las nanotecnologías son muy limitadas (Rodríguez, 2008; Díaz *et al.*, 2008; Kay *et al.*, 2009). No existen datos acerca de la inversión del estado y sector privado en NT, pero se sabe que es insignificante. Sin embargo, teniendo en cuenta que en los últimos años ha habido un crecimiento económico apreciable, y entre los planes relativos a la ciencia y tecnología del nuevo gobierno se hace una apuesta bastante significativa, se espera que la situación existente pueda mejorar si además se logra implementar el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2020 (PNCTI 2008).<sup>1</sup>

En cuanto a los trabajos previos acerca de la situación de la NT en el Perú se puede mencionar el de A. Gutarra (2007), en el cual describe con bastante amplitud los inicios de la nanotecnología en el Perú, los principales actores y grupos que la desarrollan, resaltando la importancia de la misma en el saneamiento del agua.

El presente trabajo está basado principalmente en información disponible en la red, así como en informaciones personales y comunicaciones en los distintos eventos. No pretendemos que ésta sea completa y si hay omisiones de tra-

bajos o grupos dedicados a la NT no fue por alguna razón en particular.

## SITUACIÓN DE LA DIVULGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA

En Perú, las primeras actividades relacionadas con la NC y la NT empiezan entre los años 1998 y 2000 como iniciativa de investigadores aislados o pequeños grupos de investigación, básicamente en algunas instituciones<sup>2</sup> como la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), la Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), y la Universidad Pontificia la Católica del Perú (PUCP).

Los principales trabajos de investigación relacionados con la NC y la NT se están llevando a cabo en los siguientes laboratorios y grupos:

- Grupo de películas delgadas del Instituto de Investigación de la UNI. Las principales líneas de investigación comprenden la obtención y caracterización de recubrimientos delgados de óxidos metálicos y semiconductores para la detección de gases, desinfección del agua, filtros. El estudio de las propiedades ópticas de los materiales electrocrómicos, es otra actividad importante de este grupo. El grupo mantiene una colaboración activa con la Universidad Upsala de Suecia con la que tiene un convenio de programa de doctorado conjunto.<sup>3</sup>
- Grupo de materiales nanoestructurados de la Facultad de Ciencias de la UNI. Estudian la modificación de los materiales porosos, filtros de arcilla, biosensores y propiedades magnéticas de los materiales nanoestructurados.
- Grupo de modelado y simulación multiescala, Facultad de Mecánica y Mecatrónica de la UNI. Estudian las propiedades mecánicas de las proteínas.

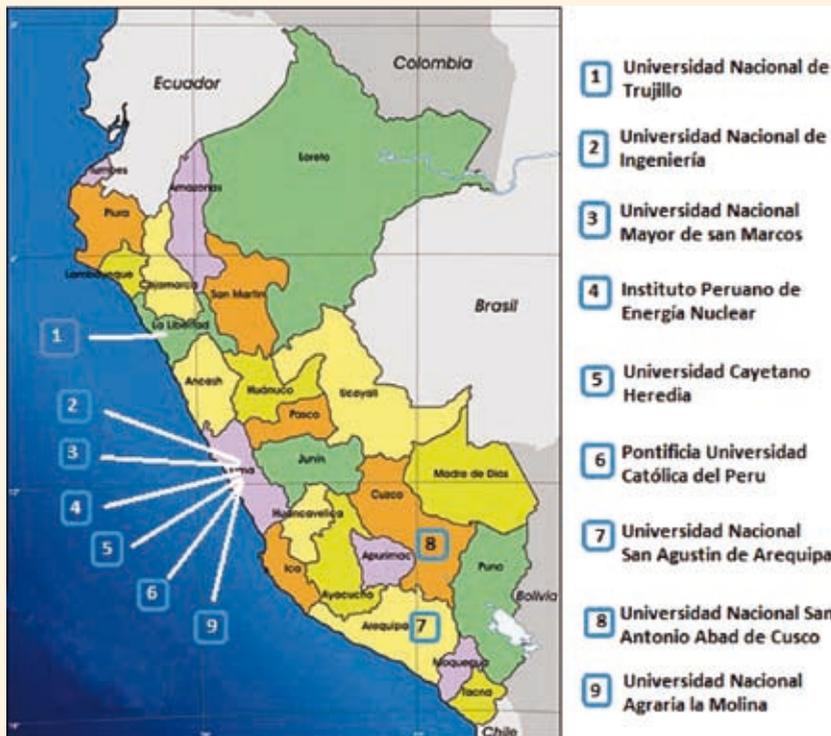
<sup>1</sup> El plan fue propuesto por CONCYTEC -Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

<sup>2</sup> En el Perú hay cerca de 118 universidades.

<sup>3</sup> Como resultado del convenio ya se han formado mas de 5 doctores en física y química

- Grupo de investigación en materia condensada, Instituto de investigación de Física de la UNMSM. Las líneas de trabajo son: las aleaciones nanoestructuradas (aleaciones metálicas, cuasicristales, materiales magnéticos); propiedades estructurales y electrónicas de nanopartículas metálicas; transiciones de fase en nanopartículas metálicas; nanopartículas soportadas, multicapas y ADN.
  - Grupo de óptica, Instituto de investigación de Física de la UNMSM. Estudian sistemas de baja dimensionalidad con énfasis en las propiedades electrónicas del grafeno, uno de los materiales que suscita un interés especial en los últimos tiempos por sus propiedades únicas. En el laboratorio de superconductividad, adscrito al mismo Instituto de la UNMSM, se están empezando a estudiar las nanohematitas, nanomagnetita y nanoelectrodos.
  - Laboratorio de química cuántica computacional y nanomateriales, de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la UNMSM. Están dedicados a la síntesis y caracterización de nanomateriales en fases sólida y líquidas. Otra de las actividades es el estudio de los bactericidas utilizando nanopartículas de cobre recubiertas con plata.
  - Laboratorio de Biomateriales, de la Facultad de Química de la UNMSM. Realizan estudios tales como la liberación controlada de drogas a partir de materiales nanoparticulados; apósitos con nanopartículas de plata para tratamiento de quemaduras.
  - Grupo de materiales, de la dirección de Investigación y Desarrollo del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Realizan investigaciones de materiales nanoestructurados de óxidos semiconductores para aplicaciones como sensores de gas y lenguas electrónicas. Otra línea de investigación es la obtención de nanomateriales compuestos nanopartícula/polímero, mediante el uso de radiación gamma.
  - En la Pontificia Universidad la Católica del Perú (PUCP), en la sección química de la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ingeniería se realizan trabajos relacionados con la NT. En la primera estudian los materiales adsorbentes (arcillas y carbones activados) con posibles aplicaciones en tratamiento de aguas y remediación del medio ambiente; mientras que en la segunda estudian las nanopartículas metálicas electroquímica aplicada a materiales.
  - En la otra universidad particular donde se hace investigación, La Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) hay tres laboratorios involucrados con los temas de NT. En el laboratorio de moléculas individuales de reciente creación (por el momento único laboratorio de esa naturaleza en Latinoamérica), estudian distintas propiedades físicas de moléculas como el ADN. En el laboratorio de bioinformática y biología molecular los trabajos están orientados a estudiar las propiedades estructurales de las proteínas e influencia de diversos factores en su actividad enzimática. Finalmente en el laboratorio de biotecnología ambiental, los trabajos están orientados a estudiar la bio lixiviación, biorremediación de aguas y pruebas ecotoxicológicas.
  - Además de las instituciones arriba mencionadas (todas ubicadas en Lima, la capital) se están gestando grupos en otros departamentos del país, como en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Trujillo, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa y la Universidad Nacional San Abad de Cusco, donde se están realizando con base en esfuerzos individuales, trabajos relacionados con la NT. En la figura 1 se muestra la distribución espacial en el mapa de los centros relacionados con la NT.
- La divulgación de los resultados obtenidos en los diversos grupos se realiza mediante la publicación en revistas nacionales e internacionales. En general, como se muestra en un reciente trabajo publicado por el Vicerrectorado Académico de la UNMSM (Peña *et al.*, 2011), la cantidad de publicaciones es totalmente insatis-

FIGURA 1. Mapa de Perú con la ubicación geográfica de los centros donde se realiza alguna actividad en nanotecnología.



Fuente: Elaboración propia, con base en un mapa convencional de Perú.

factoria, lo cual no es otra cosa que el fiel reflejo de la situación de la ciencia y tecnología en general en Perú. En la tabla 1 se muestra la cantidad de publicaciones en NC y NT con participación de autores peruanos (con filiación en uno de los grupos locales) durante los últimos 9 años. El número de publicaciones se ha separado entre aquellas publicaciones que se encuentran en la

base de datos del *Science Citation Index Expanded* de la Thomson-Reuters (el porcentaje en paréntesis indica el valor porcentual respecto del total de publicaciones) y aquellas pertenecientes a revistas nacionales (entre ellas algunas que no se encuentran en ninguna base de datos). Como se puede apreciar, las publicaciones sobre NC en los últimos 9 años sólo representan el 1.4% del total

TABLA 1. Número de publicaciones sobre nanotecnología de autores peruanos durante el periodo 2002 - 2010

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
En revistas ISI	3 (1.1%)	0 (0%)	4 (1.2%)	4 (1.1%)	3 (0.7%)	10 (2.1%)	7 (1.3%)	10 (1.7%)	13 (2.2%)	54 (1.4%)
En revistas nacionales	1	1	1	1	1	0	3	5	3	16

Fuente: Elaboración propia.

de publicaciones realizadas por autores con filiación en grupos locales. Cabe mencionar también que hay una ligera tendencia del crecimiento del número de publicaciones en los últimos años.

Otro indicador, que refleja de alguna manera las actividades de los grupos dedicados al desarrollo de la NT, es la cantidad de tesis de pre y posgrado. En el grupo de películas delgadas de la UNI en los últimos años fueron sustentadas aproximadamente 4 tesis de licenciatura y un número similar de tesis de maestría. En el grupo de materiales del IPEN fueron sustentadas 3 tesis de maestría. En la Facultad de Ciencias Físicas de la UNMSM se han sustentado 6 tesis de licenciatura y 3 tesis de maestría.

En los últimos años se han desarrollado en el país algunos eventos donde la NC ha sido parte de los tópicos tratados. Entre ellos podemos mencionar los siguientes eventos:

Conferencia Nacional de Jóvenes Científicos, realizado el 4 y 5 de marzo del 2010 en el Centro Cultural de la UNMSM en Lima. Este evento congregó a más de 100 participantes de diversas disciplinas (física, química, biología, matemáticas, ingeniería) presentando trabajos diversos, entre ellos resultados de investigaciones en la NC.

XII Conferencia Latinoamericana sobre las Aplicaciones de la Espectroscopía Mössbauer, realizado del 7 al 12 de noviembre del 2010 en el Centro Cultural de la UNMSM en Lima. Este evento congregó a más de 100 participantes de física provenientes de diversos países de Latinoamérica y Europa. La cantidad de trabajos presentados en relación con la NC fue representativa.

También, se ha desarrollado anualmente el Simposio Peruano de Física (en diversos departamentos del país) donde la presentación de trabajos sobre NC ha sido significativa.

Otro evento realizado con una periodicidad de 2 años es el Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales; en sus tres últimas celebraciones el tema de NT ha estado presente, aunque en una proporción muy limitada.

Sabemos que la formación de redes temáticas en cualquier campo y en particular en NT es una forma muy efectiva de propiciar el desarrollo y facilitar la colaboración entre diferentes grupos. Acerca de las ventajas y experiencias exitosas de formación de redes en NT en la Unión Europea se puede encontrar en Correia *et al.*, 2008. En el Perú se crea la primera Red Peruana de Nanotecnología,<sup>4</sup> cuyo objetivo es fomentar la colaboración entre sus miembros en la solución de los problemas principalmente de saneamiento del agua y medio ambiente. En el año 2010, a iniciativa de los investigadores del grupo de NT en la UNI y con el apoyo de la cooperación regional francesa para los países andinos se crea la red NANOANDES.<sup>5</sup> Uno de sus objetivos principales es la organización de diplomados y cursos de posgrado en NT compartido con los otros grupos de la región andina. Entre las actividades de NANOANDES estuvo la de organizar, en junio del 2010, en la UNI, un taller sobre NT, con participación de invitados extranjeros.

## ESTADO DE LA FORMACIÓN EN LOS TRES NIVELES DE ENSEÑANZA

De las consideraciones antes mencionadas está claro que el éxito de desarrollo de la NC y NT depende fundamentalmente de la solución del problema de formación de especialistas, es decir, la *nanoeducación*. Los especialistas de este nuevo campo deben tener una visión muy amplia y ser capaces de trabajar mancomunadamente con especialistas de otros campos, pues la NT es eminentemente multidisciplinaria como ninguna otra área. Debido a que el nivel de desarrollo de las nuevas tecnologías, incluidas las nanotecnologías, incluso hoy ya influye, y en futuro cercano va a ser el factor determinante en los alcances técnicos y científicos de cualquier Estado y su posición en la economía mundial, los países desarrollados y otros emergentes hoy en día pres-

<sup>4</sup> La red peruana de nanotecnología <<http://www.nanotecnologia.com.pe/red-nano.html>> fue creada bajo el auspicio de grupos de investigación Soluciones Prácticas.

<sup>5</sup> La red Nanoandes <<http://www.nanoandes.org>> cuenta con la participación activa de la Asociación Civil Francesa la Puya de Raimondi.

tan atención especial a la nanoeducación (Roco, 2001). En este sentido, el resultado óptimo puede lograrse si se plantea una solución integral del problema, es decir, la organización de la nanoeducación en todos los niveles de formación, empezando desde la primaria hasta la formación de cuadros científicos de alta calificación. Además en el problema de formación de nuevos cuadros en el campo de la NC, una componente importante en la nanoeducación, está el problema de capacitación de los que ya están trabajando en diversos campos.

Desafortunadamente, en el país hasta ahora la nanoeducación en los niveles de primaria y secundaria es inexistente. Ni el Ministerio de Educación, ni las correspondientes instancias de los gobiernos regionales (ahora se está implementando la descentralización de la educación) no incluyen en los planes de estudio temas relacionados con la NC y NT. Cabe mencionar que, por ejemplo, en el Proyecto Educativo Nacional al 2021, elaborado por el Consejo Nacional de Educación, no existe una sola mención a las palabras nanociencia y nanotecnología.

En el nivel superior o universitario la situación no es mejor. Salvo un curso electivo de nanotecnología en la Facultad de Ciencias de la UNI, en ninguna otra universidad existen formalmente cursos de formación relacionados con la nanotecnología.

## CONCLUSIONES

Al desarrollo de la nanotecnología en los países de vanguardia le dedican una atención especial, conscientes de su enorme significado en el futuro cercano. Se espera que aproximadamente después del año 2015, la aplicación en masa de las nanotecnologías traerá cambios dramáticos en la economía y sociedad en general de toda la humanidad.

El desarrollo de la NC y NT en Perú se encuentra en etapa de incubación gracias al esfuerzo de pocos grupos, hasta cierto punto aislados entre sí, con una reducida cantidad de investigadores. No existen centros de excelencia con la adecuada infraestructura, y los laboratorios existentes necesitan mejorar sustancialmente su

equipamiento. Por esta razón, es un reto que se convierte en un interesante caso de articulación de diversas estrategias de distintos actores para la formación de nuevos grupos, y la consolidación de los que ya existen.

El desarrollo efectivo de la NT y NC en Perú es posible sólo si se resuelve el principal y prioritario problema en la etapa inicial de cualquier nueva dirección científicotécnica, que es la formación integral de cuadros altamente calificados y la creación de centros de excelencia con equipamiento moderno.

## RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que los datos presentados en este trabajo no necesariamente representan el universo de producción nacional en NC y NT, dado que la información requerida para ello se encuentra dispersa por el nivel bajo de desarrollo que se tiene. Por ello, una de las principales recomendaciones a los organismos competentes, en este caso el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), es que se realice un diagnóstico completo del estado del arte de la NC y NT en el país. Ello es el primer paso para conocer a los actores directos que desarrollan esta área de la ciencia y luego para delinear las políticas adecuadas en NC y NT.

## BIBLIOGRAFÍA

- Correia, A. (2008). *Nanociencia y nanotecnología en España*, Editor Fundación Phantoms.
- Dang, Y. Zhang, Y. Fan, L. Chen, H. Roco M. (2010). "Trends in worldwide nanotechnology patent applications: 1991 to 2008". *Journal of Nanoparticle Research*, 12: 687-706.
- Díaz, J.J. Kuramoto J. (2008). *Innovation, R&D Investment and productivity in Latin America & Caribbean Firms. The case of Perú*. En: <[www.iadb.org/res/laresnetwork/projects/pr331-proposal.pdf](http://www.iadb.org/res/laresnetwork/projects/pr331-proposal.pdf)>.
- Delgado, G.C. (2006). *Riesgos ambientales de la nanotecnología. Nanopartículas y nanoestructuras*. En: <[www.ambientico.una.ac.cr/A31.pdf#page=34](http://www.ambientico.una.ac.cr/A31.pdf#page=34)>.

- Eberhardt W. (2002). "Clusters as new materials". *Surface Science*, 500; 242-270.
- Gutarra, A. (2007). *Estado de la situación de la nanotecnología en el Perú*. En: <<http://www.nanotecnologia.com.pe/docs/nanotecnologia.pdf>>.
- Jansen, P. (2004). "Nanoparticles as new materials". *Physical Review B*, 23: 345-356.
- Kay L. y Shapira P. (2009). "Nanotechnology development in Latin America". *Journal of Nanoparticle Research*, 11: 259-278.
- Peña, V. Rivera, P. Schulz, P. Tapia J. (2011). *Producción científica en San Marcos: hechos, cifras y estándares internacionales (2002 - 2010)*. CONCYTEC, Lima, Perú.
- Roco, M. C. (2001). *Journal of Nanoparticle Research*, 2001, vol. 3, núm. 5-6: 353-360.
- Ramírez Díaz, M. del C. Ramírez Solís, B. A. (2006). "La nanotecnología en su impacto social". *Internet Electrón. J. Nanocs. Moletrón*, vol. 4, núm. 3: 865-872.
- Rodríguez J. (2008). *La nanotecnología: una realidad*. En: <[http://www.nanotecnologia.com.pe/download/documentos/la\\_nanotecnologia\\_una\\_realidad.pdf](http://www.nanotecnologia.com.pe/download/documentos/la_nanotecnologia_una_realidad.pdf)>.
- Serena, P. A. Correia, A. (2003). "Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica". *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, núm 9: 32-42.
- Vandermoere, F. Blanchemanche, S. Bieberstein, A. Murette, S. Roosen J. (2010). "The morality of attitudes toward nanotechnology: About God, techno-scientific progress, and interfering with nature". *J Nanoparticle Research*, 12: 373-381.

## Formación y divulgación de la nanotecnología en Venezuela: situación y perspectiva

ANWAR HASMY\*

En Venezuela, la investigación en nanociencia y nanotecnología empieza a evidenciarse a inicios de los años noventa del siglo XX cuando aparecen las primeras publicaciones científicas relacionadas con esta área del conocimiento. Simultáneamente, por la misma época, la industria petrolera venezolana, PDVSA, incluye en sus actividades experiencias que requieren la implementación de técnicas propias de la nanotecnología, las cuales buscan caracterizar y estudiar las propiedades de materiales nanoestructurados de interés a los procesos catalíticos heterogéneos en la refinación de hidrocarburos. Entre otros equipamientos, esta empresa adquirió el primer microscopio de efecto túnel del país.

Según análisis bibliométrico realizado con las bases de datos del *Science Citation Index* y realizado por López *et al.* (2011), en el periodo 1990-1999, se publicaron en Venezuela 144 artículos en nanociencia y nanotecnología. Por otra parte, varios simposios y escuelas organizadas en el marco de los primeros congresos venezolanos de química y física, y simposios organizados por la Sociedad Venezolana de Microscopía Electrónica, la Sociedad Venezolana de Catálisis, entre otras iniciativas. Todas estas actividades fueron impulsadas por profesionales egresados de los distintos programas de estudios universitarios a nivel de pregrado en ciencias físicas, químicas, biológicas y varias ramas de la ingeniería, de la Universidad Central de Venezuela, la Universidad Simón Bolívar, el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), la Universidad del Zulia (LUZ), la Universidad de Oriente (UDO), entre otras instituciones venezolanas.

Del mismo modo, muchos de estos profesionales tuvieron la oportunidad de realizar estudios de posgrado tanto en el país como en el exterior.

En relación con el financiamiento de las actividades en nanociencia y nanotecnología durante el periodo 1990-1999, cabe destacar la firma del primer acuerdo entre el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el CONICIT (actual FONACIT). Este acuerdo incluía como prioridad importantes cifras de financiamiento para investigaciones en áreas de transversal interés a la nanotecnología, como lo son la biotecnología, la química fina, la informática, la electrónica, telecomunicaciones y nuevos materiales. Asimismo, el acuerdo incorporaba un programa de beca para estudios de posgrado en el exterior, el cual tenía como fin formar profesionales en el área de nuevos materiales. El primer contingente de egresados de este programa comenzó a regresar a Venezuela a partir del año 1996, lo cual permitió consolidar las capacidades humanas en el país en nuevas tecnologías. Igualmente, muchos de estos proyectos fueron fortalecidos por convocatorias de financiamiento del CONICIT, hoy FONACIT, a través del Programa S1, de Apoyo de Grupo, entre otros, destinados a promover la investigación científica en Venezuela. Igualmente, en ese momento se comenzó a dar importancia a la divulgación y socialización de los conocimientos científicos. Todo estos programas permitieron potenciar no sólo las capacidades humanas, sino también la infraestructura física de laboratorios del país con técnicas de punta en microscopía electrónica de barrido y de transmisión, y equipos para la difracción de rayos X, resonancia

\* Departamento de Física de la Universidad Simón Bolívar. Valle de Sartenejas, Edo. Miranda, Venezuela. <anwarhasmy@hotmail.com>. Miembro de la Red NANODYF.

magnética nuclear y otros aparatos de gran utilidad al área de nanotecnología.

En el año 1999, la nueva constitución venezolana da rango constitucional a la ciencia y la tecnología, y dos años más tarde fue aprobada la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (LOCTI), la cual tuvo como fin dar cumplimiento a lo establecido sobre ciencia y tecnología en la nueva constitución, obligando a las empresas más productivas del país a destinar fondos a las actividades de ciencia y tecnología. Este hecho estableció nuevas relaciones entre los actores del sistema científico y tecnológico, constituyendo una variable insoslayable para el estudio de las trayectorias científicas presentes y futuras de la comunidad de nanociencia y nanotecnología venezolana.

## SITUACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN VENEZUELA

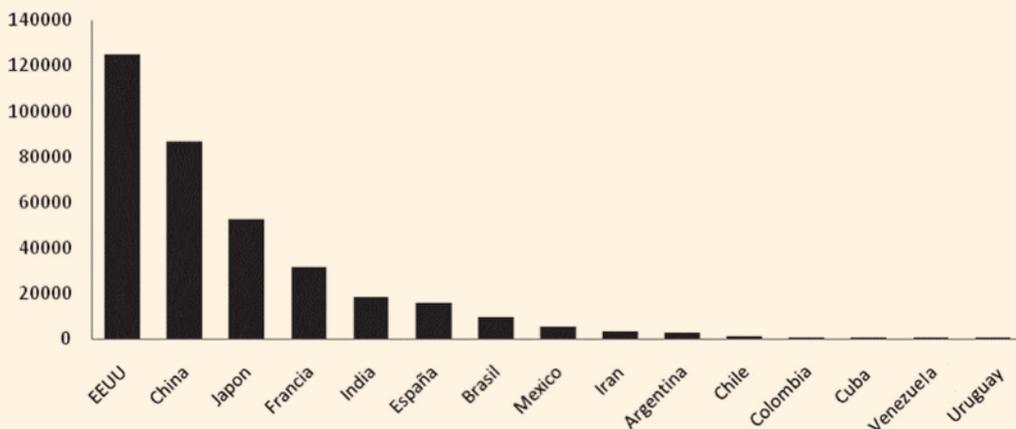
El estado de la nanotecnología en Venezuela ha sido evaluado en distintos trabajos realizados en el ámbito académico nacional. Entre estos documentos destaca un estudio sobre la convergencia tecnológica en la nanoescala (Goncalves, 2006; Vessuri, 2007), y otros sobre las actividades de

investigación de nanomateriales en Venezuela (De la Vega *et al.*, 2007; FII, 2008).

Sobre la producción de conocimientos en nanociencia y nanotecnología, en el periodo 2000-2009 en Venezuela se produjeron 476 artículos, lo cual representó un crecimiento del 230 % con respecto a la década anterior (López *et al.*, 2011). Sin embargo, este crecimiento no resultó suficiente para obtener un mejor posicionamiento con respecto a los otros países de la región de América Latina y el Caribe (ALC), ocupando así el séptimo lugar detrás de Brasil, México, Argentina, Chile, Colombia y Cuba (ver figura 1).

Los 476 artículos publicados en el periodo referido, acumularon aproximadamente 3,400 citas, lo que representa un poco más de 7 citas en promedio por artículo, situación que permite ubicar a Venezuela como el cuarto país en ALC con el promedio más alto de citas por trabajo en nanociencia y nanotecnología (detrás de México, Argentina y Brasil). Los temas abarcaron el estudio de nanopartículas, nanoemulsiones, nanotubos de carbonos y otros materiales nanoestructurados y compuestos, en matrices poliméricas, metálicas y otras, y la investigación de las propiedades estructurales, magnéticas, electrónicas, mecánicas, etc., y su uso para la catálisis heterogénea, revestimientos, ingeniería de

**FIGURA 1.** Publicaciones en nanociencia y nanotecnología en varios países del mundo en el periodo 2000-2009, según la base de datos del SCI.



Fuente: López *et al.*, 2011.

tejido, biosensores y biomateriales, y electrónica molecular.

Esta producción científica se concentró en cuatro instituciones: el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), con 162 publicaciones; la Universidad Central de Venezuela (UCV), con 151 trabajos; la Universidad Simón Bolívar (USB), con 132 y la Universidad de Los Andes, con 116 (López *et al.*, 2011) (ver figura 2). Además, 384 artículos publicados son producto de trabajos en colaboración con investigadores de otros países (88% del total). En cuanto a la cooperación internacional, se observa en estos trabajos que la misma está liderada por EUA (25%), España (20%), Francia (11%), Inglaterra (6%), Argentina (5%), Alemania (5%), México (4%), Italia (3%), Canadá (3%), Bélgica (2%) y otros entre los que se cuentan Brasil, Suecia, Colombia, Japón, Holanda, Chile, Cuba, Rusia, Uruguay y China, entre otros.<sup>1</sup>

En cuanto al financiamiento de la actividad en nanociencia y nanotecnología en Venezuela el periodo estudiado, es interesante destacar que la infraestructura física de los laboratorios tuvieron la oportunidad de actualizarse y reponerse gracias a fondos que provenían de la implementación de la LOCTI en el año 2006. Este equipamiento permitió la compra de cuatros mi-

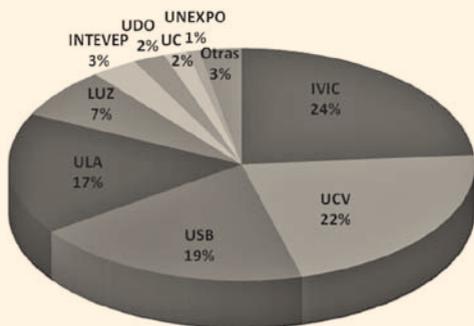
croscopios de fuerzas atómicas distribuidos en la UCV, el IVIC, el Instituto de Estudios Avanzados (IDEA) y la Fundación Instituto de Ingeniería (FII). Además, permitió el equipamiento de otras universidades clave como la ULA y emergentes como la UNEXPO, y Centros de I+D como el Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT) y el Programa Regional de Materiales (PROMAT), este último dirigido a atender las necesidades de investigación de materiales de interés a la industria de la región de Guayana.

De igual forma, en este periodo comenzaron a tener lugar en Venezuela los primeros congresos y escuelas nacionales e internacionales enfocados al área de nanociencia y nanotecnología, y que detallaremos en la próxima sección.

En cuanto a la participación de la industria venezolana en actividades de nanociencia y nanotecnología, en el caso específico de la industria petrolera PDVSA, y su filial tecnológica INTEVEP, además del uso de estos conocimientos en las investigaciones de interés a la refinación de gas y petróleo, esta empresa ha reportado estar trabajando en el uso de nanoaditivos en el área de producción, particularmente en cementación y control de arena de pozos petroleros (PDVSA, 2009). En el sector farmacéutico, algunos laboratorios farmacéuticos se han embarcado en iniciativas que incluyen estudios dirigidos al nanoencapsulamiento de fármacos.

No obstante las distintas fortalezas antes mencionadas y el interés que puede tener la nanotecnología en Venezuela para el diseño de nuevas técnicas de diagnóstico y terapias médicas, en cuanto a la producción eficiente de energía limpia, a la remediación de las aguas y el ambiente, entre otras, durante todo el periodo mencionado persistió la ausencia de políticas públicas orientadas a estos desarrollos. Es en este contexto que en el año 2007 el Departamento de Estudios de la Ciencia del IVIC organiza la primera reunión enfocada a la evaluación de elementos para una política de nanotecnología en Venezuela. Del mismo modo, en el año 2008, el Ministerio de Ciencia y Tecnología venezolano comienza un

**FIGURA 2.** Porcentaje de publicaciones por instituciones venezolanas en el periodo 2000-2009 según la base de datos SCI.



Fuente: López *et al.*, 2011.

<sup>1</sup> La sumatoria total de estos porcentajes resulta ligeramente mayor al porcentaje total de los trabajos realizados en colaboración, debido a la duplicación en los recuentos de los documentos publicados por más de dos países

estudio prospectivo sobre convergencia tecnológica en la nanoescala.

Como ya fue señalado, si bien se ha reconocido que la mayor parte de los nanotecnólogos en Venezuela, en gran medida, han sido formados gracias a los programas de estudios de tercer y cuarto nivel que existen en el país en física, química, ingeniería, y otras disciplinas, persiste en las instituciones académicas venezolanas una actualización de los *pensa* de estudios a los cambios que se han venido gestando en las distintas áreas de conocimientos científicos como la nanotecnología. Por ello, conscientes de la necesidad de adecuar los *pensa* de estudios a este nuevo conocimiento, en el año 2009, un grupo de investigadores se reunió con el fin de conformar la Red Venezolana de Nanotecnología (Red-Vnano), la cual decide orientar esfuerzos en la creación de un programa de estudios de posgrado en nanotecnología (redvnano.org, 2009a). De igual modo, en su etapa de gestación, la Red-Vnano elabora un documento que busca sensibilizar al Estado venezolano sobre la necesidad de diseñar e implementar un Plan Nacional de Nanotecnología (redvnano.org, 2009b). El documento intenta identificar los factores que obstaculizan el desarrollo de la nanotecnología en Venezuela. Algunos de los factores allí señalados son:

1. Existe en Venezuela una base de investigadores pequeña, y el país no cuenta con ningún programa que permita incrementar de manera sustancial la formación de personal calificado en nanotecnología
2. En su mayoría, los investigadores venezolanos que trabajan en nanotecnología lo hacen de manera dispersa, aunque mantienen contactos entre ellos y con pares internacionales
3. Los nanotecnólogos nacionales no están amparados por políticas públicas e instrumentos como los que existen en Brasil, México o Argentina. La producción de proyectos, informes técnicos y trabajos de ascenso es incipiente en Venezuela, y las líneas de investigación obedecen a iniciativas de los investigadores, mismas que no

necesariamente están vinculadas a las necesidades del país.

4. En materia de infraestructura y equipos existe una base mínima
5. No existen políticas de apropiación de estos conocimientos que ayuden a sensibilizar a nuestra sociedad sobre las oportunidades y desafíos para un adecuado aprovechamiento de la nanotecnología
6. No existe un régimen de protección intelectual específico para las nuevas tecnologías, desventaja que impide establecer las necesarias regulaciones para un sano aprovechamiento de estas tecnologías; ni programas e instrumentos de incentivos a actividades industriales de las innovaciones derivadas de la nanotecnología, situación que impacta negativamente en los planes de escalamiento

Además, en el documento referido se propone el diseño e implementación de planes masivos de formación y divulgación de la nanotecnología. El documento es entregado al Poder Ejecutivo venezolano por intermedio del Ministerio de Educación Superior (hoy Ministerio de Educación Universitaria) y sirve de base a esta red para la elaboración de sus estatutos. De este modo, en Asamblea Fundacional la Red-Vnano establece los siguientes objetivos específicos:

1. Coadyuvar en la formación de personal calificado en nanotecnología mediante la promoción y colaboración en el diseño de cursos, talleres, escuelas, seminarios, programas de pregrado, posgrado y posdoctorado, y de cualquier otra actividad dirigida a incrementar las capacidades humanas en la materia a nivel nacional.
2. Contribuir a la formación de nodos de conocimiento que permitan optimizar las capacidades humanas y físicas para la formación de personal calificado y para el diseño y ejecución de los proyectos de investigación, desarrollo e innovación relacionados con el progreso de la nanotecnología en Venezuela.

3. Promover el desarrollo de una nanotecnología de interés social, en congruencia con los principios éticos que deben regir toda actividad científica, en apego al respeto y salvaguarda de la vida humana, el medio ambiente y las normas que rigen el quehacer.
4. Promover la cooperación nacional e internacional para garantizar el flujo, transferencia y uso compartido de conocimientos, y cualquier apoyo que contribuya a las actividades de la RedVnano.
5. Promover el debate social en torno a las oportunidades y desafíos que la nanotecnología impone a la sociedad y la necesidad de desarrollar normas, regulaciones y controles en el país de los bienes y servicios que se generen de esta tecnología.

La mencionada Asamblea Fundacional de la RedVnano permite, además, acordar unos estatutos para su funcionamiento, los cuales son registrados oficialmente alrededor del año 2010 ([redvnano.org](http://redvnano.org), 2010). Esta red nació con 123 miembros fundadores en febrero de 2010, y representan a instituciones del ámbito productivo (SIDOR, CVG, PDVSA), de Educación Universitaria (IUT, LUZ, UBV, UC, UCV, UDO, ULA, UNESR, UNEXPO y USB) o de Centros de I+D (IVIC, el IDEA, la FII, el INZIT) y de algunos organismos del Estado. Aproximadamente el 60% de los miembros de la RedVnano trabaja en las 4 instituciones más productivas antes mencionadas. Actualmente, esta red cuenta con 369 miembros entre colaboradores, asociados y fundadores.

## ACTIVIDADES DE FORMACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA EN VENEZUELA

En Venezuela, las actividades de interés en la formación nanotecnológica comienzan a ver luz a través de la organización de una serie de eventos nacionales e internacionales dedicados a la nanociencia y nanotecnología. En temas de interés a la nanoelectrónica se realizaron, por ejemplo, cuatro escuelas entre los años 1998 y 2003. De igual forma, otros eventos también fueron realizados en el área de catálisis heterogénea, donde

la participación de invitados internacionales fue frecuente. También en el año 2006 se celebró en Venezuela la Conferencia Internacional en Nanociencia (ICON2006), que contó con la participación de un nutrido número de investigadores y estudiantes de distintas instituciones académicas del mundo. Participaron en la organización del evento: por Norteamérica, el National Institute of Standards and Technology (NIST); por España, la Universidad Autónoma de Madrid y Phantoms Foundation y, por Venezuela, el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas y la Universidad Central de Venezuela.

Asimismo, en los años 2008 y 2010 se realizan en la Facultad de Ciencias de la UCV, las Jornadas de Investigación que incluyen sesiones dedicadas a la nanotecnología, y, en el año 2010, la Facultad de Ingeniería de la UCV organiza estas Jornadas de Investigación así como el Encuentro Académico Industrial (JIFI 2010), abordando entre sus áreas temáticas la nanotecnología. De igual forma, se realiza ese año 2010, en la USB, una jornada dedicada a los materiales nanoestructurados y otra en la UCV dedicada al área de nanomedicina, en el marco de las Jornadas de Investigación de la Facultad de Farmacia de esa institución.

Desde una perspectiva más focalizada a la formación de recursos humanos, destacan las llamadas Escuelas de Nanociencia y Nanotecnología, organizadas por Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes (ULA), en Mérida, Venezuela, cuya primera edición se realizó a finales de 2005, organizada por un comité interinstitucional en el que participaron la ULA, el IVIC y PDVSA-INTEVEP, y contó con la participación de algunos invitados internacionales e investigadores de las instituciones organizadoras. Tiempo más tarde, también en Mérida, se organiza la Escuela Latinoamericana de Nanociencia, que contó con dos ediciones, una en el año 2006 y otra en el 2008, todas organizadas en la ULA, Mérida.

Por otra parte, por esos años, los gobiernos de Cuba y Venezuela suscribieron el convenio de cooperación, el cual incluyó un proyecto que contemplaba la formación de recursos humanos en nanociencia y nanotecnología, e involucró al InSTEC de Cuba, el IVIC y la UCV por Venezuela. El

proyecto permitió la realización, en el año 2009, de una escuela de varias semanas sobre técnicas de síntesis y caracterización de materiales nanoestructurados, la cual se llevó a cabo en el IVIC y se denominó "Curso de Formación de Recursos Humanos en Nanociencia y Nanotecnología para los países del ALBA".

Otra iniciativa importante a destacar sobre la formación de recursos humanos en nanotecnología es el Programa de Cooperación de Posgrado (PCP) FONACIT-Francia. En el marco de este programa se han financiado proyectos para la formación de doctores a través de las cotutelas de tesis entre Francia y Venezuela, en áreas como óptica no lineal, nanopartículas empleadas como catalizadores, revestimientos nanoestructurados, nanoemulsiones, medios porosos nanoestructurados, nanocosméticas, nanotubos de carbono, nanoelectrónica, entre otros (Vessuri y Sánchez, 2007). Estas actividades han permitido la formación de más de una treintena de nanotecnólogos y, con base en esta experiencia, se pudo organizar la Escuela Franco-Venezolana de Nanotecnología, ENANO 2009, evento organizado por la RedVnano en Caracas y Choroni, y patrocinado por el FONACIT, el Programa de Cooperación de Postgrados (PCP), la Embajada de Francia en Venezuela, la Fundación IDEA, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales y la Universidad Central de Venezuela. Participaron profesores invitados y estudiantes representantes de diferentes instituciones académicas nacionales; por Francia, participaron unos 20 profesores invitados de una diversidad de instituciones: CEA-LETI, Université de Limoges, CNRS, Université Montpellier II, Université Paul Sabatier, Université Bordeaux I, Université Paris-Sud, entre otras. Se contó, además, con representantes de España, de la Universidad de Sevilla y del CSIC. La Escuela versó sobre técnicas de caracterización en la nanoescala, técnicas de diseño, modelaje y nanomanufactura, nanomateriales y nanodispositivos, aplicaciones nanotecnológicas de interés social (salud, energía, medio ambiente, etc.) y riesgos e implicaciones sociales de la nanotecnología.

Adicionalmente, a través de la realización de varias mesas de trabajo destinadas a la forma-

ción de talento humano, la ENANO 2009 sirvió de plataforma para avanzar en la propuesta de la RedVnano de crear un Programa Interinstitucional de Posgrado en Nanotecnología en cooperación internacional (ENANO, 2009), para alcanzar un nivel óptimo y competitivo de manera internacional, agrupando universidades e instituciones de trayectoria en el desarrollo de esta área.

Los encuentros destinados a avanzar en el referido programa interinstitucional de posgrado continuaron realizándose durante el año 2010 y 2011, agrupando gran parte de los coordinadores de posgrado en representación de las instituciones académicas más importantes del país. La agenda de estas reuniones ha estado siempre concentrada en la elaboración de un diseño curricular para la creación de una maestría en nanotecnología. Las instituciones contempladas a participar en esta iniciativa son la USB, el IVIC, LUZ, la UNEXPO, entre otras instituciones venezolanas.

Para reforzar estos objetivos de formación de nanotecnólogos y promover la cooperación regional e internacional, la RedVnano junto con la Universidad de Montpellier 2, Francia, diseñaron un proyecto para la movilización de docentes en nanotecnología a nivel de posgrado entre instituciones de Argentina, Brasil, Francia y Venezuela. El proyecto fue presentado en las convocatorias del Programa Prefalc de la Fundación Casa de las Ciencias del Hombre de Francia, y fue aprobado en julio del año 2010.

En la actualidad, en el marco de la celebración de la ULA del Año Internacional de la Química, y para dar inicio al Programa Prefalc NANO2, la ULA, la USB, la UCV, el IVIC y la RedVnano se han unido para dar continuidad a las escuelas de nanociencia y nanotecnología en Venezuela, adoptando el nombre de la primera escuela realizada en el año 2005, y el acrónimo de la ENANO 2009. Así, la Escuela de Nanociencia y Nanotecnología, ENANO 2011, surge para ofrecer a estudiantes e investigadores una programación de cursos en el último trimestre del año 2011. El programa de la ENANO 2011 contará con la participación de más de 50 profesores nacionales e internacionales (de Argentina, Brasil, España, Francia y México). Estos profesores impartirán módulos que, agru-

pados, conformarán asignaturas que podrán ser acreditadas por varios programas de estudios de posgrado del país. La escuela se realizará en la ULA en Mérida y en la USB, IVIC y UCV, en Caracas; se está evaluando la posibilidad de transmitir los cursos a otras ciudades del país a través de videoconferencias. Esta iniciativa corresponde a una experiencia piloto para lo que se espera será la dinámica de cooperación interinstitucional en la implementación del programa de maestría en nanotecnología promovido por distintas instituciones venezolanas.

En cuanto al diseño curricular para la maestría en nanotecnología, las instituciones establecieron consenso en cuanto al objetivo general del programa de maestría, el cual apuntará a proporcionar a los profesionales universitarios las competencias para el estudio profundo y sistematizado de la nanociencia y la nanotecnología, el manejo de conceptos, métodos y técnicas de investigación propios de la investigación y del área, orientadas a resolver problemas complejos y de interés social con una visión integral e interdisciplinaria así como con un alto sentido ético.

Otro aspecto a resaltar del programa de maestría propuesto es que las distintas universidades acordaron una matriz curricular similar (ver tabla 1) y así apuntar a una formación de profesionales con unas bases sólidas en los aspectos más importantes y actuales de la nanotecnología y con competencias para la investigación y el desarrollo en el área, orientada a resolver problemas de interés social. Específicamente, el magíster en nanotecnología que aspira formar el programa interinstitucional de maestría en nanotecnología debe:

1. Conocer, comprender, diseñar y aplicar de manera innovadora y con una visión integral e interdisciplinaria, materiales moleculares y nanoestructurados, identificando sus propiedades y aplicaciones en temas relacionados con la energía, el medio ambiente, la salud, el agroalimentación, los nuevos materiales y otros de interés social.
2. Demostrar habilidades en la utilización de métodos y técnicas de investigación pro-

pias de la nanotecnología, basadas en el uso de herramientas experimentales, computacionales, teóricas u otras de interés al área.

3. Transferir los conocimientos teóricos adquiridos a la práctica, aplicando la nanotecnología a la búsqueda de soluciones a problemas tecnológicos de gran complejidad que requieren ser abordados con una visión multidisciplinaria.
4. Analizar y gestionar conocimientos de nanociencia y nanotecnología, producidos en su entorno, y en los contextos local, nacional e internacional.
5. Incorporarse en equipos de trabajo en donde elabore informes y participe en el diseño y ejecución de proyectos de investigación.
6. Trabajar de manera sinérgica en equipos multidisciplinarios de investigación y desarrollo, favoreciendo el intercambio y difusión de conocimientos en el área de la nanotecnología
7. Colaborar con proyectos de investigación de empresas, instituciones y organizaciones en general que deseen aprovechar los nuevos desarrollos de la nanotecnología para la optimización de los procesos de producción de bienes y servicios.
8. Contribuir con los planes de formación de recursos humanos en nanotecnología que existan en el país.
9. Demostrar conocimientos sobre las implicaciones sociales de la nanotecnología, de sus ventajas y riesgos, siendo capaz de valorarlos y comunicarlos adecuadamente.
10. Actuar con ética y responsabilidad en sus actividades de investigación, respetando y difundiendo aquellas regulaciones que existan en la materia orientadas a salvaguardar la vida humana y el medio ambiente.

Se espera que el programa interinstitucional de maestría en nanotecnología se oficialice en las distintas instituciones venezolanas en el año 2012.

TABLA 1. Plan de estudios: matriz curricular

Programa de maestría en nanotecnología					
Plan de estudios: matriz curricular					
Asignatura O: Obligatoria	E: Electiva	HP: Horas prácticas			
HT: Horas teóricas	UC: Unidades-crédito	TH: Total de horas			
Asignaturas	O/E	No. HT	No. HP	UC	No. TH
<b>Componente básico (mínimo exigido: 6 UC)</b>					
Nanotecnología y sus implicaciones sociales	O	48	-	04	48
Gestión del conocimiento	O	24	-	02	24
<b>Componente especializado (mínimo exigido: 18 UC)</b>					
Propiedades físicas y químicas de los materiales nanoestructurados	E	48	-	04	48
Técnicas de síntesis de materiales nanoestructurados	E	48	-	04	48
Técnicas de caracterización de materiales nanoestructurados	E	48	-	04	48
Laboratorio de nanotecnología 1	E	-	96	04	96
Laboratorio de nanotecnología 2	E	-	96	04	96
Química supramolecular	E	48	-	04	48
Nanomateriales basados en carbono	E	48	-	04	48
Física del estado sólido	E	48	-	04	48
Química medicinal	E	48	-	04	48
Nanopartículas de metales de transición: uso y aplicaciones en síntesis orgánica	E	48	-	04	48
Formulación y evaluación de proyectos de innovación tecnológica	E	24	48	04	72
Planificación y control de proyectos	E	24	48	04	72
Nanoelectrónica	E	36	-	03	36
Técnicas para el modelaje computacional en nanociencia	E	18	36	03	54
Principios biológicos para diseño de implantes biomédicos	E	36	-	03	36
Nanocaracterización por técnicas microscópicas	E	36	-	03	36
Microscopía electrónica en bionanociencias	E	36	-	03	36
Propiedades y técnicas litográficas para la fabricación de nanodispositivos	E	24	-	02	24
Aplicaciones de la nanotecnología a la salud	E	24	-	02	24
Aplicaciones de la nanotecnología a la refinación de hidrocarburos	E	24	-	02	24
Magnetismo en nanopartículas	E	12	-	01	12
Nanopartículas para aplicaciones biomédicas	E	12	-	01	12
Cristalización de materiales poliméricos bajo confinamiento	E	12	-	01	12
Polímeros y surfactantes en la interfase	E	12	-	01	12
Fuerzas de superficie y nanotribología	E	12	-	01	12
Fisicoquímica de superficies	E	12	-	01	12
Espectroscopía Mössbauer y su aplicación en la caracterización de nanoestructuras	E	12	-	01	12
<b>Componente de investigación (mínimo exigido: 21 U.C.)</b>					
Seminario de trabajo de grado I	O			03	
Seminario de trabajo de grado II	O			03	
Seminario de trabajo de grado III	O			03	
Trabajo de grado	O			12	
<b>Mínimo total exigido de U.C.: 15 de AO + 18 de AE + 12 de Trabajo de Grado = 45</b>					

## LA DIVULGACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN VENEZUELA

Las primeras actividades de divulgación en nanotecnología de las cuales se tiene referencia comenzaron a realizarse en el marco del evento Happy Hour con la Ciencia, en el Café Mediterráneo, en Caracas. Este evento, organizado desde el año 2004 por la Asociación Venezolana para el Avance de la Ciencia (Capítulo Caracas), sirvió de plataforma para la presentación de varias charlas que tenían la intención de divulgar temas de interés en la nanotecnología. De igual forma, en distintos congresos como los de la Sociedad Venezolana de Física, la ENANO 2009, y otros eventos a nivel nacional, se comienzan a incluir con cierta frecuencia charlas sobre nanotecnología orientadas al interés del público en general. Estas charlas intentan no sólo incluir el estado del arte de la nanotecnología a un área del conocimiento, sino también abordar en muchos casos aspectos asociados con las implicaciones sociales de la misma.

Se destacan también algunas emisiones en el circuito nacional de radio y televisión orientadas al tema de la nanotecnología. Otros espacios de divulgación han sido accesibles en la web a través de micros realizados en organismos públicos y en universidades, como los micros realizados en la USB, denominados “Diálogos USB”, en los cuales el tema de la nanotecnología ha sido abordado en un par de ocasiones.

Otras actividades de divulgación a destacar consisten en seminarios organizados en las oficinas del Ministerio de Ciencia y Tecnología en el Estado Bolívar (Fundacite Bolívar) en el año 2010, con ocasión de la inauguración de la Cátedra de Nuevos Materiales, en esa región. En ese mismo año, en un encuentro sobre retos en la inocuidad de alimentos, en el cual participaron representantes de la industria agroalimentaria venezolana, se impartieron charlas de divulgación en nanotecnología, con el propósito de dar a conocer las ventajas y desafíos para un adecuado aprovechamiento de este conocimiento por esta industria. Este tipo de charlas, orientadas a los temas de interés específico de cada industria, han sido también programadas en la Corpo-

ración Venezolana de Guayana, encargada de la producción de materiales de hierro y aluminio, entre otros, y en PDVSA-INTEVEP.

En las actividades de divulgación de interés en la nanotecnología, cabe destacar también una exposición realizada recientemente en el IVIC, denominada “La Obsesión por lo Invisible”, en donde se describen a través de una muestra fotográfica, los primeros pasos realizados en el país en el uso de las técnicas de microscopía electrónica.

Finalmente, una actividad de divulgación que está adquiriendo una importancia singular en Venezuela es la promovida inicialmente por un grupo de estudiantes de la ULA, quienes conformaron una comunidad virtual denominada Red de Nanotecnología de Estudiante de la ULA (RedNanoEstULA), la cual nace promoviendo el intercambio de información entre estudiantes haciendo uso de las redes sociales de Internet. Además, esta red ha colaborado en la organización de “conversatorios” en la ULA, dedicados al tema de la nanotecnología, en donde se invita a investigadores destacados en la materia para intercambiar, de una manera amena con la comunidad de estudiantes e investigadores de la ULA, temas específicos de la nanotecnología, sus implicaciones sociales y perspectivas. Esta red de estudiantes ha logrado también intervenir en varios congresos locales y nacionales dedicados a temas de enseñanza de la ciencia, la ecología, etc., con la presentación de carteles destinados a divulgar las oportunidades y desafíos de la nanotecnología en la sociedad venezolana.

## CONCLUSIONES

En Venezuela existen las capacidades en nanotecnología que pudieran constituir una base para el fortalecimiento y el desarrollo de este conocimiento para el beneficio de la sociedad venezolana. Hay avances concretos en la articulación de los actores a través de redes conformadas por investigadores y estudiantes. De igual modo, existen importantes expectativas sobre la creación del programa interinstitucional de maestría en nanotecnología, el cual permitirá promover la cooperación entre diferentes instituciones aca-

démicas venezolanas y extranjeras para la formación de recursos humanos en esta área del conocimiento. Todas estas iniciativas, aunque con ciertas dificultades, han calado de una forma positiva en los actores del sistema científico nacional, logrando posicionar gradualmente el tema de la nanotecnología en la agenda del gobierno, la industria y la academia; y haciéndose cada vez más visible en los medios de comunicación nacional.

En cuanto a las actividades de divulgación, los esfuerzos realizados en Venezuela siguen resultando insuficientes para promover una verdadera movilización social en el país. Sin embargo, las acciones originadas desde la comunidad de estudiantes e investigadores pudieran poseer efectos multiplicadores si las mismas lograran un mayor apoyo del gobierno, de las instituciones académicas, empresas y de los medios de comunicación en general.

## RECOMENDACIONES

Para impulsar un adecuado desarrollo de la nanotecnología en Venezuela, el país debe establecer políticas públicas claras en relación con la formación y divulgación de la nanotecnología. Sólo a través de un plan coherente de divulgación dirigido a la sociedad venezolana en general se podrá obtener la necesaria movilización social para el desarrollo de este conocimiento, y así aprovechar sus ventajas, minimizando los riesgos inherentes al aprovechamiento de todo nuevo conocimiento.

En cuanto a los planes de formación en nanotecnología, el Estado venezolano debe fortalecer estas iniciativas a través de la creación de programas de becas que animen a los profesionales a seguir carreras universitarias en ciencias básicas y aplicadas, a seguir estudios de posgrado orientados en esta área del conocimiento, apoyando, además, la generación de espacios de investigación científica y tecnológica, para el fortalecimiento de las capacidades físicas e institucionales.

En el diseño de estrategias y actividades para el óptimo desarrollo de los planes de divulgación es fundamental promover el intercambio de experiencias a nivel regional e internacional

a través de redes de cooperación similares a las experiencias que adelantan la RedCYTED NANODYF.

Las actividades de promoción de la nanotecnología, en la medida de lo posible, deberían estar destinadas a la sociedad en general. Específicamente se sugiere que el Estado anime la creación de espacios museísticos enfocados a promover experiencias en niños y adolescentes sobre nanotecnología. Estos espacios pudieran incluir exposiciones fotográficas itinerantes del nanomundo, obtenidas en laboratorios tanto nacionales como internacionales, o muestras que exhiban en los aparatos de uso domésticos la evolución de la microtecnología a la nanotecnología, con textos explicativos del funcionamiento.

Debe promoverse también la publicación de material divulgativo y de formación en todos los niveles de educación, así como actualizar los contenidos en los textos de la educación primaria y secundaria para incluir algunos conceptos clave de la nanotecnología que faciliten la apropiación de estos conocimientos en la sociedad venezolana desde edades tempranas.

Otras actividades de divulgación que pudieran tener un efecto multiplicador importante son la organización de foros y la creación de programas audiovisuales en radio y televisión, páginas web, etc., que promuevan el debate sobre las oportunidades y desafíos que impone el aprovechamiento de la nanotecnología en la sociedad venezolana.

Se recomienda, además, promover actividades de divulgación en torno a la nanotecnología, enfocadas en articular los tres actores fundamentales del sistema científico nacional, como lo son la academia, la industria y el gobierno. Para ello, se deben establecer campañas con cátedras itinerantes que lleguen a empresas, organismos públicos, escuelas y universidades. De igual modo, hay que establecer mecanismos que permitan extender y fortalecer experiencias como las adelantadas por los estudiantes de pregrado de la Universidad de Los Andes antes mencionada, y animar a los estudiantes a participar en talleres que les proporcionen competencias para la organización de actividades de divulgación de

nanotecnología en la comunidad en general, que incluyan charlas y demostraciones experimentales, a través del servicio comunitario que deben realizar todos los estudiantes durante sus estudios universitarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- ENANO. (2009). Formación de talento humano y la cooperación interinstitucional. En: <www.redvnano.org/en2.html>.
- FII. (2008). Fundación Instituto de Ingeniería, MC-TII. *Estudio prospectivo de nanomateriales en Venezuela*. Caracas, Venezuela.
- Goncalves, E. (2006) "Estudio exploratorio acerca de los recursos existentes en las tecnologías convergentes en Venezuela. Caso: Nanotecnologías". Trabajo de grado para optar al Magíster Scientiarum. IVIC. Caracas.
- López, M.S., Hasmy, A. y Vessuri, H. (2011). "Nanoscience and nanotechnology in Venezuela". *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 13, núm. 8: 3101.
- MCT. (2005). Ministerio de Ciencia y Tecnología. *Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación: Construyendo un futuro sustentable*. En: <www.fonacit.gov.ve/documentos/pncti.pdf>
- PDVSA. (2009, 14 de mayo). Intevep avanza en estudios para la aplicación de nanotecnología en pozos. En: <www.pdvsa.com/index.php?tpl=interface.sp/design/readsearch.tpl.html&newsid\_obj\_id=7557&newsid\_temas=0>.
- Redvnano.org. (2009a). Minuta de reunión para la conformación de una comisión para la promoción de una red y un programa de posgrado interinstitucional de nanotecnología. En: <http://www.redvnano.org/documentos/MinutaRVNano1.pdf>.
- Redvnano.org (2009b). Hacia un Plan Nacional de Nanotecnología. En: <www.redvnano.org/documentos/HaciaUnPlanNano.pdf>.
- Redvnano.org (2010). Acta Constitutiva y Estatutos Sociales de la Asociación Civil "Red Venezolana de Nanotecnología. En: <www.redvnano.org/documentos/ActaRedDefinitiva.pdf>.
- De la Vega, I., Suárez, M., Blanco, F., Troconis, A. y Aponte, G. (2007) *Las tecnologías nanoscópicas en los centros y las periferias. El caso de los nanomateriales en Venezuela*. Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS). En: <estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/VENEZUELA.pdf>.
- Vessuri, H., Sánchez, I. (2007). "Tecnologías convergentes: ¿qué está siendo hecho y qué debería ser hecho sobre ellas en los Países Andinos?". Estudio Nacional Venezuela. En RoKS / IDRC 2003 - 2004 (2007) *Comprendiendo las dimensiones sociales y de política pública de tecnologías transformativas en el Sur. Proyecto: tecnologías convergentes: ¿qué está siendo hecho y qué debería hacerse sobre ellas en los Países Andinos? Informe final de investigación*. La Paz, Bolivia. En: <www.redvnano.org/documentos/proyecto.pdf>.

## El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia

M. CARMEN SÁNCHEZ-MORA\* Y JULIA TAGÜEÑA PARGA\*\*

**RESUMEN:** El presente trabajo parte de tres ideas, la primera es la noción de obstáculos epistemológicos (OE), explicaciones del mundo que, de acuerdo con Bachelard, limitan la comprensión de los conocimientos científicos durante su enseñanza. La segunda es que la nanociencia y la nanotecnología se han convertido en aspectos comunes de la vida diaria a los que debería tenerse acceso, pero donde suponemos que la percepción de las escalas nano funciona como OE para la comprensión de sus alcances y aplicaciones. Por último, consideramos que en los ambientes de aprendizaje informal de los museos de ciencias, dada la naturaleza de la interacción del público con sus exhibiciones, es posible detectar dichos OE. En este trabajo, se presenta un estudio empírico que lleva a una propuesta para trabajar los OE que representan las escalas nano.

**PALABRAS CLAVE:** nanociencia, nanotecnología, obstáculo epistemológico, museología de la ciencia, escalas nano.

**ABSTRACT:** This paper considers three main ideas. First, the notion of epistemological obstacle (EO) proposed by Bachelard, which considers that during science teaching, the learners have their own personal explanations about the world, that function as real epistemological obstacles (EO). These EO impair the understanding of scientific knowledge. The second one is that nanoscience and nanotechnology are becoming common aspects of daily life, but where the perception of nanoscales functions as real EO that interferes with its comprehension. And third, it is considered that in informal science education environments such as science museums, it is possible to detect those EO, due to the nature of the interaction between the visitors and the exhibits. In this paper an empirical research is presented, aiming to set a proposal to work with the EO represented by nanoscales.

**KEY WORDS:** nanoscience, nanotechnology, epistemological obstacle, science museology, nano scales.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace tiempo, en aras de mejorar la comunicación, se sugiere que en la divulgación que se realiza en los museos de ciencia (Scriven, 1983) se tomen en cuenta las representaciones del mundo que tiene el público potencial. Se trata de una tarea complicada, porque implica conocer las representaciones que tienen los visitantes sobre un tema en particular, y que han sido generadas y transmitidas por la propia sociedad. Dichas representaciones se han convertido en una especie de convenciones sociales o

---

\* Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México. <csanchezmora@hotmail.com>.

\*\* Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM y doctora en física del estado sólido por la Universidad de Oxford. Es investigadora del Centro en Investigación en Energía <www.cie.unam.mx> de la UNAM e investigadora nacional nivel III. Formó parte del equipo creador de Universum, museo de las ciencias de la UNAM. Actualmente, es la presidenta de la Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica <www.somedyct.org.mx>. <jtp@cie.unam.mx>.

personales que es necesario que el museo aborde o cuando menos cuestione a través de sus exhibiciones, si pretende divulgar el conocimiento científico de manera duradera y creíble por parte del público. Para ello, es necesario que conozca de antemano estas representaciones cuando planea y elabora sus exhibiciones.

En la divulgación de temas novedosos e imprescindibles como es la nanociencia, el divulgador museólogo se enfrenta no sólo a las representaciones que los visitantes puedan haberse formado del tema, sino también a la complejidad de los conceptos a exhibir, pero, sobre todo, a la exposición de un tema fuera del alcance sensorial del ser humano, asunto que complica aún más su comunicación (Crone, 2006).

La nanociencia no es en sí una nueva ciencia, se trata de la mecánica cuántica, el gran avance de principios del siglo XX, que describe el comportamiento de los átomos y fenómenos lejos de nuestra experiencia cotidiana.

En cambio, el término nanotecnología sí es actual y está relacionado con la aplicación de la nanociencia en la construcción, entre otros, de máquinas, brazos robóticos o motores más diminutos que una célula en la escala de 10 a 100 nm. Hoy, la palabra abarca cualquier tecnología a escala nanométrica y aunque cada vez el público escucha más acerca de estos temas, difícilmente los comprende (Sánchez-Mora, 2006).

Para el caso de la nanociencia, nos enfrentamos a un cuerpo de conocimientos donde su manejo presupone obstáculos de orden conceptual, que en buena medida impiden que de acuerdo con el modelo canónico de la comunicación científica, se acorte la brecha entre el científico y la audiencia no científica (Bucchi, 1996), ya que ni siquiera los conocimientos utilizados pueden ser conceptualizados por proyecciones metafóricas a partir de las experiencias corporales, como lo hipotetiza Lackoff (1987, citado por Goatly, 1991: 41).

### *El concepto de obstáculo epistemológico*

El concepto de obstáculo epistemológico (OE) ocupa un lugar muy importante en la teoría de Gastón Bachelard (1884-1962) (Bachelard, 1994), mismo que ha tenido un fuerte impacto en la filosofía de la ciencia y particularmente en su enseñanza. Este concepto empieza también a cobrar relevancia en los museos de ciencia, pues se ha visto que al servir de base para la construcción de exhibiciones, permite que el visitante se enfrente a dichos obstáculos y en ocasiones los cuestione, gracias a la posibilidad que tiene de interactuar con los equipos del museo (Hein, 1998). Una de las mayores aportaciones de los museos de ciencia a su enseñanza es que sus equipos permiten a los investigadores educativos estudiar cómo se comprenden diferentes temas científicos a partir del conocimiento de los modelos y esquemas, a través de los cuales los visitantes se explican el mundo (Haste, 1997).

Bachelard concibe el conocimiento más allá de una simple representación del mundo por parte del sujeto, a quien mira como un auténtico constructor de conocimiento.

De este modo, Bachelard se interesa por determinar cuáles son las condiciones que favorecen la conformación de una mente constructora de conocimiento científico. En su obra *La construcción del espíritu científico* se refiere al tema de los obstáculos epistemológicos:

Cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos. (Bachelard, 1994: 9)

Este asunto de los obstáculos es central para Bachelard, pues los considera esenciales en el acto de conocer; así, postula que constituyen una herramienta conceptual a través de la cual, es posible comprender las causas de las dificultades y de los retrocesos en la construcción del conocimiento científico.

Bachelard opone esta noción a la idea operante a fines del siglo XIX de que existe una unidad de la experiencia o del conocimiento, predominante tanto en los empiristas como en los idealistas. La influencia del positivismo en el campo de las ciencias naturales acentuó el polo en el que las dimensiones cuantitativas primaron como fundamento y prueba, y sirvieron para sustentar la continuidad entre el conocimiento común y el científico. Se trataba de pensar, medir y contar y, desconfiar de lo abstracto. Había que atenerse a lo concreto. Este principio era fundamental para el científico que construía el nuevo conocimiento y para el docente que debería orientar el aprendizaje de ese conocimiento. Bachelard escribe que “ver para comprender” era el principio de dicha pedagogía, desde donde inicia un camino de enfrentamiento ante esa concepción de la ciencia y la pedagogía centrada en lo concreto.

Bachelard habla de que ya en la primera mitad del siglo XX se habían producido cambios en esa manera de concebir la ciencia, sobre todo, cuando la física comienza a hablar de cosas que no forman parte del pensamiento cotidiano; por ejemplo, el átomo y sus abstracciones teóricas se alejan del sentido común e incluso lo contradicen.

Para Bachelard, el obstáculo epistemológico es lo que se sabe y genera una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo. Considera que el científico y el público nunca parten de un conocimiento cero, viven en un contexto cultural de donde se desprenden sus conceptos y teorías. Cuando se enfrentan a una nueva concepción, ambos tienen una opinión de los asuntos científicos antes de entrar en contacto con ellos o después de aprender una teoría. Conocimiento vulgar, creencia u opinión encuentran en su origen diversos componentes de naturaleza social e individual, de allí la resistencia a desprenderse de ellos y a sustituirlos por otros.

Bachelard se instala en una ruptura con el sentido común; considera que el enemigo del conocimiento científico es la opinión, a la que mira como el primer obstáculo a vencer.

La relación entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano o del sentido común es central en la obra de Bachelard, incluso, se enfrenta a lo que llama los “continuistas de la cultura”, quienes creen que puede haber una continuidad entre el conocimiento común y el científico.

De acuerdo con lo anterior, poner al alcance del público los conocimientos de la ciencia exige penetrar en las concepciones del mundo que éste tiene, e intentar comprender sus modelos mentales para contrastarlos con otras explicaciones. Se trata de un empresa complicada, si se considera lo difícil que es que el visitante se desprenda de sus modelos mentales, sobre todo cuando se enfrenta cada día a una mayor diversidad en cuanto a las calidades y profundidades de los ambientes de aprendizaje a los que está expuesto.

Los educadores en general y los divulgadores en particular conocen el peligro que entraña el tratar de transportar los conocimientos de un medio a otro, por ejemplo, del formal al informal, pues los obstáculos pueden acentuarse e, incluso, hacerse más resistentes a la negociación. Los divulgadores tenemos claro que el espacio cultural es determinante del contenido que se construye, porque todos los aprendizajes son contextuales, y, que las representaciones están mediadas por el contexto en el que fueron construidas, y, a su vez, los contextos lo están por las representaciones.

Consideramos que en los ambientes informales como los museos, los objetos de exposición, a causa del impacto emocional que producen o de las estrategias interactivas que proponen, pueden colocar a los visitantes en situación de revisar sus concepciones y en particular de cuestionar algunos de sus obstáculos y que este tipo de situación puede producirse cuando los constructores de exposiciones conocen a su vez tales obstáculos.

En este trabajo se plantea el uso de la evaluación formativa para la localización de obstáculos epistemológicos en la divulgación de la nanociencia y la nanotecnología.

### *Los equipos museológicos*

Desde hace mucho tiempo se ha estudiado en el ámbito escolar la importancia que tienen los obstáculos para la construcción de conocimientos (Benlloch, 2002; Weissmann, 1997; Arca *et al.*, 1997). En cambio, en el terreno de la museología de las ciencias, es decir, en la educación informal, se tienen pocas investigaciones al respecto. En los museos, espacios educativos informales donde impera la libre elección, cada visitante conduce su aprendizaje a diferentes ritmos y de acuerdo con sus necesidades y contextos. En gran parte el éxito de las exposiciones en cuanto al aprendizaje informal está en la capacidad que tiene el equipo expuesto para tomar en consideración en su diseño las concepciones de los visitantes (Gerber *et al.* 2001).

Hoy en día los equipos de los museos de ciencias están siendo diseñados a partir de la idea de que cada visitante construye su propio saber a partir de los elementos nuevos que asocia a los que ya posee. También sus diseños se han basado en el conocimiento de las preconcepciones, a fin de elaborar equipos que las modifiquen o al menos las cuestionen, objetivo que se logra creando situaciones llamadas de interactividad, descriptor complejo de una nueva forma de aprendizaje, donde son importantes el contexto, las acciones físicas, las características personales del aprendiz, y la posibilidad de entablar una conversación con otros visitantes que a su vez acuden al museo con sus propios conocimientos, intereses y motivaciones. Es finalmente esta conversación, la que actuará como un detonador de las ideas ingenuas y quizá de su cuestionamiento (Falk, 2002). Algunas investigaciones han demostrado que las exhibiciones, ya sea por el impacto emocional que causan, o por las estrategias interactivas que proponen, pueden colocar a los visitantes en situación de cuestionar sus concepciones y hasta de hacerlas tambalear (Sánchez-Mora, 2006).

El objeto de este trabajo es mostrar que el procedimiento de creación de una exposición puede apoyarse en el conocimiento y el análisis de los obstáculos epistemológicos, a fin de promover situaciones activas de descubrimiento para el público. Lo que se quiere señalar es el interés de reunir previamente información que permita conocer las concepciones del público, así como privilegiar en cada caso, soluciones museográficas que los inciten a la actividad sin reforzar los obstáculos ni crear otros nuevos. Estas situaciones, centradas en los aspectos que constituyen un obstáculo, pueden contribuir a hacer evolucionar las concepciones de los visitantes sobre los temas expuestos.

### *Aportaciones de la enseñanza de la ciencia a la museografía científica*

Desde hace ya varias décadas (Arca *et al.*, 1997; Benlloch, 2002; Hein, 1998; Weissmann, 1997), la investigación en didáctica de las ciencias señala que la educación científica

supone una participación activa del sujeto en el descubrimiento y en la aplicación del saber. Existen numerosos estudios que muestran que este saber no es accesible si no se toma en cuenta ese aspecto. Hasta muy recientemente se empieza a considerar esta participación activa en la museología de la ciencia, que hasta hace poco tiempo solía estar en manos de museógrafos, arquitectos y científicos (Triquet, 1993).

El reto hoy en día es construir un museo constructivista enfocado en el visitante y no en el tema a exhibir, y donde se tome en cuenta que no hay conocimiento independiente del significado construido por el público. Algunos autores (Hein, 1998) proponen buscar en lo exhibido en el museo conexiones con lo familiar, es decir, lograr que el visitante pueda asociar la situación educativa con lo que ya conoce, atributo fundamental de cualquier posición constructivista. En opinión de Hein (1998), no sólo es difícil sino es casi imposible aprender algo sin poder hacer asociaciones con categorías familiares.

La divulgación de la nanociencia en los museos presupone entonces una dificultad extra que consiste en que el visitante haga asociaciones en un campo fuera de su alcance sensorial.

Una forma de abordar este problema es volver a Bachelard, cuando señala que tanto en el que aprende como en el investigador, el pensamiento científico progresa de manera dialéctica en virtud de revisiones sucesivas (Bachelard, 1994), lo que implica poner constantemente en tela de juicio las concepciones personales.

Numerosos estudios (Benlloch, 2002) han comprobado la importancia de tomar en cuenta las concepciones de los aprendices. Habrá que recordar que niños y legos interpretan los fenómenos a partir de su marco de referencia, pero que estas ideas no son infinitas y, por tanto, pueden agruparse en tipos. El aprendizaje depende de esas ideas, ya que el que aprende interpreta las nuevas informaciones a través de ellas. Si no se tiene esto en cuenta, el nuevo saber queda aislado del anterior y no logra modificarse o al menos hacerlo coexistir. Además, algunas ideas funcionan como verdaderos obstáculos para el aprendizaje, por lo que el conocimiento de ellas puede llevar a estrategias tanto de enseñanza como de divulgación más eficaces.

La mayoría de los estudios antes mencionados ocurren en el ambiente educativo formal, pero aun cuando no corresponden al ambiente informal de los museos, ciertas experiencias no dependen del lugar donde se desarrollen y parecen poder transportarse de un ámbito a otro según ya lo había demostrado Giordan en 1988.

El problema en el museo es que se trata de un ambiente de educación informal donde resulta imposible hacer un trabajo continuo con el receptor como ocurre en la escuela, lo cual no impide que las concepciones del público se utilicen como un punto de partida que permita seleccionar y diseñar los elementos a exhibir (Borun, 1993).

En la década de los años setenta del siglo XX, mientras se empezaba a cuestionar el papel educativo de los museos, también comenzaron a ver la luz estudios sobre la recepción de las exposiciones.

Scriven (1883) ya había señalado que quien construye el equipo requiere ante todo plantearse los objetivos de ésta y, enseguida, intentar conocer al público meta, momento en el que entran en juego sus concepciones sobre el tema que se pretende exhibir. Este momento es crucial para Scriven, porque incluso el museo puede funcionar como reforzador de estas falsas ideas. Por ello es que las evaluaciones inicial y formativa constituyen metodologías básicas e indispensables en el desarrollo de exhibiciones en los museos que se preocupan, si no por transformar las ideas ingenuas

de los visitantes, por lo menos por hacerles cuestionar aquéllas con las que inherentemente acuden al museo (Taylor, 1998).

## LA EDUCACIÓN INFORMAL EN NANOCIENCIA

Los avances en nanociencia, nanoingeniería y nanotecnología están revolucionando la medicina, la computación, la ciencia de materiales, la producción de energía y la manufactura; pero para el público general, estos avances son difíciles de comprender (Scheufele, 2005).

La investigación a nanoescala ha planteado un gran reto a las comunidades de educadores y comunicadores en la creación de nuevos métodos y aproximaciones que comuniquen o den a conocer el trabajo de los nanocientíficos e informen al público acerca de los avances en la investigación científica en este campo. También se considera muy importante la divulgación adecuada de estos temas, para capturar a las nuevas generaciones que podrían elegir carreras dentro de la nanociencia y nanotecnología (Crone, 2006).

Quizá una de las principales razones para buscar tener un público informado en estos asuntos es que se considera que la nanociencia y sus cada vez más abundantes y cotidianas aplicaciones deberían pasar a formar parte de la cultura de un público, en el que por un lado se requiere que comprenda los procedimientos científicos y los alcances en este campo y que, por otro lado, cuente con un vocabulario de términos relacionados con el mismo. En algunos países se busca también la comprensión de la nanociencia y la nanotecnología para el patrocinio económico de los proyectos científicos (Baindridge, 2002). Es importante mencionar también que toda nueva tecnología tiene implicaciones éticas que deben de ser consideradas y para que la sociedad participe en este debate debe estar bien informada (Bennet-Woods, 2008).

Las propiedades de los materiales al nivel nanométrico tienen ya varios usos y en el futuro cercano se prevé que haya muchas más aplicaciones potenciales como por ejemplo: filtros, es decir, membranas nanoporosas que serían el sustituto avanzado de los métodos actuales para eliminar contaminantes en líquidos o en el aire, o bien en otros dispositivos como memorresistores, biosensores, bioandamios, nanocápsulas, anticuerpos artificiales, celdas solares, celdas de combustible y nanotubos de carbono, entre otros. Estos últimos servirán para fabricar láseres más potentes, microchips más diminutos así como nuevos materiales superconductores.

### *El conocimiento público de la nanociencia*

Los avances en la investigación a nanoescala plantean un gran reto a las comunidades de educadores y comunicadores, en tanto deberán crear nuevos métodos y materiales educativos que transmitan el trabajo científico y tecnológico en este campo. Esto incluye la adquisición de un vocabulario de términos relacionados con el nanomundo, y el acercamiento a un tema científico que se vuelve parte importante de nuestra vida diaria; de manera que la nanociencia y la nanotecnología deberían abordarse desde los programas escolares, hasta los sistemas de educación informal y los medios de comunicación.

En los últimos años se insiste (Scheufele y Lewenstein, 2005) en que la nanotecnología tiene incluso el potencial de revolucionar muchos aspectos de nuestra sociedad, dado que los avances en este campo están afectando nuestras vidas. Lo anterior

hace ver este campo científico y tecnológico como un gran reto y al mismo tiempo como una gran oportunidad. Sin embargo, sus avances, métodos y alcances, permanecen invisibles y difíciles de comprender por el público general, de manera que, para informarle eficazmente acerca de la nanotecnología, se requiere lograr ante todo su comprensión, mediante un camino de comunicación más fluido con los científicos (Stevens *et al.*, 2002).

En general, la percepción de la nanotecnología es positiva por parte de los científicos (Bainbridge, 2002), pero una vez que uno se acerca al público general, se enterada de que sólo el 40% había escuchado de ella y menos de ese 40% la logran definir. De estos resultados se desprende que, si bien entre los investigadores en nanociencia hay una buena comunicación entre pares, para el público general, entre quienes están los posibles consumidores de los productos generados, hay una completa falta de comunicación con los generadores de la nanotecnología.

Aún sin comprenderla, los pocos que han oído hablar de nanotecnología tienen una opinión positiva o neutral acerca de ella. Esta percepción recabada en los EUA, se debe muy probablemente a que en general la gente le apuesta a la tecnología para mejorar sus vidas (Crone, 2006).

Pero cuando las evaluaciones y encuestas se refieren a los conceptos de la ciencia, la comprensión por parte del público es muy pobre, lo cual muestra que la escasa cultura científica sigue siendo un gran problema en general y, en especial, en relación con el tema de la nanociencia. Las explicaciones a esta circunstancia provienen de acuerdo con Crone (2006), a la baja comprensión del concepto de átomo y molécula, aspecto que convierte en incomprensible el lenguaje utilizado por los nanotecnólogos.

Una revisión de la literatura realizada también por Crone (2006) acerca del tema nos muestra que:

- El público no maneja conceptos como átomo y molécula y, por lo mismo, carece del conocimiento de la estructura atómica.
- Incorrectamente razona que los átomos y moléculas en una sustancia tienen las mismas propiedades que dicha sustancia tiene en la macroescala.
- Consideran a la materia como algo continuo, en lugar de formado por partículas.
- Y, sobre todo, tiene grandes dificultades para comprender las escalas invisibles al ojo humano.

Todo esto muestra que la apropiación de la nanotecnología por el público no es fácil, dado que implica la superación de varios obstáculos epistemológicos.

### *La nanotecnología en los museos*

Si la divulgación de la nanociencia y la nanotecnología a través de cualquier medio se mira compleja porque implica la comunicación de una gran cantidad de conceptos no manejados por el público, pero necesarios para su comprensión, los retos impuestos por la nanociencia y la nanotecnología para su divulgación en los museos de ciencia son aún mayores, puesto que por su forma de comunicación, a través de exhibiciones, es necesario enfrentar a los visitantes a un tema cuya escala está fuera de la experiencia sensorial humana. Aún así, al ser los museos un medio de divulgación que permite comunicarse en simultáneo con amplias audiencias, se miran como uno de los sitios idóneos para lograrlo. Por otro lado, los museos de ciencia han logrado desarrollar la capacidad de hacer comprensibles fenómenos complejos (Taylor, 1998).

Aunque Crone (2006) está consciente de las dificultades que implica la divulgación de la nanociencia, considera que es un tema que, por sus grandes implicaciones, debiera mostrarse a las grandes audiencias que concurren en los museos de ciencias. Percibe a éstos como el medio ideal para ayudar a los visitantes a introducirse en los fenómenos a nanoescala, en el entendido de que, para hacerlo, habrá que partir de investigación educativa en el ambiente informal.

## LA ESCALA NO VISIBLE COMO OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO

Sin ignorar las múltiples dificultades conceptuales que implica la enseñanza y la divulgación de la nanotecnología mencionadas en el apartado anterior, en este trabajo se procede bajo la hipótesis de que precisamente el tema de la escala no visible al ojo humano desnudo constituye el primer obstáculo epistemológico (Bachelard, 1994) para la comprensión de estas temáticas.

Consideramos, además, que este obstáculo es primario ya que a él subyacen las dificultades de la comprensión de la estructura atómica (por lo menos en el aspecto de la escala) y de la continuidad de la materia. De manera que —pensamos— en la medida en que se supere o aclare dicho obstáculo, se facilitará la introducción del público al tema de la nanociencia.

Tomando en cuenta las ventajas que ofrecen las exhibiciones museográficas para el acercamiento del público a conceptos difíciles, pero sin ignorar los serios peligros conceptuales que éstas pueden generar si no se diseñan de acuerdo con investigación educativa seria, es que en este trabajo ofrecemos una investigación llevada a cabo para estudiar las formas óptimas de presentación de las escalas no detectables por el ojo humano, con la intención de servir como base para el desarrollo de una exhibición más extensa acerca de la nanotecnología. Consideramos que si bien el tema puede exhibirse solamente mostrando objetos elaborados con base en la nanotecnología (como muchos museos de ciencia lo abordan), creemos que mientras los visitantes no comprendan el intervalo de medidas en las que se mueve la nanotecnología, la exhibición de estos objetos nanotecnológicos no pasará de ser una simple muestra en la que, sin la comprensión por parte del público, su capacidad educativa y formadora de opiniones será muy limitada.

Aprovechando la existencia en el museo *Universum* de la UNAM de una exposición sobre mecánica cuántica, en la cuál se muestra entre muchos otros equipos, una escala de medidas no visibles con el ojo desnudo, se realizó la evaluación formativa de la misma, con la intención de detectar los obstáculos que el público manifiesta para su interpretación y, con los resultados obtenidos, se plantea desarrollar una nueva propuesta museográfica que contemple el obstáculo epistemológico detectado en la primera.

### *Una metodología adaptada a una exhibición*

Con apoyo de la problemática de la evaluación formativa y de la atención prestada a las ideas de quienes aprenden, desarrollamos y pusimos a prueba diversas situaciones que permiten hacer evolucionar de manera duradera las concepciones del público potencial que pueda acudir a un museo de ciencia. Si bien el proceso se desarrolló en realidad en un contexto diferente al del museo, es complementario de aquel y apunta a los mismos objetivos de construcción de saberes. Se eligió trabajar en el contexto

escolar dada la facilidad que este ambiente nos ofrecía para controlar a los grupos, las interacciones y, sobre todo, la recolección de datos.

Hemos partido de la idea de que el creador de la exposición es el responsable de la elección de los conocimientos y de su organización, pero dicha creación puede regularse tomando en cuenta el punto de vista del visitante. Lo fundamental continúa siendo que la exposición interroge, suscite la curiosidad, plantee problemas, motive al visitante a saber más, y lo impulse a consultar otros soportes como libros, Internet, etcétera.

Lo más importante no son sólo los mensajes, sino también la forma que se les da a los instrumentos de comunicación elegidas, desde la puesta en escena de los elementos, hasta el diseño de los objetos, pasando por las cédulas. Los visitantes perciben primero estos componentes y los agregarán a sus nuevos descubrimientos, por ello el museólogo emplea estrategias destinadas a crear situaciones de inducción que favorezcan la construcción del sentido por parte del público.

La investigación llevada a cabo en el ambiente formal y sus resultados, trasladados al ambiente informal, se basa en considerar las concepciones de los posibles visitantes, quienes descifrarán el objeto de exposición en función de sus propias concepciones que seguramente no son las del creador de la exposición y, particularmente, nos interesa saber si los elementos de la exposición constituyen obstáculos que el visitante puede transformar por completo en el sentido que se le propone. Es importante pues, que el creador de la exposición indague y tome en cuenta las concepciones generadas y los posibles obstáculos (Guichard, 1990), aspectos que dentro de la investigación en comunicación de la ciencia, permiten conocer mejor a la audiencia (Negrete y Lartigue 2010).

La realización de objetos de exposición no es en sí una investigación en didáctica, pero las indagaciones permiten informar a los museólogos sobre las concepciones de los visitantes. La transformación en objetos de los temas de la exposición es entonces un trabajo de creación, que puede apoyarse en los elementos descubiertos durante las investigaciones con el objeto de, más adelante, inventar situaciones problemáticas adaptadas.

### *La evaluación diagnóstica*

En el terreno de la creación de exposiciones son de suma importancia los estudios empíricos que llevan a generar datos y mediciones en la comunicación de la ciencia, parte de lo cual se logra al indagar las relaciones que se dan entre las conductas observadas y el contexto museológico que las indujo. Por lo tanto, el plan de evaluación no estuvo completamente elaborado *a priori*, sino que evolucionó continuamente en función de las interacciones entre el evaluador, quien concibe la exposición, el público, y las limitaciones técnicas de los equipos interactivos.

Las hipótesis van surgiendo en el curso del estudio, de manera que sondeos y entrevistas construyen las metodologías esenciales de estas evaluaciones cualitativas (Taylor, 1998).

En los estudios que posteriormente se presentarán, se efectuaron pruebas previas y posteriores de naturaleza idéntica: cuestionarios orales sobre las propuestas gráficas presentadas y solicitud de respuestas escritas ante los cuestionamientos, todas ellas, para interpretar los resultados. En todo momento se suscitó una situación de in-

tercambio de ideas, de las cuales las emitidas por los estudiantes que fungieron como visitantes potenciales al museo fueron registradas como “notas de campo”.

Con el objeto de homogeneizar a la población estudiada y de poderla controlar, la evaluación diagnóstica se efectuó sobre el elemento expuesto en el museo pero dentro del ámbito del salón de clases. A esto se prestó la característica de la exhibición de tratarse de un gráfico ilustrado que podía trasladarse con toda facilidad al ámbito áulico.

## METODOLOGÍA

Con miras a detectar los obstáculos epistemológicos representados por la comprensión de la escala humana no visible y bajo la hipótesis de que éstos dificultan la comprensión de los conceptos básicos para entender la esfera de acción de la nanociencia y la nanotecnología, se llevó a cabo una evaluación formativa de un equipo de museo sobre nanoescalas. Cabe mencionar que dicho equipo ha sido anteriormente evaluado y resulta ser uno de los más atractivos de la sala de acuerdo con el criterio empleado corrientemente en los museos de ciencia, de contar el poder de atracción de los equipos por el número de visitantes que se acumulan en un cierto tiempo y el tiempo transcurrido frente a éstos (Hein, 1998). Sin embargo, dado que no posee referentes directos a la nanotecnología y sus estructuras, en lo que a las escalas se refiere, es que se retoma en este estudio como punto de partida de una evaluación formativa.

Esta evaluación formativa se desarrolló en un salón de clase de una escuela secundaria (36 estudiantes) a la que se trasladó el gráfico que constituye dicha exhibición (se proyectó). Una vez explicado el mismo, se procedió a plantear oralmente un cuestionario (que se anexa en la sección de resultados) con el cual se evaluó la comprensión de la escala propuesta y se detectaron los obstáculos principales que genera esta forma de presentación de las escalas no visibles. Cada vez que se planteaba una pregunta al grupo, se contaban el número de respuestas correctas. Habrá que añadir que la evaluación también incluyó las notas que se tomaron de las preguntas de los estudiantes; sin embargo, se omitió la filmación para no influir sobre la conducta del grupo.

A manera de comparación, con otro grupo (36 estudiantes) se explicó otra forma de presentar las escalas (propuesta didáctica) (Sánchez-Mora, 2000). Esta forma de presentación consiste en hacer comparaciones macroscópicas con el mundo visible, en el entendido de que la traducción a las “escalas del mundo visible”, facilitarán la comprensión del concepto de la nanoescala. Igualmente, se presentaron las escalas y los ejemplos a todo el grupo, se contestaron dudas y se trabajó con algunos ejemplos, muy semejantes éstos, mismos que después se utilizaron en la evaluación. Hay que hacer notar que aunque se procuró que las preguntas aplicadas en los tres diferentes eventos de evaluación fueran similares, la naturaleza de los materiales expuestos implicó hacer pequeños ajustes a los cuestionarios (mismos que se observan en la tabla). Una vez que los grupos manifestaron que ya no tenían más dudas sobre lo explicado, se procedió a transmitirles oralmente las 10 preguntas de prueba, y en cuanto todo el grupo manifestaba que ya había resuelto cada pregunta y que ya no añadiría nada más, se procedía a plantear la siguiente. El proceso de explicación de la tabla tomó 35 minutos para la gráfica del museo y 27 minutos para la propuesta didáctica; mientras que el proceso de examen se ajustó en ambos casos a 50 minutos, ya que se dieron cinco minutos por pregunta (en general, cada pregunta era resuelta por la totalidad del grupo en un promedio de cuatro minutos, salvo en una pregunta que les resultó muy difícil en la que hubo que dar un tiempo de seis minutos). Lo an-

terior significa que el tiempo de trabajo con cada grupo fue de aproximadamente una hora y media. La parte más importante en cada prueba consistió en plantear tres preguntas de aplicación de las escalas relativas de tres estructuras nanotecnológicas ficticias, cuyo objetivo era corroborar la comprensión de las escalas a nivel nano. Estas preguntas corresponden a las tres últimas de cada cuestionario.

Una semana después de haber aplicado las dos primeras pruebas y de acuerdo con los resultados obtenidos, se procedió a plantear una tercera forma de presentación en la cual se intenta subsanar muchas de las dudas y los errores cometidos en la interpretación de las dos pruebas anteriores como son:

- a) Los estudiantes requieren situarse dentro de una escala métrica en la que puedan visualizar las reducciones en tamaño a partir del milímetro (esto se logró pidiéndoles que observaran en su regla un milímetro y que imaginariamente lo fueran dividiendo cada vez en diez partes más pequeñas). En el anexo puede verse el gráfico que se utilizó para tal fin.
- b) Los estudiantes requieren de un mismo ejemplo que vaya disminuyendo en escala, ya que en el segundo ejercicio se notó que la falta de referentes en los ejemplos mostrados generaba muchas confusiones (finalmente, quien nunca ha visto un paramecio, un virus o un eritrocito, tiene muchos problemas para comprender las escalas relativas). De acuerdo con lo anterior, es que se decidió presentar en la tercera modalidad tres ejemplos a escoger, uno de ellos consistió en ir “reduciendo” el tamaño desde un árbol, a una hoja, el grueso de la hoja, las células vegetales, la pared de estas células, las fibrillas de celulosa, las macro y microfibrillas, la molécula de glucosa y, finalmente, el átomo de carbono. En otro ejemplo, se mostró desde una jeringa, su aguja, la punta de ésta, las bacterias localizadas en dicha punta, los virus que caben en esa bacteria, el ARN viral, hasta un átomo de carbono. Finalmente, se utilizó un ejemplo de ir disminuyendo el tamaño dentro de una célula.

La propuesta gráfica de esta tercera modalidad se puede ver en el anexo.

Los tiempos de explicación y de resolución de las preguntas fueron semejantes a los de los dos primeros tratamientos.

Tanto en la modalidad didáctica, como en la derivada de la exhibición de museo y en la propuesta surgida del análisis de las dos anteriores, se solicitó a los alumnos la respuesta a las diez preguntas asentadas en la tabla. Cabe resaltar que la parte más importante de estos cuestionarios consiste en pedir a los sujetos experimentales que ubiquen la escala a la que se encuentran diferentes objetos nanotecnológicos como los nanomotores, nanotubos o nanomallas (que aparecen en las tres últimas preguntas para cada caso), y que en ningún momento se trabajó con el concepto de átomo ni de molécula para no entorpecer los resultados sobre la comprensión de las escalas. Sin embargo, tenemos claro que este trabajo deberá complementarse posteriormente con la indagación acerca de la comprensión del concepto de átomo y su estructura, así como de la naturaleza discontinua de la materia, sin los cuales la comprensión de la nanotecnología no puede estar completa.

Se trabajó con tres diferentes grupos, cada uno de 36 estudiantes de entre 12 y 14 años de edad, sobre la base de que sus conocimientos se asemejan a los del público general que acude al museo.

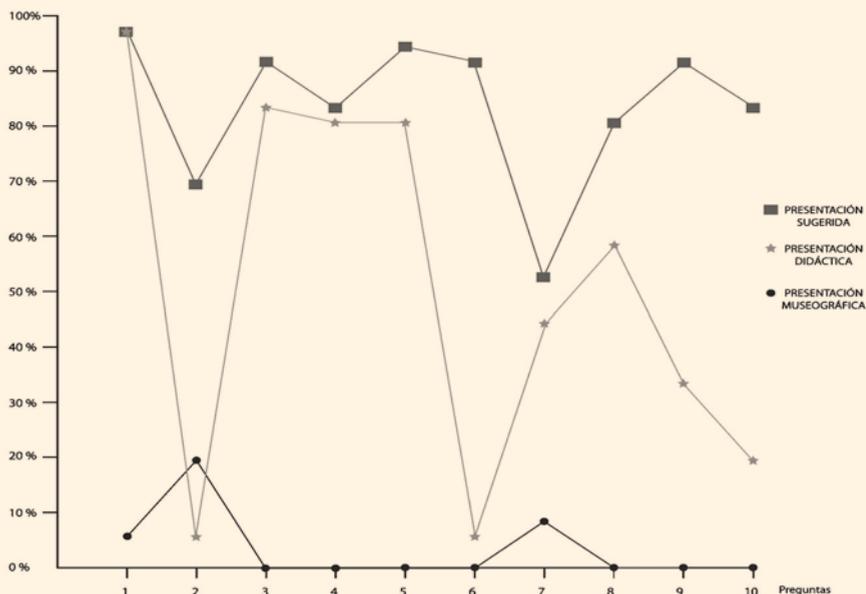
## RESULTADOS

Tabla comparativa de resultados de acuerdo con las preguntas

Equipo del museo	Sugerencia didáctica	Presentación sugerida
¿Cuál crees que sea el menor tamaño de un objeto visible con el ojo desnudo? 2/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con el ojo desnudo? 35/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con el ojo desnudo? 35/36
¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 7/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 2/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 25/36
¿Cuál crees que sea el mayor objeto visible con microscopio electrónico? 0/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con microscopio electrónico? 30/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con microscopio electrónico? 33/36
¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 0/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 29/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 30/36
¿Cuál crees que sea el mayor objeto visible con microscopio óptico? 0/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con microscopio óptico? 29/36	¿Cuál es el mayor objeto visible con microscopio óptico? 34/36
¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 0/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 2/36	¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? 33/36
Si un virus mide 100 nanómetros, ¿dónde lo colocarías en esta escala? 3/36	Si un virus mide 100 nanómetros, ¿a qué medida equivaldría en esta escala relativa de centímetros y metros? 16/36	Si un virus mide 100 nanómetros, ¿cuántos cabrían lado a lado en un milímetro de tu regla? 19/36
¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar a una célula? 0/36	¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar en una célula? 21/36	¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar a una célula? 29/36
Si un nanomotor mide lo mismo que una célula, ¿cuánto mide en nanómetros? 0/36	Si un nanomotor mide lo mismo que una célula, ¿cuánto mide en la escala relativa? 12/36	Si un nanomotor mide lo mismo que una mitocondria, ¿cuánto mide en nanómetros? 33/36
¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar internamente una bacteria? 0/36	¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar internamente una bacteria? 7/36	¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar al ADN? 30/36

Con objeto de facilitar la lectura y el análisis de los resultados obtenidos en los tres tratamientos, éstos se han colocado en la misma tabla en la que se muestran las preguntas planteadas en cada uno de los tres casos. Y para su mejor comprensión, se han organizado los resultados para los tres tratamientos en la gráfica 1.

**GRÁFICA 1.** Porcentaje de respuestas correctas para los tres tratamientos



Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, la lectura de la propuesta original (tabla proveniente del museo) presenta muchas dificultades para su lectura, lo que redundó en una enorme dificultad para que los estudiantes situaran las estructuras nanotecnológicas en la escala, lo anterior se concluye por la falta total de respuestas correctas (ver las tres últimas preguntas y sus respuestas). Todas las preguntas arrojaron los mismos resultados negativos, salvo aquella que es demasiado obvia como en la que se les pide que localicen a un virus de 100 nm en la escala, aún así, sólo tres estudiantes de 36 dieron una respuesta correcta.

Si se revisan los resultados de la propuesta didáctica (segunda columna), se encuentra una ganancia cognitiva absolutamente mayor que con la propuesta proveniente del museo, sin embargo, llama la atención que si bien hay un gran número de respuestas correctas (29/35) cuando se pregunta el tamaño del mayor objeto visible con un microscopio óptico, los estudiantes no pueden dar su medida en nanómetros y ni siquiera pueden trabajar con una escala relativa, como se puede ver en la pregunta número 7 (opción didáctica) en la que casi la mitad de los estudiantes fueron incapaces de responder correctamente.

En cuanto a la aplicación nanotecnológica en esta misma propuesta didáctica, observamos que, un número significativo de estudiantes puede responder adecuadamente

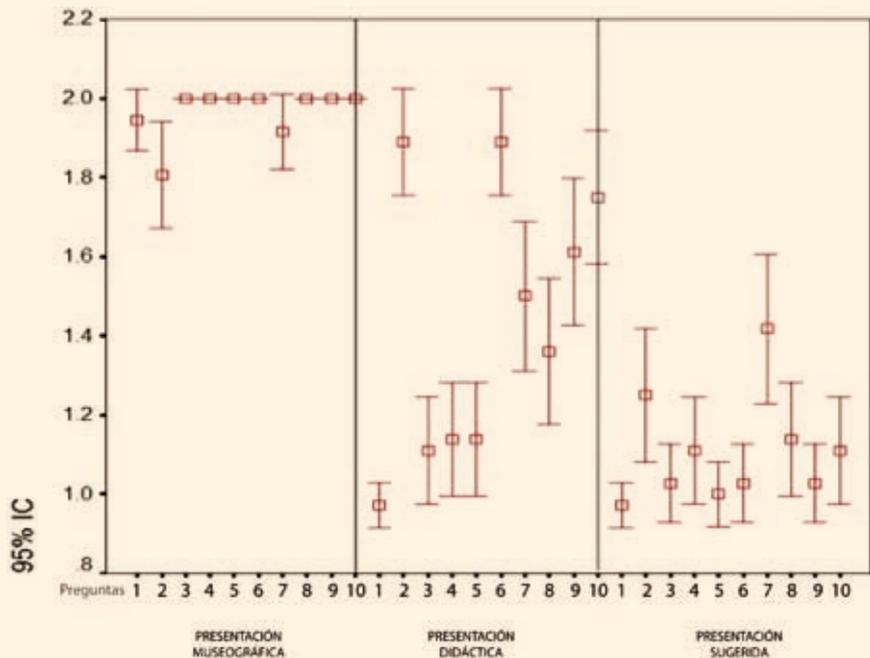
te la pregunta 8, lo cuál señala que comprenden que una nanoestructura de tamaño menor a una célula puede penetrar en ésta (las 14 respuestas incorrectas coincidieron en señalar 100 nm en lugar de 10,000 nm), pero que tienen dificultades con el manejo de las escalas. Lo que resulta notorio es que el manejo de las escalas relativas los confunde más, lo cual aparentemente genera un gran número de respuestas incorrectas en la última pregunta (7/35) en donde señalan que el nanomotor podría penetrar en una bacteria, en lugar de la nanoestructura, que es la respuesta correcta.

El análisis estadístico de los resultados anteriores señala que de la población estudiada (un total de 36 alumnos), se puede notar que existe una diferencia significativa entre las respuestas del cuestionario para los tres tratamientos (con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0.05$ )). Esto se muestra en la gráfica 2, en donde para los tres grupos experimentales, se asientan los valores de sus medias para cada pregunta, conforme al sistema SPSS (*Statistical Package Social Sciences*) 11.5 para Windows. Se utilizó una comparación múltiple y el método de Fisher para discernir las menores diferencias, donde puede observarse cómo las medias entre cada grupo son muy diferentes entre sí.

Como se puede apreciar, para el grupo de equipo de museo, las preguntas 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10, no muestran una diferencia significativa entre sus medias, ya que de los 36 estudiantes, ninguno respondió correctamente.

Respecto al grupo en el que se utilizó la sugerencia didáctica, y en el que se trabajó con la presentación sugerida, se puede afirmar que hay más comprensión en este

**GRÁFICA 2.** Gráfico de intervalo de confianza para la la media del grupo de preguntas



Fuente: Elaboración propia.

último, ya que el análisis estadístico señala que sus medias en general están más cercanas al valor de  $p = 0.05$ .

La mayor diferencia significativa ocurre cuando se analiza la pregunta 6, sobre la medida de un cierto objeto en nanómetros (en este caso una bacteria). Esta diferencia se hace notable al comparar las medias entre grupos. Lo anterior significa que esta pregunta es mucho menos comprensible utilizando el equipo del museo, que cuando se resuelve con ayuda de la sugerencia didáctica y de la presentación sugerida, siendo esta última la que permite la mayor comprensión de todas (lo anterior se nota al revisar cómo la medida de la media tiende a acercarse más al valor de cero para ese caso).

A diferencia de lo anterior, cuando se pide a los estudiantes que indiquen ¿cuál es el menor objeto visible con el ojo desnudo? (pregunta 1), se encuentra que no hay una diferencia significativa entre las respuestas en los tratamientos Sugerencia didáctica y Presentación sugerida, pero que sí se aprecia una gran diferencia significativa cuando se utilizan estos dos métodos, y el denominado equipo de museo. Lo anterior señala que dicho equipo ni siquiera permite resolver un problema que resultó demasiado sencillo para los otros dos tratamientos.

Finalmente, si se comparan las medias de los tres últimos problemas, se verá la supremacía que tiene la presentación sugerida por sobre los otros dos tratamientos; puede decirse que éste último facilita no sólo la comprensión de los conceptos sino su aplicación a la resolución de problemas sencillos.

## DISCUSIÓN

Como se había anunciado, la tercera prueba se derivaría de los obstáculos encontrados en la evaluación tanto de la propuesta didáctica como de la museográfica. Dichos obstáculos son:

- a) El problema con las potencias de diez que resultan incomprensibles para los estudiantes y hacen que confundan los tamaños relativos, a pesar de que se les planteen problemas prácticamente resueltos, como decirles la medida de un virus y que lo sitúen en la tabla. Este problema se abordó en la nueva propuesta haciendo ver a los estudiantes que en cada nueva medida se va subdividiendo en diez partes iguales la precedente
- b) El problema con la traducción a escalas visibles que promueve la propuesta didáctica, ya que los alumnos encuentran una gran dificultad en cambiar entre escalas, lo que les lleva a intentar una conversión de medidas entre la escala macroscópica y la microscópica, para la cual no están capacitados. Este problema se abordó en la nueva propuesta eliminando la conversión entre escalas al quitar la escala de referencia macro.
- c) El problema de desconocimiento de los organismos microscópicos o de los compuestos presentados, ya que a una persona que ignora lo que es un paramecio o que nunca ha visto un virus o una bacteria, le cuesta mucho trabajo ubicarlos en una escala de tamaños. Este problema se abordó en la nueva propuesta de dos maneras: en una se plantearon tres diferentes ejemplos, intentando con ello buscar una gama mayor de organismos o estructuras que los estudiantes pudieran conocer o por lo menos haber escuchado. Otra solución

fue llevar el mismo ejemplo de lo macro a lo nano, tales son los ejemplos del árbol a la molécula de carbono; de la aguja al ARN del virus y de la hidra al núcleo celular.

Los resultados obtenidos y que pueden observarse en la tercera columna de la tabla, señalan un aumento notorio en el número de aciertos respecto a los tratamientos anteriores. En general, las respuestas correctas están alrededor del 80% o más, y sobre todo, se presentan resultados correctos para las tres últimas preguntas a las cuales el grupo contestó con exclamaciones que denotaban la obviedad de las preguntas. Con este último tratamiento, sin embargo, se encontró que hubieron dos respuestas con menor puntaje, en una de ellas (la segunda) hubo confusión en el grupo, ya que se les permitió elegir el ejemplo que prefirieran (el árbol, la jeringa o la hidra) y, en particular, se encontraron problemas en aquella acerca de colocar una hilera de virus de 100 nm de ancho en un milímetro, en la que casi la mitad del grupo respondió incorrectamente. Cuando se indagó el posible origen del error, se pudo notar que se trató de la interpretación de la instrucción y no de la falta de comprensión del concepto. Por tanto, se recomienda que en caso de transportar estas ideas a un nuevo equipo de museo, se sea muy explícito cuando se sugieran este tipo de ejercicios.

Como puede verse, la evaluación formativa constituye una poderosa arma para adecuar el mensaje de las exhibiciones a las respuestas y recepciones de los visitantes de los museos. En este caso, se ha hecho un complemento de este tipo de evaluación con la denominada inicial o formativa, en tanto se probaron otras formas de exhibir el difícil tema de la comprensión de las escalas fuera del alcance sensorial humano, mismas que son indispensables para abrir la puerta a la nanociencia y la nanotecnología.

Cabe aclarar que la tercera propuesta surgida a partir de la detección de los obstáculos epistemológicos para entender las nanoescalas, logró una comprensión sustantiva del tema, al punto que permitió la solución de un problema más complejo como es resolver el siguiente: Si un virus mide 100 nanómetros, ¿cuántos cabrían lado a lado en un milímetro de tu regla?, asunto que parecía muy difícil de resolver con las dos propuestas de exhibición didáctica y museográfica original.

Los resultados han mostrado la bondad de incluir las potencias de diez de manera simplificada, los ejemplos en un continuo de tamaños y con organismos conocidos por los visitantes, cuando se trata de hablar de escalas no visibles. Consideramos igualmente que toda exposición que muestre el tema de la nanotecnología deberá acercar al público en primera instancia a la superación de los obstáculos epistemológicos inherentes al tema y no sólo exhibir la nanotecnología a través de los productos comerciales o de investigación derivados de la nanociencia. A esto habrá que añadir exhibiciones que aclaren los tres restantes obstáculos reportados por la bibliografía (Crone, 2006), como son el concepto de átomo, su constitución, y la naturaleza discontinua de la materia.

Finalmente, los resultados muestran que concebir elementos de exposición basándose en el conocimiento de las concepciones del público y de los obstáculos epistemológicos, a menudo puede hacer evolucionar de manera duradera sus conocimientos. Esta demostración se opone a la idea tradicional según la cual el impacto que ejerce la museografía en el público corresponde solamente al orden de la sensibilización. Por el contrario, muestra que en ciertas condiciones, el museo también puede contribuir a desarrollar saberes y hacerlo incluso mejor que una enseñanza frontal formal y tradicional que no demanda reflexión por parte del receptor.

Pero también es necesario señalar algunos límites de la exhibición, no es posible construir elementos estructurados durante una visita. Si bien ésta puede emocionar, despertar interrogantes, sorprender y por tanto dejar huellas en la memoria, sólo puede transmitir conocimientos fragmentarios. Posteriormente, la escuela deberá estructurar lo adquirido, pues el paso por una exposición no es suficiente para asentar aprendizajes que requieren procesos más largos y hasta repetitivos. No obstante, las herramientas museográficas interactivas construidas en estas condiciones pueden constituir ayudas para el aprendizaje del público que las visita como un simple entretenimiento.

Tenemos claro que éstas no sustituyen a las herramientas pedagógicas, pero que alimentan de manera eficaz la creatividad de quienes deciden los elementos de exposición y los ayuda a encontrar las soluciones técnicas que se apoyen en las dificultades de comprensión de su público.

## CONCLUSIONES

El conocimiento y abordaje de un primer obstáculo epistemológico para abordar el tema de la nanociencia, como es la comprensión de las escalas invisibles para el ojo humano, constituye una excelente puerta de entrada al umbral de esta importante rama de la ciencia que presenta ya un futuro prometedor y que debería ser del dominio público.

El análisis mostrado prueba que la creación de elementos de exposición puede basarse en la investigación educativa.

Reuniendo previamente informaciones que permitan tener una idea de los interrogantes y las concepciones de los visitantes, así como de los obstáculos que pudieran percibirse, creando prototipos y poniéndolos a prueba mediante pruebas, a fin de evitar reforzar ciertos obstáculos o crear otros nuevos mediante las modelizaciones propuestas, se puede dar prioridad a soluciones museográficas que inciten al visitante a participar activamente en la comprensión de temas complejos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arca, M., P. Guidoni y P. Mazzoli. (1997). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Paidós Educador. Col. Rosa Sensat. México.
- Bachelard, G. (1994). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI editores, 20<sup>a</sup>. Edición. México.
- Bainbridge, W. (2002). "Public attitudes toward nanotechnology". *Journal of Nanoparticle Research*, 4: 561-570.
- Bennet-Woods, D. (2008). *Nanotechnology: Ethics and society*. CRS press Taylor and Francis Group, New York.
- Benlloch, M. (comp.). (2002). *La educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Paidós, Ecuador.
- Borun, M. (1993). "Naive knowledge and the design of science museum exhibits". *Curator*, 36, num. 3: 201:220.
- Bucchi, M. (1996). "When scientists turn to the public: Alternative routes in science communication". *Public Understanding of Science*, 5: 375-394.

- Crone, W. y S.E. Koch (ed.), (2006). *Bringing nano to the public: A collaboration opportunity for researchers and museums*. NISE Network. Science Museum of Minnesota, St. Paul, Minnesota.
- Falk, J.H. (2002). "The contribution of free choice science learning to public understanding of science". *Interciencia*, 27, 62-65.
- Gerber, B.L., Cavallo, A.M.L., y Marek, E.A. (2001). "Relationships among informal environments, teaching procedures and scientific reasoning abilities". *International Journal of Science Education*, 23 (5), 535-549.
- Giordan, A. (1997). *Des idées pour apprendre*. Niza, Z'Éditions, 360 pp.
- Goatly, A. (1997). *The language of metaphors*. Routledge, London, 360 pp.
- Guichard, J. (1993). "La prise en compte du visiteur comme outil de la conception muséologique". *Publics et Musées*, 3 : 111-135.
- Haste, H. (1997). "Myths, monsters, and morality. Understanding "antiscience" and the media message". *Interdisciplinary Science Reviews*, 22 (2): 114-120.
- Hein, G. 1998. *Learning in the museum*. Routledge, London.
- Negrete, A. y C. Lartigue. (2010). "The science of telling stories: Evaluating science communications via narratives (RIRC method)". *Journal Media and Communication Studies*, 2(4): 98-110.
- Sánchez-Mora, C. y Herrera, C. (2000). "La enseñanza de las escalas invisibles". *Correo del Maestro*, vol. 16, núm. 21: 27-32.
- Sánchez-Mora, C. (2006). "La exposición museográfica como apoyo a la enseñanza de la mecánica cuántica". *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11 (30), 913- 942.
- Scheufele, D., y Lewenstein, B. (2005). "The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies". *Journal of Nanoparticle Research*, 7: 659-667.
- Scriven, C.G. 1983. "Evaluation and the exhibit design process: Pretesting audience as a design tool". *Iconographie*. 2; Danmark Mobilia Press.
- Stevens, M.G., Owens C. y Wuhrer, R. (2002). "Nanotechnology in society". *Australian Science Teachers Journal*, 48:3: 22-27.
- Taylor, S. (1998). *Comment améliorer des éléments d'exposition avec l'évaluation formative*. OCIM, Dijon.
- Triquet, E. (1993). *Analyse de la genèse d'une exposition*. Tesis. Universidad Claude Bernard, Lyon. 384 pp.
- Weissman, H. (comp.) (1997). *Didáctica de las ciencias naturales, aportes y reflexiones*. Paidós Educador. México.

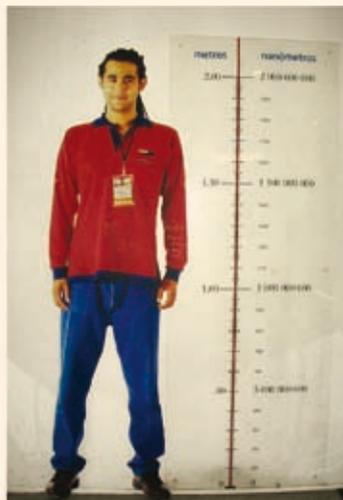
## ANEXO



Microfotografías



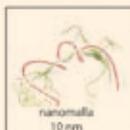
Microscopio electrónico



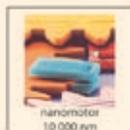
Escalas



Nanoestructuras



Nanofibrilla



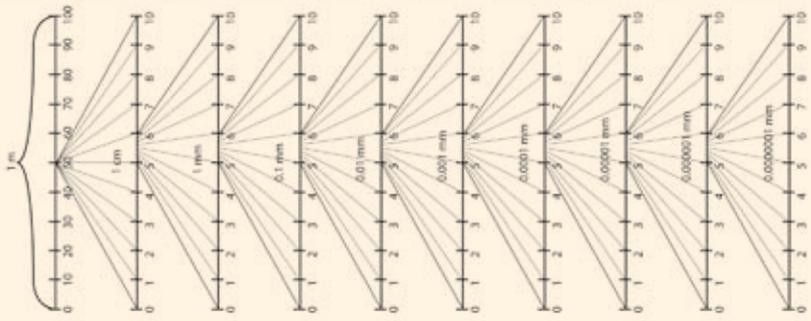
Nanomotor



Nanotubo

	ESCALA REAL	ORDEN DE MAGNITUD	ESCALA DE REFERENCIA
 Límite de lo visible con el ojo desnudo	mm 1 milímetro 1000 000 nm	Piojo 	10 kilómetros
	100 000 nm	Paramecio 	1 kilómetro
 Límite del microscopio óptico	10 000 nm	Célula 	100 metros
	$\mu$ 1 micra 1 000 nm	Bacteria 	10 metros
 Límite del microscopio electrónico	100 nanómetros	Virus 	1 metro
	10 nanómetros	Macromolécula Celulosa 	10 centímetros
	nm 1 nanometro	Molécula Glucosa 	1 centímetro
	Å 1 ANGSTRÖM 0,1 nm	Átomo 	1 milímetro

DIVISIÓN		NOTACIÓN		REFERENCIA		ÁRBOL		AGUJA		ORGANISMOS	
	1 m 1 metro	1 000 000 000 nm	Árbol de 1 metro 1 000 000 000 nm								
mpro divido en 100 ptes	.01 m 1 centímetro	$10^{-2}$ m 10 000 000 nm	hoja 50 000 000 nm					Jeringa con aguja 16 000 000 nm			Hiedra 20 000 000 nm
centímetro en 10 ptes	.001 m milímetro	$10^{-3}$ m 1 000 000 nm	espesor de hoja parte gruesa 5 000 000 nm					Largo aguja 6 000 000 nm			Piojo 6 000 000 nm
milímetro divido en 10 ptes	.0001 m	$10^{-4}$ m 100 000 nm	espesor de hoja parte delgada 200 000 nm		Ojo humano al desnudo			Dímetro aguja 100 000 nm			Paramecio 100 000 nm
milímetro divido en 100 ptes	.00001 m	$10^{-5}$ m 10 000 nm	célula vegetal (ancha) 40 000 nm		microscopio óptico			Punta de aguja con bacterias 100 000 nm			Gloóbulo rojo 10 000 nm
milímetro divido en 1000 ptes	.0000001 m 1 micra $\mu$	$10^{-6}$ m 1 000 nm	espesor pared célula vegetal 1 000 nm					Bacteria 1 000 nm			Mitocondria 1 000 nm
$\mu$ dividida en 10 ptes	.00000001 m	$10^{-7}$ m 100 nm	espesor macrofibrillas 600 nm					Virus 100 nm			
$\mu$ dividida en 100 ptes	.000000001 m	$10^{-8}$ m 10 nm	espesor microfibrillas 40 nm					Macromolécula 10 nm			Ribosoma 20 nm
$\mu$ dividida en 1000 ptes	1 nanometro nm .0000000001 m	$10^{-9}$ m 1 nm	molécula celulosa glucosa 7 nm					ADN 2 nm			Grosor de la membrana celular 7 nm
Nanometro divido en 10 ptes	1 Angstrom $\text{Å}$ .00000000001 m	$10^{-10}$ m 0.1 nm	átomo de Carbono 0.1 nm					átomo H 0.4 nm			
					Invisible →						



## Nanotecnología, de la divulgación que tenemos a la participación que queremos\*

PAULO ROBERTO MARTINS\*\*

MARÍA FERNANDA MARQUES FERNANDES\*\*\*

**RESUMEN:** El presente texto ofrece una reflexión crítica sobre la experiencia brasileña en la participación pública en nanotecnología. Comienza problematizando la cuestión de la divulgación científica de la nanotecnología para luego dar cuenta de la misión de la Red de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente (RENANOSOMA) así como de sus estrategias de divulgación y que incluyen: actividades presenciales, producción audiovisual y divulgación vía Internet (chats y web TV), esta última se presenta haciendo énfasis en el programa "Nanotecnología do Avesso". Después de presentar una evaluación de las estrategias, se reflexiona acerca de la posibilidad de mejorarlas, en particular en lo que se refiere al mencionado programa. Finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** nanotecnología, divulgación científica, participación pública, red de investigación, público no especialista.

**SUMMARY:** This text offers a critical review on the Brazilian experience in nanotechnology public participation. It begins problematizing the issue of popularizing nanotechnology, describing afterwards the mission of the Research Network in Nanotechnology, Society and Environment (RENANOSOMA) and its outreach strategies which include: classroom activities, audiovisual production, dissemination via Internet (web, chats and TV), with a focus on the program "Nanotecnologia do Avesso." Following an evaluation of the strategies, it then ponders on the possibility of improving them, mainly regarding the webTV program. It finally presents some conclusions.

**KEY WORDS:** nanotechnology, scientific dissemination, public participation, research network, non-specialist audience.

### PROBLEMATIZANDO LA DIVULGACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA

En la escala de los nanómetros, o la mil millonésima parte de un metro, las sustancias pueden presentar propiedades diferentes a las observadas en el mundo macroscópico. El estudio de esas propiedades y su utilización para producir nuevos materiales y dispositivos constituye las nanociencias y nanotecnologías —o simplemente nanotecnología, término más común para designar esta área de investigación, desarrollo e innovación.

---

\* Traducción por Gian Carlo Delgado.

\*\* Sociólogo, doctor en ciencias sociales, e investigador del Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de São Paulo (IPT). Coordinador de la Red Brasileña de Investigación en Nanotecnología, Sociedad y Medio Ambiente (RENANOSOMA) y director y presentador del programa *Nanotecnologia do Avesso*. Presidente de la ONG Sociólogos Sin Fronteras-América Latina. Correo: <marpaulo@uol.com.br>.

\*\*\* Periodista, maestra en ciencias y doctoranda en historia de las ciencias y las tecnologías y la epistemología por la Universidad Federal de Rio de Janeiro (HCTE/UFRJ). Técnica de la Fundación Oswaldo Cruz (Fio-cruz). <fernanda.marques@gmail.com>.

El principio de esta nueva ciencia es que los materiales a escala nanométrica pueden presentar propiedades químicas, físicoquímicas y comportamientos diferentes de aquellos presentados en escalas mayores. Esas propiedades de los nanomateriales están siendo exploradas industrialmente en la fabricación de nuevos cosméticos, medicamentos, pinturas, catalizadores, recubrimientos, tejidos, etc. Sus alcances pueden variar del desarrollo de un simple vidrio a prueba de rayaduras hasta sistemas precisos de entrega y liberación de fármacos. (Rossi-Bergmann, 2008)

Se calcula que existen en el mundo más de mil productos de consumo que contienen nanotecnología. A pesar del número creciente de productos nanotecnológicos disponibles para el consumo, inclusive en Brasil, el asunto es poco conocido por el público general. Una encuesta realizada en Estados Unidos revela que el 37% de los norteamericanos adultos desconocía la nanotecnología por completo (*Project on emerging nanotechnologies*, 2009). Esa desinformación —que debe ser similar para el Brasil— preocupa porque la nanotecnología

tiene consecuencias en todos los aspectos de la sociedad —económicos, éticos, sociales, políticos— así como importantes impactos potenciales en la salud, en el medio ambiente, la alimentación, la cultura y en prácticamente todas las ramas de la industria. (grupo ETC, 2005)

Es también inquietante porque la nanotecnología no es algo aislado. Ella integra la llamada convergencia tecnológica, es decir, la

combinación sinérgica de cuatro grandes áreas de conocimiento: la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información y la comunicación y las ciencias cognitivas (neurociencia), campos que se vienen desarrollando con gran velocidad en las últimas décadas. (Cavalheiro, 2007)

Cada una de esas áreas, aisladamente, tiene el potencial de causar profundos impactos en la sociedad. Combinadas muestran un potencial transformador aún más significativo. Entre las posibles aplicaciones de convergencia tecnológica, Cavalheiro enumera la mejora de la salud y de la capacidad física humana, la mejora de las relaciones sociales y de grupos sociales, la seguridad nacional, la unificación de la ciencia y la educación, la expansión de la cognición y la comunicación humana (*Ibid.*).

Sin embargo, el autor también llama la atención acerca de la necesidad de estudios sobre los aspectos éticos, legales y sociales de la convergencia tecnológica. En ese sentido, destaca las preocupaciones como las relaciones entre entidades vivas y no vivas y las consecuencias de la manipulación del código genético, entre otras. Para enfrentar esas cuestiones propone una convergencia de las ciencias naturales integradas a las ciencias humanas y a los ciudadanos.

Lo que es cierto, es que la convergencia tecnológica abre posibilidades y encierra dilemas éticos importantes, para que su monopolio pertenezca a cualquiera que sea incluyendo a los científicos. Por lo tanto, nos debe interesar, involucrar y movilizar a todos nosotros. Pues además de ser un tema de interés para la ciencia de punta, ciertamente presupone dimensiones de una nueva ciudadanía planetaria. (Cavalheiro, 2007)

Si hay algo que sea de interés general, precisa entonces, ser ampliamente divulgado. De tal forma, la primera pregunta que se buscará responder es la siguiente: ¿cómo la nanotecnología ha sido divulgada al público en general?

El prefijo nano, seguido de alguna de otra palabra aparece con frecuencia cada vez mayor en nuestra cotidianeidad. En tanto que esta presencia toma lugar especialmente a través de los medios de comunicación[...] muchas de las noticias parecen prometer que esa presencia será más efectiva en algún futuro más o menos distante, aunque las aplicaciones de nano-esto o de nano-aquello ya están disponibles y mejorando nuestra calidad de vida. (Schulz, 2005)

Es decir: mucha gente ya tiene o tendrá su primer contacto con la nanotecnología a través de los medios de comunicación.

Aunque a veces los medios de comunicación transmiten noticias contrarias a la nanotecnología, la mayoría son optimistas en relación con esta nueva tecnología. Stephens (2005) analizó 350 artículos publicados en periódicos de EUA y de otros países entre 1988 y 2004; verificó que 45.95% de los textos caen en la categoría de “los beneficios y riesgos de la nanociencia y la nanotecnología no discernibles”; 30.92% se ubican en la categoría de los “beneficios pesan más que los riesgos”; el 10.98% se ubica en categoría “los riesgos y beneficios precisan ser pensados aunque es cierto que los riesgos son menor y los beneficios son mayores”; 9.94% en la categoría de “los riesgos pesan más que los beneficios”; 2.60% en la categoría “límites técnicos para el progreso tecnológico en nanociencia y nanotecnología; ningún límite asociado a las implicaciones éticas, legales y sociales”.

Resultados similares fueron obtenidos por Anderson *et al.* (2005) quienes investigaron el modo en que era enmarcada la nanotecnología en los periódicos. Fueron analizados 344 materiales publicados entre el 01/04/2003 y el 30/06/2004, periodo escogido para el estudio porque comprendió importantes episodios relacionados con la nanotecnología en el Reino Unido, como el inicio de un gran estudio sobre el tema, conducido por la Royal Society y la Royal Academy of Engineering, así como la declaración del Príncipe Charles sobre el tema que desencadenó menciones en la prensa de la plaga gris, misma que se refiere a la noción de que el planeta podría ser destruido por nanomáquinas autorreplicantes fuera de control. A pesar de las referencias a la plaga gris, los resultados muestran que el 38.37% de los materiales encajaban en la categoría “los beneficios pesan más que los riesgos” y el 11.05% en la categoría de “los riesgos pesan más que los beneficios”.

Aunque los posibles beneficios de la nanotecnología han recibido más atención en los diarios que los posibles riesgos, los materiales estudiados muestran cierta dosis de incertidumbre sobre el tema y las dificultades para abordarlo con un lenguaje adecuado a los lectores y que se podría explicar, en parte, porque los periodistas recurran a términos e imágenes de ciencia ficción. Aunque la mayoría de los materiales en el periodo investigado haya aparecido en revistas de elite la proporción de textos que encuadran a la nanotecnología en el ámbito de la ciencia ficción y de la cultura popular (16%) fue idéntica a la de los textos sobre proyectos y descubrimientos científicos. Al respecto de la ciencia ficción fue especialmente prominente en un periodo largo después de la declaración del Príncipe Charles, misma que funcionó de catalizador para que la nanotecnología apareciera en los periódicos durante meses. Ello sugiere cómo una celebridad puede despertar el interés de la prensa por un tema.

Schummer (2005) hizo un análisis de la nanotecnología en los periódicos y en los libros; identificó los libros que el público lee para informarse acerca de la nanotecnología y distinguió entre diferentes tipos de libro y de lector. Entre los libros comprensibles para el público en general, la mayoría no era en investigaciones actuales en nanotecnología, sino más bien sobre previsiones, expectativas y miedos en rela-

ción con el futuro, así como de oportunidades de negocios. “Debido al número muy pequeño de libros que, de forma competente y comprensible, introduce a los lectores comunes a la investigación corriente y reciente; es esa literatura futurista de varias cualidades la que más que cualquier otra cosa, amolda la percepción pública de la nanotecnología” (*Ibid*).

En Brasil, el panorama no es muy diferente. Amorim (2008) investigó los materiales publicados en el periódico *Folha de Sao Paulo* desde la primera vez en que la nanotecnología apareció en el periódico, 1997, y hasta marzo de 2007. Fueron analizados 61 textos: 5 no dejan claro si la nanotecnología traerá beneficios o riesgos; 7 presentaban riesgos potenciales y 49 presentaban beneficios positivos. Los beneficios eran traducidos sobre todo por avances en la medicina y la informática mientras que los riesgos aparecían disfrazados de ciencia ficción, por ejemplo, en referencia a nanorrobots autorreplicantes fuera de control.

Novo *et al.* (2009) analizaron los discursos sobre nanotecnología en las revistas *Epoca* y *Veja* (más específicamente de la nanotecnología aplicada a cosméticos) “según algunos análisis preliminares, percibimos que los reporteros, para hablar sobre el tema, aportan diálogos de científicos y médicos que dan legitimidad a la noticia y que también esos discursos interpelan a los sujetos con el fin de consumir el producto”, afirman).

Novo y Borges (2010) encontraron un resultado similar al analizar publicaciones sobre nanotecnología y productos de belleza en la revista *Boa Forma*. Según las autoras “el discurso de la revista plantea el lado positivo, sin considerar, en ningún momento, que los potenciales consumidores utilicen con cautela el producto, debido al pequeño número de investigaciones en esta área [nanotoxicología]” (*Ibid.*). Al no existir esta preocupación por parte de la revista en mostrar los dos lados de la noticia, podemos considerar que el marketing es el principal objetivo (*Ibid.*)

Körbes e Invernizzi (2010) investigaron informaciones sobre nanotecnologías presentados en el periódico *Folha de Sao Paulo*, en las revistas semanales *Veja*, *Isto É* y *Epoca*, y en las revistas de divulgación científica de *Galileu* y *Super Interessante*, de 2002 a 2007, así como en el telediario “Bom Dia Brasil” (TV Globo), en 2009. Las autoras identificaron una serie de promesas asociadas a lo nano, como productos y materiales más eficientes e inteligentes, la promoción de la salud y la calidad de vida; el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente. Las autoras llaman también la atención a la reincidencia del determinismo tecnológico, “que promueve una actitud pasiva en relación con los cambios tecnológicos, induciéndonos a pensar en cómo debemos adaptarnos a esos cambios y no cómo debemos direccionarlos” (*Ibid.*).

En otro trabajo, Invernizzi (2008) se enfoca en las visiones de la nanociencia y la nanotecnología diseminadas por el *Journal da Ciência e-mail*, *Boletim de Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência* (SBPC). La autora analizó 151 materiales sobre temas vinculados a la NyN entre 2002 y 2007. “Los artículos analizados nos ofrecen algunas visiones del futuro en el que destacan las ideas de revolución, beneficios y creciente eficiencia”. La gran mayoría de los artículos tiene como referente a la comunidad científica, en particular los físicos. Solamente 12 textos hacían referencia a organizaciones no gubernamentales, declaraciones del público o de políticos. “Entre las escasas referencias a grupos sociales organizados, encontramos una tendencia a descalificar las capacidades o la legitimidad de las ONGs para opinar sobre nanotecnología”, comenta la autora (*Ibid.*). Por otra parte, apenas 10 investigadores de las áreas sociales y humanísticas fueron citados durante todo el periodo estudiado.

La visión sobre la nanotecnología encontrada en los medios de comunicación —predominantemente optimista y poco crítica— se refleja en la forma en cómo las personas perciben esa nueva tecnología. Currall *et al.* (2006) condujeron el primer estudio empírico de larga escala que analizó la percepción del público sobre riesgos y beneficios de la nanotecnología comparando con el caso de otras tecnologías. Después, consultaron por teléfono a 500 personas en EUA constatando que la nanotecnología tiene mayor credibilidad entre el público que los organismos genéticamente modificados, los pesticidas, los desinfectantes químicos, y la ingería genética humana. Por otra parte una consulta vía web a 4,500 consumidores mostró que, en la evaluación de un producto nanotecnológico, se consideraban los aspectos positivos y negativos conjuntamente. Los participantes se mostraban más preocupados por los riesgos cuando los beneficios del producto no eran tan pronunciados, es decir, ante grandes beneficios, los riesgos preocupan menos.

En Brasil, según una encuesta realizada en 2006 por el Ministerio de Ciência e Tecnologia, para el 28% de los brasileños la ciencia y la tecnología sólo traen beneficios: en 2010, ese porcentaje subió al 38.9%. Estos datos se refieren a la ciencia y la tecnología como un todo. Por tanto, se puede esperar un optimismo semejante a la nanotecnología, ello porque

la concepción dominante es que las nuevas tecnologías consiguieren generar innovación que a su vez aumentará la competitividad, el crecimiento de la industria y, por lo tanto, del país. Eso va a generar un crecimiento económico, y el crecimiento económico va a generar bienestar. Ésta es la concepción general adoptada hasta ahora por aquellos que impulsan el tema de la nanotecnología. (Martins, 2007)

## LA MISIÓN DE RENANOSOMA

En este contexto y con el objetivo de defender una postura crítica en relación con la nanotecnología, de estimular los debates sobre el tema en el ámbito de las ciencias sociales y promover una participación pública, fue creada, en 2004, la Rede Brasileira de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meioambiente (RENANOSOMA). La Red está integrada por profesionales de diferentes áreas de conocimiento interesados en analizar otros aspectos de la nanotecnología mas allá de los puramente tecnocientíficos, como lo son sus dimensiones económicas, políticas, sociales, ambientales y éticas.

Esta Red tiene por objetivo hacer que la nanotecnología también sea un objeto de investigación de las ciencias humanas. La nanotecnología viene siendo estudiada mayoritaria y prioritariamente por las ciencias exactas y las ciencias biológicas. Se trata entonces, de hacer que las ciencias humanas se incorporen a esta producción de conocimientos para que podamos tener una visión completa sobre la nanotecnología. Interesa estudiar cuáles son los efectos, los impactos de introducción de esta tecnología en la sociedad y en el medio ambiente. En tanto que la nanotecnología tendrá un impacto bastante importante, es preciso saber de forma anticipada cuáles serán los posibles problemas derivados de la adopción de la nanotecnología. Los temas que entran dentro del ámbito de RENANOSOMA están llegando a pocos, pero gana adeptos: en 2004, la Red contaba con 10 investigadores, de 10 instituciones y para julio de 2011 ya sumaban 34 integrantes de 25 instituciones. La fundación de la Red se dio durante el I Seminario Internacional de Nanotecnología, Sociedad y Medioambiente (SEMINANOSOMA), realizado los días 18 y 19 de octubre de 2004 en la Casa de Cultura

Japonesa de la Universidad de Sao Paulo. La conclusión del primer SEMINANOSOMA puede ser resumida del siguiente modo:

guiamos nuestros argumentos[...] en torno a la pregunta: ¿qué tanto la sociedad brasileña y mundial están preparadas para la emergencia, en curso, del nuevo paradigma pautado por el desarrollo integrado de las áreas de la nanotecnología, la biotecnología y las tecnologías de la información? Las ricas discusiones de aquel encuentro explicitaron que la respuesta a aquella inquietante pregunta es que ni la sociedad mundial y mucho menos la sociedad brasileña están preparadas para una participación activa y para el direccionamiento de los desarrollos tecnológicos. (Dalcomuni, 2006)

Como lo destaca Dalcomuni, las investigaciones en nanotecnología en Brasil están concentradas en áreas de física, química y biología. Sus implicaciones económicas, sociales, legales y éticas, aunque importantes, son desconocidas. Como solución la autora señala la necesidad del desarrollo de la nanotecnología de forma multidisciplinar y con la participación pública en los debates sobre las oportunidades y los riesgos.

## ESTRATEGIAS DE DIVULGACIÓN DE RENANOSOMA

Partiendo de la constatación de que los ciudadanos precisan participar en los debates sobre la nanotecnología, la RENANOSOMA viene realizando una serie de acciones para informar y discutir el tema con el público no especialista, asumiendo una visión crítica sobre el asunto. Tales acciones comenzaron a ser desarrolladas de forma más sistemática a partir del llamado (Edital) MCT/CNPq n° 12/2006, cuyo objetivo era:

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

Uno de los proyectos aprobados en ese llamado fue el de Participación Pública en Nanotecnología, propuesto por el coordinador de RENANOSOMA. Incluso después del término de la vigencia de tal llamado, en abril de 2009, el proyecto continúa fructificando gracias a los esfuerzos de los integrantes de la Red. Los resultados pueden ser divididos en 3 categorías: en actividades presenciales, producción audiovisual y divulgación vía Internet.

### *Actividades presenciales*

Hasta julio de 2011 fueron realizadas cien actividades presenciales en el país y en el extranjero. Muchas fueron desarrolladas gracias a la importante asociación con la Fundación Jorge Duprat Figueiredo (FUNDACENTRO), órgano de investigación del Ministerio de Trabajo y Empleo. Las capitales donde hubo actividades presenciales fueron Porto Alegre, Florianópolis, Curitiba, Sao Paulo, Río de Janeiro, Belo Horizonte, Vitória, Salvador, Aracajo, Recife João Pessoa, Natal, Fortaleza, Belém, Brasilia, Cuiabá, Campogrande y Manaus. También se realizaron actividades en São Leopoldo Itajaí, Blumaneao, Cascabel, Marília, Campinas Piracicaba, São Carlos, Riberirãõ Preto e Volta Redonda.

Las actividades presenciales del proyecto pueden ser comprendidas como momentos de encuentro con el público no especialista para presentar y discutir diversos aspectos de la nanotecnología así como espacios con investigadores de las ciencias exactas y biomédicas, con el objeto de colocar la nanotecnología desde la perspectiva de las ciencias humanas. Entre las actividades realizadas destacan cuatro ciclos de formación en nanotecnología para profesores de nivel medio del estado de Sao Paulo, desarrolladas en conjunto con el Sindicato de Profesores de Educación Oficial del Estado de Sao Paulo (APEOESP).

El primer ciclo de formación se dio en julio de 2008, cuando unos cien profesores se informaron y debatieron sobre nanotecnología en el ámbito de grandes áreas temáticas, como educación, medio ambiente, química, ética, física, sociología y el mundo del trabajo, con la participación de la Universidad de Sao Paulo y uno del IIEP (Intercambio, Informaciones, Estudios e Investigaciones) además del coordinador de RENANOSOMA. Ésta fue sin duda, una de las principales actividades del proyecto de participación pública: por primera vez fue realizado en el país un ciclo de formación en nanotecnología para profesores de nivel medio de la red pública, permitiendo que la información científica sobre nanotecnología llegara a los profesores y, por medio de ellos, a los alumnos.

El segundo ciclo de formación se llevó a cabo en noviembre de 2008 y fue realizado bajo el mismo molde del primero, incluyendo, además, temas como salud y seguridad del trabajador, procesos productivos, mercado de trabajo y formación profesional, agricultura y geografía, ello con la participación de profesionistas de FUNDACENTRO y del Instituto de Economía Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Abastecimiento del Estado de Sao Paula, además de la Universidad de Sao Paulo, el IIEP y el coordinador de RENANOSOMA. Más de 45 profesores, inclusive algunos de varias ciudades del interior del estado tuvieron contacto por primera vez con el tema de la nanotecnología, convirtiéndose en diseminadores de información en sus escuelas.

El tercer ciclo, en marzo de 2009, tuvo 63 profesores inscritos. Las actividades de los ciclos de formación fueron realizadas los sábados en periodo integral lo que revela un gran interés de los profesores para recibir información sobre nanotecnología y debatir con los conferencistas. La expectativa, por tanto, es que el tema de la nanotecnología sea llevado a las aulas de los profesores de diferentes disciplinas. Algunos incluso han demostrado la intención de elaborar con sus alumnos proyectos de investigación sobre nanotecnología. Entre las diferencias del tercer ciclo, se puede mencionar el involucramiento de una profesora de la escuela técnica Martin Luther King. Ella se inscribió para participar en el primer ciclo de formación, cuando conoció y se hizo socia del proyecto de participación pública. En el tercer ciclo fue llamada para hacer una presentación sobre física y nanotecnología, además, invitó a RENANOSOMA para realizar una presentación en la mencionada escuela técnica y posteriormente para contribuir en la producción de un DVD sobre nanotecnología.

El cuarto ciclo de formación con cerca de 50 profesores inscritos se realizó entre abril y junio 2010, también con encuentros los sábados en periodo integral. Destaca de ese ciclo una actividad específica sobre las técnicas de microscopía electrónica que permiten visualizar objetos en tamaño nanométrico. La investigadora María Cecilia Salvadori del Instituto de Física de la Universidad de Sao Paulo fue la responsable de esa actividad.

### *Producción audiovisual*

Fueron producidos dos DVDs con recursos del llamado MCT/CNPq n° 12/2006, titulados “Nanotecnologías y el mundo del trabajo” y “Para entender las nanotecnologías”. Están dirigidos, respectivamente, a los trabajadores en general y a los estudiantes de nivel medio. Los DVDs proporcionan información, declaraciones, explicaciones y opiniones de investigadores y de otras personas involucradas en el tema. Los videos están disponibles para su descarga gratuita en el sitio de RENANOSOMA <[www.nanotecnologiadoavesso.org](http://www.nanotecnologiadoavesso.org)>. Se estimula que no sólo sean vistos sino también copiados para darle el mayor alcance posible al público. Centenas de copias ya fueron distribuidas en actividades oficiales del proyecto. La Red tiene también otros dos DVDs gracias a la colaboración con Video Maker Alexandre Quaresma: “Nanotecnología: el futuro es ahora” y “Reflexiones sobre nanotecnología”.

### *Divulgación vía Internet*

En la década de 1990 el Internet dejó de ser una provincia ‘habitada’ por un pequeño grupo de fanáticos de las computadoras al convertirse en un recurso de consumo de masas para diez millones de estadounidenses. Por otra parte, el Internet evolucionó de simples canales de texto para distribuir datos digitalizados de datos, voz y video. En el proceso se ha presentado un desafío de cómo todo el sector de los medios de comunicación produce y comercializa sus productos[...] la cuestión decisiva es cómo todas estas posibilidades nos pueden beneficiar en una democracia postindustrial. (Dizard, 2000)

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) es creciente el número de brasileños que usan Internet: en 2001, 4 millones de domicilios (8.5%) estaban conectados, para el 2007 ese número había aumentado a 11.4 millones (20.1%). El número de personas en el país con acceso a Internet en cualquier ambiente (domicilio, trabajo, escuelas, café Internet u otros) llegó a 73.9 millones al cierre de 2010, un crecimiento de 9.6% en relación con el año anterior (IBOPE, 2011). Brasil tiene la mayor población en línea de América Latina y también el que pasa más tiempo navegando por la web: un promedio de 24.3 hs. por internauta en diciembre de 2010 (COMSCORE, 2011).

Sin embargo, entre los países de América Latina y el Caribe, Brasil es también líder en la desigualdad de acceso a Internet: entre los más ricos, el uso es del 52%, mientras que entre los más pobres es de 1.7%. (Agência Brasil, 2009). A pesar de esa limitación no se puede ignorar el potencial de Internet para divulgación científica, y en ese sentido el proyecto de proyecto de participación pública aquí relatado, representa contribuciones experimentales para la diseminación de una visión crítica acerca de la nanotecnología. La divulgación vía Internet del proyecto incluye, más allá del propio sitio de RENANOSOMA <[www.nanotecnologiadoavesso.org](http://www.nanotecnologiadoavesso.org)>, chats (ya extintos) y el programa *Nanotecnologia do Avesso* (en plena actividad).

#### **A) CHAT**

Aunque ahora extinto, el chat representa una experiencia enriquecedora para el proyecto y por eso son aquí comentados. De abril de 2007 a noviembre de 2008, se registraron 164 chats —los archivos correspondientes pueden ser accesados en la página

del proyecto—. En cada chat un entrevistado —investigador, u otra persona cuyo trabajo estuviese relacionado con la nanotecnología— conversó con los internautas sobre la temática nano, ya sea en términos generales, o sobre un aspecto específico referente a un tema, dígase nanotecnología en alimentos, nanotecnología y los trabajadores, nanotecnología y las ciencias humanas, nanotecnología en cosméticos, nanotecnología y tuberculosis, nanotecnología en los medios, etc. El día, horario y perfil del entrevistado, así como las instrucciones para acceder al chat eran difundidos por medio del “boca en boca”, el envío de correos electrónicos y la publicación de noticias. El promedio de los participantes en los chats para todo el periodo fue de 8.3 (aunque hubo asistentes más frecuentes, los participantes no eran siempre los mismos). La participación récord se dio el 17 de octubre de 2007, cuando se invitó a Nilton Morimoto, del Departamento de Ingeniería de Sistemas Electrónicos de la Universidad de Sao Paulo, ahí se registraron 24 personas. Ese récord se logró, sobre todo, gracias a la publicidad que diera un día antes el boletín de la agencia FAPESP.

En marzo de 2008, se realizó una encuesta en la que participaron 30 internautas, con el objetivo de evaluar la estrategia de divulgación en nanotecnología a través de chats. La mayoría pensó que los chats eran válidos, pero preferían otros medios como reportajes y videos. El proyecto de participación pública buscó entonces nuevas alternativas para divulgar lo nano, especialmente la producción de *Nanotecnologia do Avesso*.

## B) WEB TV

El programa *Nanotecnologia do Avesso* es una iniciativa de WebTV que se fundamenta en la convergencia de audio, video y datos. La WebTV “abre nuevas posibilidades de interacción social”.

Con la misma naturaleza pública abierta y colaborativa de Internet, la Web TV potencia una revolución en la producción, distribución y consumo de información a través de construcciones colectivas en la web, compartiendo con el propio usuario la función de producir y distribuir información, descentralizando la atención de los debates sobre el contenido y la forma y promoviendo un amplio acceso a los flujos informacionales. (Ribeiro, 2009)

El programa se emite los martes de 17:00 a 18:00 hrs por allTV <www.alltv.com.br>, empresa pionera en el género creada en 2002, con una programación muy diversa. *Nanotecnologia do Avesso* es un programa de entrevistas dirigido al público no especialista con el objetivo de debatir la nanotecnología en sus diversos aspectos—beneficios y riesgos, potencialidades y límites éticos, impactos económicos y al medio ambiente, entre otros. A continuación se presenta un análisis de las 100 primeras ediciones del programa, del 12/01/2009 al 01/02/2011. Se estudiaron los perfiles de los entrevistados y de la audiencia del programa. También se buscó identificar los desafíos para que los pilares de la WebTV —convergencia, flujos de información y construcciones colaborativas— contribuyan para informar, formar y discutir la nanotecnología con el público no especialista desde una perspectiva crítica.

## NANOTECNOLOGIA DO AVESSEO

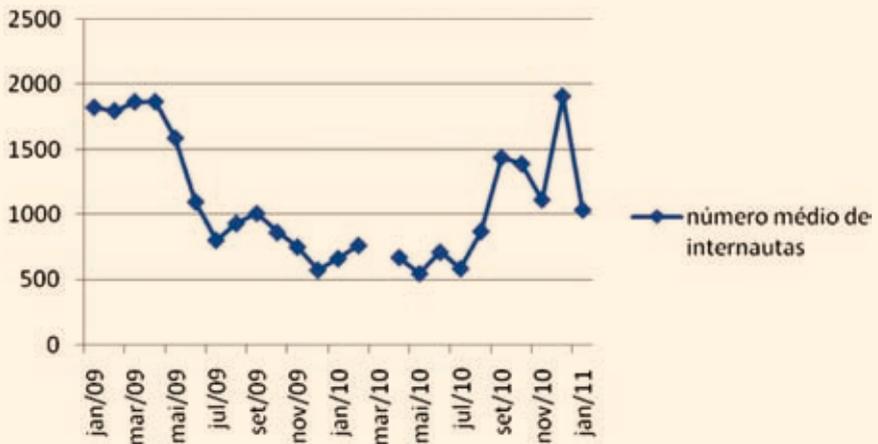
En cada edición de *Nanotecnologia do Avesso*, el presentador recibe al invitado para discutir aspectos generales o específicos de lo nano. Eventualmente, una misma edi-

ción reúne a dos o más invitados. Frecuentemente, dos o más ediciones (no sucesivas) cuentan con el mismo invitado. La transmisión es en vivo, desde un estudio o desde donde esté el invitado, mismo que se comunica por medio de Skype. Los internautas pueden enviar sus preguntas o comentarios en “tiempo real” por medio de un chat vinculado al programa. Después de la transmisión los videos quedan disponibles para ser descargados.

Fueron analizadas las 100 primeras ediciones del programa. Sin embargo, debido a problemas técnicos, no fue posible recolectar datos de la audiencia en seis ocasiones, de modo tal que se trabajó con un total de 94 programas.

En promedio, cada edición fue acompañada por 1,089 internautas. Considerándose sólo los programas de 2009, ésa media fue de 1,240 y cayó a 922 a lo largo del año 2010. La figura 1 presenta la audiencia media mensual entre enero de 2009 y enero de 2011. La discontinuidad de la línea se debe a que en marzo de 2010 allTV cambió de servidor; y debido a problemas técnicos, no fue posible registrar el número de internautas. En resumen se observa que la audiencia comienza siendo elevada, sufre una caída y luego vuelve a crecer.

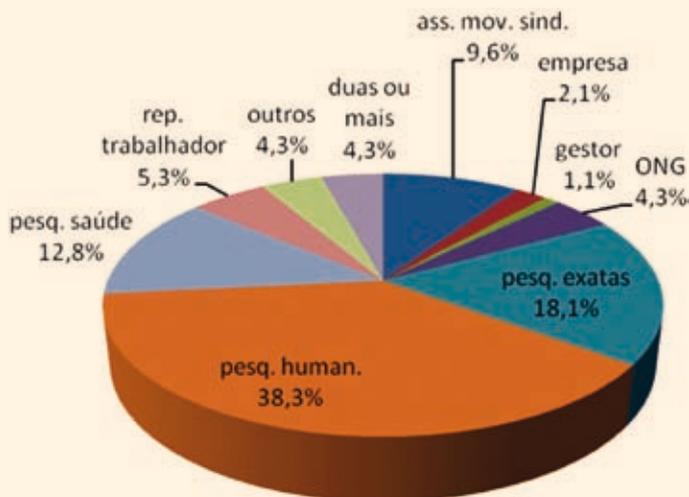
FIGURA 1. Audiência do Nanotecnologia do Avesso



Fuente: Elaboración de los autores.

En relación con los perfiles de los entrevistados, los programas fueron agrupados en diez categorías: “asesorías al movimiento sindical”; “empresa”; “gestor”; “ONG”; “investigador de las ciencias exactas”, “investigador de las ciencias humanas”; “investigador de ciencias de la salud”; “representante de los trabajadores”, “otros”(por ejemplo, profesora de nivel medio, escritor, etc.); y dos o más (programas que reúnen al mismo tiempo dos o más invitados con perfiles diferentes entre sí). Con base en esa categorización, los “investigadores de ciencias humanas” fueron los invitados más frecuentes (38.3%), seguidos por los “investigadores de ciencias exactas” (18.1%) y los “investigadores de ciencias de la salud” (12.8%). (Véase figura 2). Se trata pues, de una tendencia inversa a la observada en los medios masivos convencionales, donde las ciencias sociales y humanas, en general, no aparecen en temas sobre nanotecnología.

FIGURA 2. Distribuição dos programas por categorias



Fuente: Elaboración de los autores.

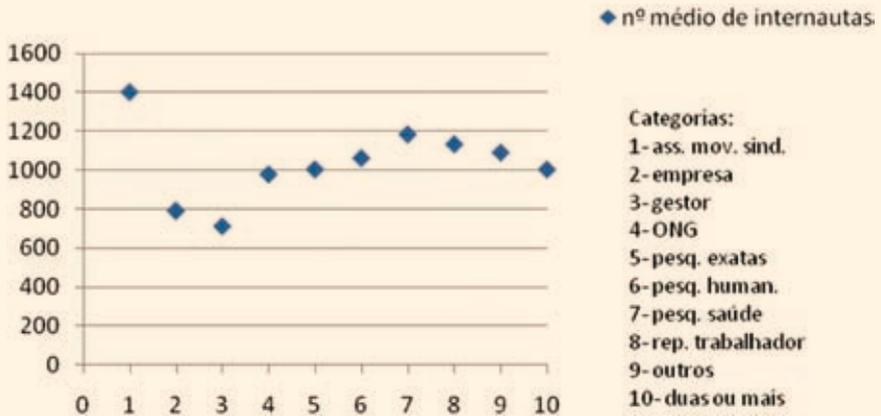
Aunque en menor proporción, el programa *Nanotecnologia do Avesso*, también abrió espacio a actores que no son investigadores, tales como los representantes de la categoría “asesoría de movimiento sindical” (9.6%), “trabajadores” (5.3%) y “ONG” (4.3%) —actores que precisamente casi nunca tienen voz en los medios de comunicación tradicionales.

Al cruzar los datos de la audiencia con los perfiles de los invitados, fue posible calcular la audiencia media por categoría de programa, tal y como se muestra en la figura 3. *A grosso modo* la audiencia media de todas las categorías se colocó en el rango de los 1,000 y 1,200 internautas. Rango en el que se sitúa el promedio general por programa de todo el periodo analizado (1,089).

Sólo tres categorías escapan a la media anterior: “empresa” y “gestor” por debajo y “asesoría al movimiento sindical”, por arriba. Sería prematuro e incorrecto afirmar que las categorías “empresa” y “gestor” tuvieron una tendencia de audiencias menores, en tanto que sólo representan, respectivamente, 2.1 y 1.1% de las ediciones del programa. No obstante, se puede sugerir que la categoría “asesoría al movimiento sindical”, responsable de caso del 10% de las ediciones, representó una tendencia a mayores audiencias.

Es interesante analizar esos resultados a la luz de otra investigación (Martins, 2007b) que buscó identificar la comprensión de diferentes segmentos sociales sobre las relaciones entre nanotecnología, sociedad y medio ambiente. Con ese fin se entrevistó, en Sao Paulo, Minas Gerais y el Distrito Federal, a representantes de cinco segmentos: líderes investigadores involucrados en la producción de nanociencia y nanotecnología (“académicos”); liderazgos gerenciales de ciencia y tecnología, medioambiente y gestión estratégica en el ámbito del aparato estatal (“políticas públicas”); liderazo de empresa de base tecnológica en nanotecnología de asociaciones empresariales (“empresas”); liderazgos de organizaciones no gubernamentales

FIGURA 3. Audiência média por categoria de programa



Fuente: Elaboración de los autores.

que actúan en defensa de intereses difusos de la sociedad (ONGs); y líderes de sindicatos de trabajadores, centrales sindicales u otras entidades de asesoría (sindicatos). Los encuestados respondieron a preguntas sobre varios temas, incluyendo cuestiones de comunicación.

Por diferentes razones todos los segmentos consideraron importante la divulgación de los conocimientos de nanotecnología para la sociedad. A pesar del discurso a favor de la divulgación aún existen en Brasil importantes dificultades para informar al público no especializados sobre la nanotecnología, sobre todo en relación con los actores del segmento “políticas públicas” (categoría equivalente a “gestores” en este trabajo y que aquí se entienden como gestor público, categoría representada, por ejemplo, por los secretarios, coordinadores y presidentes de órganos ligados a la definición de políticas públicas de ciencia y tecnología). En el caso de *Nanotecnologia do Avesso*, aunque la producción del programa invitó varias veces a gestores públicos, éstos, por diversos motivos, declinaron la invitación. A lo largo de las primeras cien ediciones, sólo una vez fue posible entrevistar a un gestor y aun así, no era brasileño sino estadounidense.

En relación con la mayor audiencia de los programas con representantes de “asesorías al movimiento sindical” la perspectiva es que, por medio de esas asesorías, los sindicatos, las centrales sindicales y los propios trabajadores se involucren cada vez más en los debates sobre la nanotecnología —algo esencial en la medida en que si un nanocomposite es dañino para la salud, los principales afectados serán aquellos expuestos a las mayores concentraciones del producto por un tiempo más prolongado, esto es, los trabajadores. En ese sentido, cabe destacar con base en la investigación arriba mencionada (Martins, 2007b), que el segmento “sindicatos” demostró estar atento, por un lado, a las posibles polémicas relacionadas con los riesgos en el proceso de trabajo y, por el otro, del papel de la comunicación para minimizar los efectos nocivos de decisiones unilaterales, autoritarias o en beneficio de minorías.

Las ediciones de *Nanotecnologia do Avesso* fueron también analizadas según el origen del entrevistado. Se constata que en la gran mayoría de los programas los en-

entrevistados eran de Brasil y específicamente de la región sudeste de Sao Paulo (70 de 94 ediciones tuvieron invitados originarios de ese estado). Sólo hubo cinco ediciones con invitados de otras regiones: dos del norte (Amazonas) y tres del sur (Rio Grande do Sul). Incluso de otros estados del sudeste hubo una participación limitada, pues sólo cuatro programas tuvieron invitados de Río de Janeiro y dos de Minas Gerais. Ninguno de Espírito Santo.

Uno de los desafíos del programa es la diversificación de más voces sobre el tema, incluyendo actores de todas las regiones de los estados del país. Otro desafío importante es aumentar el grado de interacción del programa —en la actualidad se restringe a preguntas y comentarios enviados vía chat—. Una propuesta innovadora de WebTV se basaría en la posibilidad de que los telespectadores/usuarios participen activamente en la producción y emisión de contenido informativo, o sea, que dejan de ser meros receptores de mensajes y pasan a compartir responsabilidades en el proceso comunicacional. Para concretar tal propuesta, *Nanotecnologia do Avesso* precisa reafirmar su carácter de WebTV, marcado por un “sistema colaborativo vía Internet, creando un ambiente propicio para las construcciones sociales de las más variadas formas de información” (Ribeiro, 2009).

A partir de esta descripción se constató la necesidad de mejorar el programa. Ya se ha dado un primer paso en esa dirección. Se seleccionaron algunos profesionales que ya habían participado en el mismo, en calidad de entrevistados, y se les solicitó que evaluaran diferentes aspectos. Las opiniones y sugerencias —presentadas a continuación— servirán de base para una propuesta de reestructuración, de tal suerte que permita su consolidación como un instrumento de divulgación científica de las nanociencias y las nanotecnologías.

## EN BUSCA DE MEJORAS

En la selección de los profesionales arriba indicados, se buscó seguir dos criterios principales: incluir a entrevistados de perfiles distintos y, siempre que fue posible, de diferentes estados de Brasil. El contacto con los entrevistados se hizo por correo electrónico. Se les solicitó que calificaran los temas y el lenguaje del programa, que identificaran los puntos fuertes y débiles del mismo y que opinaran sobre la televisión por Internet y, finalmente, que proporcionaran sugerencias. Un análisis preliminar de las opiniones y comentarios se resume del siguiente modo:

- A pesar de los diferentes perfiles, que incluyen desde investigadores de las ciencias exactas hasta los representantes del sector sindical, los encuestados consideran que es importante y aprueban que el programa discuta distintos puntos de vista sobre las nanotecnologías, desde los aspectos técnicos hasta los sociales, de las aplicaciones a los riesgos, fomentando así un sentido crítico del público.
- Se reconoce el esfuerzo de la producción del programa en el sentido de que el público no especialista comprenda y participe en el debate, aunque todavía hay obstáculos que deben ser superados, tales como que los expertos aún no consiguen utilizar un lenguaje más sencillo, y la necesidad de emplear otros recursos audiovisuales además de las entrevistas.
- En relación con el soporte (WebTV) se destacaron como ventajas el potencial de interacción con el público y la posibilidad de acceder a ediciones anteriores

del programa en cualquier momento, así como de poder acceder de forma gratuita.

- Pese a que el uso de Internet en Brasil sea significativo y esté en expansión, los encuestados precisaron que la WebTV no es una práctica tan diseminada en el país, por lo cual, a pesar del alcance mundial de Internet, el programa corre el riesgo de tener audiencia sólo de un grupo selecto de curiosos e interesados, sin poder atender su objetivo de ampliar la difusión del debate sobre las nanotecnologías. Una alternativa para enfrentar este problema sería invertir en la divulgación del programa por medio de asesoría de la prensa, redes sociales, etc.
- A pesar de esta dificultad, los entrevistados mencionaron como punto fuerte del programa, el trabajo de divulgación científica así como el intercambio de experiencias entre los participantes y el establecimiento de una red de contactos.
- Entre las debilidades planteadas, dos merecen especial atención. La primera se refiere al tono, en tanto que a veces se exagera la crítica a la tecnología. De acuerdo con lo expresado por los entrevistados, el problema no es la crítica —que debe ser hecha— sino la forma en que esa crítica es planteada. Si ésta es desmedida puede eliminar a los científicos y al público del debate. Para superar ese problema se sugiere aumentar la dinámica de las entrevistas realizando, por ejemplo, en una misma edición del programa un debate entre científicos con visiones opuestas. El segundo comentario se refiere a los internautas que no acompañan el programa semanalmente y que cuando ven una edición aislada se sienten perdidos en relación con el tema de las nanotecnologías. Una opción sería iniciar cada edición siempre con informaciones básicas sobre el tema, proporcionando las bases mínimas para que el internauta se pueda enterar de la discusión. Otra alternativa sería producir diferentes programas de forma segmentada, ello de acuerdo con el perfil del público y teniendo en cuenta la edad y el nivel de conocimiento sobre las nanotecnologías.
- Para hacer más atractivo el programa para el público en general o para proporcionar informaciones básicas, se sugiere destacar el uso de recursos imágenes, gráficos y animaciones.
- Por último, incluso en las informaciones básicas, algunos de los entrevistados hablan de la didáctica de módulos educativos y traducción. De hecho, la comprensión del asunto es fundamental, para que el público no especialistas participe en el debate. Sin embargo, es preciso estar atentos a no caer en una divulgación científica denominada como “modelo de déficit” en la cual los especialistas enseñan a los “legos” una única visión, a menudo con el propósito de valorizar y conseguir el apoyo del público para proyectos de ciencia y tecnología. La propuesta de *Nanotecnología do Avesso* se opone a ese tipo de divulgación científica, encaminándose al llamado modelo democrático que “enfatisa el derecho de todos los actores sociales a participar en la toma de decisiones que afectan su vida, incluyendo los aspectos de ciencia y tecnología” y “busca establecer una relación de igualdad entre científicos y el público con el objeto de favorecer la discusión de los asuntos científicos y tecnológicos” (Cavichiolo, 2008).

## CONSIDERACIONES FINALES

Debe destacarse la necesidad de popularizar la nanotecnología de modo que el público no especialista comprenda el tema, desde sus diversos ángulos, y pueda partici-

par en las discusiones. Consciente de esa necesidad, la RENANOSOMA realiza, desde 2007, el proyecto “Participación Pública en Nanotecnología” que busca disminuir la brecha entre la academia y el público en general.

Las actividades del proyecto, en el ámbito del llamado MCT/CNPq n°12/2006, demuestran que la divulgación de lo nano no tiene un costo elevado. Considerándose el número total de participantes de los chats (cerca de mil) los visitantes del sitio RENANOSOMA (cerca de treinta mil hasta abril de 2009) y de internautas conectados al programa *Nanotecnología do Avesso* (en torno a los sesenta mil a lo largo del 2009), así como a las centenas de personas que acompañaron las actividades presenciales, se puede decir burdamente que la inversión realizada fue menor a un real por ciudadano (sesenta centavos de dólar), para informarlo sobre el tema. Con más inversión ciertamente se pueden ampliar y mejorar las acciones de divulgación científica de la nanotecnología.

Incluso después de la finalización del proyecto MCT/CNPq n°12/2006, las actividades del mismo, continuaron, especialmente a través de la realización del programa *Nanotecnología do Avesso*. Es de destacarse que esa iniciativa representa un salto cuantitativo de la audiencia que pasó de menos de diez internautas por chat a más de mil por edición de programa de TV vía Internet. Se ha abierto un espacio para una diversidad de voces sobre la nanotecnología y se ha dado también un salto cualitativo en la calidad de la divulgación científica. Después de todo

crear oportunidades para discutir cuestiones éticas de la ciencia, sus riesgos y limitaciones es fundamental para que los jóvenes se conviertan en ciudadanos más conscientes y capaces para tomar decisiones. Además, debemos presentar a los jóvenes una imagen de la ciencia que refleje su complejidad en la que diversos actores, instituciones y muchos recursos financieros están involucrados. (Massarani, 2010)

Pese a todo, y tal y como los colaboradores de *Nanotecnología do Avesso* han notado, el programa tiene sus limitaciones que habría que atender.

En Brasil, hay otras iniciativas de divulgación de la nanotecnología, con recursos y objetivos diferentes. Entre ellas, quizás la más conocida sea NanoAventura, una exposición interactiva, desarrollada por investigadores de la Universidad Estatal de Campinas (Unicamp) y el Laboratorio Nacional de Luz de Sincrotrón (LNLS), en el cual hay un espacio atractivo en el que se presenta el mundo nanométrico y sus aplicaciones a través de videojuegos.

Otra iniciativa es la del grupo de investigación del Laboratorio Interdisciplinar de Electroquímica y Cerámica (LIEC) de la Universidad Federal de Sao Carlos (UFSCar), que produjo en una computadora animaciones en tercera dimensión para presentar al público no especializado, de manera accesible y atractiva, los conceptos básicos de la nanotecnología y sus aplicaciones. Las animaciones simulan las contribuciones de investigaciones para aumentar, por ejemplo, la vida útil de los altos hornos de la Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), la capacidad de memoria de las computadoras, y la resistencia del grafito de los lápices Faber-Castell.

Estaban asociados a imágenes en 3D varios conceptos científicos y de descubrimiento del mundo molecular. De esta forma, hubo una transposición a la realidad virtual de varios desarrollos tecnológicos en términos de una reacción entre moléculas y la superficie y la excitación de una estructura molecular por electrones produciendo luminiscencia. (Fragalle y Longo, 2004)

Las animaciones producidas fueron usadas en varios reportajes realizados por el departamento de periodismo de EPTV Central, emisora afiliada a la Red Globo de la televisión del estado de Sao Paul, y exhibidas tanto en televisoras locales como nacionales.

Una rápida comparación de esas dos iniciativas con el Proyecto Participación Pública de RENANOSOMA revela, por un lado, que los videojuegos de NanoAventura y las animaciones en 3D de LIEC tienen un aspecto lúdico que, probablemente, atrae más al público en general y facilita la comprensión de los conceptos científicos de la nanotecnología y sus aplicaciones. Por otro lado, el proyecto de RENANOSOMA tiene una importante diferencia al aportar un abordaje crítico de la nanotecnología, llamando la atención sobre los posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, así como acerca de las implicaciones sociales y éticas de esa nueva tecnología y de la convergencia tecnológica, buscando establecer el diálogo interdisciplinario entre las ciencias naturales y las ciencias humanas, e incorporando nuevas voces a los debates como lo son las de los sindicatos y las de las ONGs.

Cuatro modelos se han utilizado para describir las actividades de comunicación pública de la ciencia (Lewenstein, 2003). El primero es el modelo de déficit que presupone una audiencia que no sabe de ciencia y que precisa llenar este vacío en su educación. Asimismo, aquellos que tienen conocimiento —los científicos— deben “enseñar” a ese público desinformado. Son múltiples las críticas que se han hecho a este modelo y como respuesta se han desarrollado los otros tres modelos: el contextual, el de conocimiento lego y el de participación pública.

En el modelo conceptual —considerado un modelo de déficit más sofisticado—, la audiencia que no sabe de ciencia, para recibir la información científica no sólo simplemente la absorbe sino que además la reelabora de acuerdo con sus experiencias previas, su contexto cultural y sus características personales. Este proceso de reelaboración explicaría por qué aún en posesión de información científica, un individuo no siempre adopta las actitudes más aterrizadas científicamente.

El modelo de conocimiento lego puede ser visto de dos maneras. Por un lado, sería una adaptación del modelo conceptual: el conocimiento lego sería insertado en la planeación de actividades de acción pública de la ciencia como una estrategia para controlar aquel proceso de reelaboración. Por otro lado, se puede asumir que el conocimiento lego es tan relevante como el conocimiento científicotécnico al momento de resolver un problema.

Finalmente, a medida que la opinión pública adquiere peso en las decisiones políticas en ciencia y tecnología, emerge, entonces, un modelo de participación o compromiso público, aquí entendido como el involucramiento de los ciudadanos en la decisión de los rumbos que ha de tomar la ciencia y la tecnología. Aunque este modelo pareciera ser más democrático, también representa un problema: no hay un ciudadano que pueda participar críticamente en ese proceso político si no comprende los contenidos científicos que están en discusión.

Llevando el debate de vuelta al campo de la nanotecnología, ¿cómo los ciudadanos pueden participar cuando muchos no saben lo que significa la nanotecnología ni pueden comprender el concepto de lo que es una molécula? Esa pregunta sugiere que tal vez el mejor camino sea combinar los diferentes modelos de comunicación pública de la ciencia. En el caso de la nanotecnología, se considera que sería bastante interesante

la articulación de, por ejemplo, los videojuegos de NanoAventura, las animaciones 3D de LIEC y el proyecto de Participación Pública de RENANOSOMA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Rossi-Bergmann, Bartira. (2008). "A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico". *Ciência e Cultura*, São Paulo, vol. 60, n. 2: 54-57, abril-junio.
- Project on Emerging Nanotechnologies. (2009). *Nanotechnology, Synthetic Biology, & Public Opinion: A Report Of Findings*, en: <www.nanotechproject.org>. Consultado el 15/4/2011.
- Grupo etc. 2005. *Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro*. Porto Alegre: L&PM.
- Cavalheiro, Esper A. (2007). "A nova convergência da ciência e da tecnologia". *Novos estudos (Cebrap)*, São Paulo, n. 78, pp. 23-30, Julio.
- Schulz, Peter. (2005). "O que é nanociência e para que serve a nanotecnologia?" *Física na Escola*, v. 6, n. 1: 58-62.
- Stephens, Lowndes. (2005). "News narratives about nano S&T in major U.S. and non-U.S. newspapers". *Science Communication*, v. 27, n. 2: 175-199.
- Anderson, Alison. (2005). "The framing of nanotechnologies in the british newspaper press". *Science Communication*, v. 27, n. 2: 200-220.
- Schummer, Joachim. (2005). "Reading nano: The public interest in nanotechnology as reflected in purchase patterns of books". *Public Understanding of Science*, v. 14, n. 2: 163-183.
- Amorim, Tade-Ane de. (2008). "Nanotecnologia na imprensa: análise de conteúdo do jornal Folha de São Paulo". *Em Tese*, v. 4, n. 2 (2): 20-36, enero-julio.
- Novo, Magda Suzana; Borges, Elizandra Luçardo; Geracitano, Laura Alcía; Henning, Paula Corrêa. (2009). *Análise de discurso na mídia: Nanotecnologia, uma nova revolução*. III Simpósio Nacional de Tecnologia e Sociedade: Curitiba, Brasil. Disponible en: <www.nanosociedade.com.br Consultado el 15/4/2011>.
- Novo, Magda Suzana; Borges, Elizandra Luçardo. (2010). *Nanotecnologia e as constituições de gênero*. VIII Congresso Iberoamericano de Ciência, Tecnologia e Gênero: Curitiba, Brasil. Disponible en: <www.ppgte.ct.utfpr.edu.br/eventos/cictg> Consultado el 15/4/2011.
- Körbes, Clecí; Invernizzi, Noela. (2010). *Tecnologia e a difusão da ideia de progresso da ciência*. VIII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología: Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <www.esocite2010.escyt.org>. Consultado el 15/4/2011.
- Invernizzi, Noela. (2008). *Visões de futuro: nanociência e nanotecnologia no Jornal da Ciência*. VII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y Tecnología: Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en: <www.nesco.ufrj.br/esocite2008>. Consultado el 15/4/2011.
- Curral, Steven *et al.* (2006). "What drives public acceptance of nanotechnology?". *Nature Nanotechnology*, v. 1: 153-155.
- Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT): <www.mct.gov.br>.
- Martins, Paulo Roberto. (2007). "Desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil: reflexões sobre a política de riscos, impactos sociais, econômicos e ambientais em nanotecnologia" en: Emerick, Maria Celeste, Montenegro, Karla B. M. y Degrave, Wim

- (orgs.). *Novas tecnologias na genética humana: avanços e impactos para a saúde*. Rio de Janeiro, Brasil: Gestec-NIT/Fiocruz.
- Dalcomuni, Sônia Maria. (2006). "Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável" en: Martins, Paulo Roberto (org.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – Trabalhos apresentados no Segundo Seminário Internacional (II Seminário)*. São Paulo: Xamã: 49-68.
- EDITAL MCT/CNPq nº 12/2006 – Seleção Pública de Projetos para Apoio a Projetos de Difusão e Popularização da Ciência e Tecnologia: <www.cnpq.br/editais/ct/2006/docs/012.pdf>. Consultado el 13/8/2011.
- Dizard, Wilson. (2000). *A nova mídia: a comunicação de massa na era da informação*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, ed.
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL): <www.cepal.org>.  
IBOPE: <www.ibope.com.br>.
- Comscore. (2011). *The 2010 Digital Year in Review: Latin America*. Disponible en: <www.comscore.com>. Consultado el 15/4/2011.
- Agência Brasil. (2009). "Brasileiros pobres têm o menor acesso à internet entre 14 países da América Latina e do Caribe", en: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2009-04-07/brasileiros-pobres-tem-menor-acesso-internet-entre-14-paises-da-america-latina-e-do-caribe>. Consultado el 13/8/2011.
- Ribeiro, Daniela Costa. (2009). "WebTV: Perspectivas para Construções Sociais Coletivas." Biblioteca On-line de Ciências da Comunicação. Disponible en: <www.bocc.uff.br>. Consultado el 27/4/2011.
- Martins, Paulo Roberto (coord.); Dulley, Richard Domingues; Azevedo, Regina Maria Bueno de; Sanchez-Júnior, Oswaldo. (2007). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal*. São Paulo: Xamã.
- Cavichiolo, Cibele Caroline. (2008). *Mapeamento e análise das iniciativas de divulgação científica em nanociências e nanotecnologias em jornais e revistas de ampla difusão*. Informe presentado a la Coordinadora de la Iniciación Científica e Integración Académica de la Universidad Federal de Paraná como conclusión de las actividades de iniciación científica de Edital 2007-2008. Curitiba, Brasil. Disponible en: <www.nanosociedade.com.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Mapeamento\_e\_analise\_de\_iniciativas\_de\_divulgacao\_cientifica\_nanoc\_nanot\_CibeleCarolineCavichiolo.doc>. Consultado el 4/7/2011
- Massarani, Luisa. (2010). Divulgação científica e mídia: jornalismo científico no Brasil: um panorama geral e desafios. In: Salto para o Futuro/TV Escola. Divulgação científica e educação. MEC. Disponible en: <www.tvbrasil.org.br>. Consultado el 15/4/2011.
- NanoAventura: <http://www.mc.unicamp.br/nanoaventura/>.
- Fragalle, Edilson Pepino y Longo, Élson. (2004). Divulgação de Ciência Básica na TV: uma experiência em terceira dimensão. *Ciência & Comunicação*, vol. 1, n. 1. Disponible en: <www.jornalismocientifico.com.br/revista/01/artigos/artigo3.asp>. Consultado el 13/8/2011.
- Lewenstein, Bruce V. (2003). *Models of public communication of science and technology*. Disponible en: <www.dgdc.unam.mx/Assets/pdfs/sem\_feb04.pdf>. Consultado el 13/8/2011.

## Experiencias en micro y nano escalas para niños y jóvenes

DARWIN D. RODRÍGUEZ PINTO\*

ALBA G. ÁVILA BERNAL\*\*

**RESUMEN:** Un nuevo laboratorio de nanotecnología donde niñas, niños y jóvenes aprenden sobre el micro y nano mundo abre sus puertas para motivar el aprendizaje de escalas, caracterización de materiales y técnicas de fabricación. Con la implementación de estrategias pedagógicas: un hacer práctico y un entender teórico, el uso de múltiples analogías comparativas con situaciones de su vida diaria y exploración de la naturaleza, en actividades interactivas se forma y capacita desde temprana edad a una masa semilla para el apoyo del avance científico en Colombia.

**PALABRAS CLAVE:** educación, nanotecnología, microscopios.

**SUMMARY:** A new nanotechnology lab where children and young people learn about the micro and nano world opens its doors to encourage learning of scales, materials characterization and fabrication techniques. The implementation of pedagogic strategies includes: practical activities and theoretical understanding, the use of multiple comparative analogies with situations in daily life and nature exploration, as well as interactive activities to learn and train a seed mass at an early age with the purpose of supporting scientific progress in Colombia.

**KEY WORDS:** education, nanotechnology, microscopes.

Desde febrero de 2010 el primer laboratorio de nanotecnología para niñas, niños y jóvenes de grado sexto a noveno, reconocidos en Colombia dentro del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) como aprendices, bajo el proyecto llamado Tecno Academia, abrió sus puertas en la zona industrial de Cazucá, localidad del sur de Bogotá. Con una inversión y donaciones del orden de \$ 25,000,000,000 pesos, en este laboratorio se explora la materia a una escala de  $10^{-9}$  m educando alrededor de 1,000 niñas y niños colombianos, fuera del contexto tradicional de educación centrado en universidades y centros de investigación.

El entrenamiento de 1,000 niños y jóvenes es significativo si se considera que al 2011 sólo instituciones de educación superior públicas han tenido una convocatoria de similar magnitud en cátedras de formación Integral como es el caso de la Cátedra José Celestino Mutis “Nanotecnología, el tamaño sí importa” que actualmente ofrece la Universidad Nacional de Colombia (una de las más reconocidas a nivel nacional) y que incluye virtualmente a estudiantes de otras sedes nacionales como son Medellín y Manizales (Mutis, 2011).

Los aprendices que visitan el laboratorio en dos sesiones semanales en contra jornada escolar, no requieren conocimientos previos, sin embargo, se les aplica un examen de clasificación basado en los modelos de pregunta de las pruebas *Saber 2009*.

\* Estudiante de maestría, Universidad de los Andes. Líder en Nanotecnología Tecno Parque Nodo Cazucá. <dd.rodriguez89@uniandes.edu.co>.

\*\* Profesora Asociada. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de Los Andes. <a-avila@uniandes.edu.co>.

En estas sesiones se hace uso de los recursos e infraestructura que comprenden: un microscopio de barrido de fuerza atómica, un microscopio de barrido electrónico, microscopio de fluorescencia y un nano-litógrafo. Estos recursos son utilizados para la enseñanza de conceptos que se consideran vitales en un proceso de formación básica en micro y nanotecnología para estos aprendices: escalas de trabajo, caracterización topográfica, propiedades de materiales y fabricación. Los conceptos son transmitidos a los aprendices a través de actividades que enfatizan: un hacer práctico y un entender teórico (HPET), el uso de múltiples analogías comparativas con situaciones de su vida diaria (MAV) y exploración de la naturaleza (biosistemas naturales (BS)). Estas estrategias tienen como objetivo exponer al aprendiz a conceptos desde su que-hacer diario, explorando lo que el aprendiz “ve” y le es tangible a su alrededor para entender las dimensiones de trabajo a escalas nanométricas; la importancia de herramientas como microscopios para la “observación”, manipulación y entendimiento de propiedades que naturalmente pueden encontrar en su entorno (hidrofobicidad). La motivación se evidencia en los aprendices por el incremento en el número de preguntas que surgen sobre si otros materiales pueden mostrar estas propiedad de hidrofobicidad, la relación directa que hacen con aplicaciones de limpieza y protección a la actual crisis invernal en ropa y accesorios como gafas, y su constante interés en extender las horas de trabajo en la tecno academia. Identificar escalas, propiedades de materiales, métodos de fabricación a nanoescala dan a los estudiantes habilidades básicas que sugerimos como base para desarrollar competencias en futuros nanotecnólogos a temprana edad y que no directamente en nanotecnología, ya son de forma similar aplicadas en Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Tecnología establecidas por el Ministerio de Educación (Educacion, 2004).

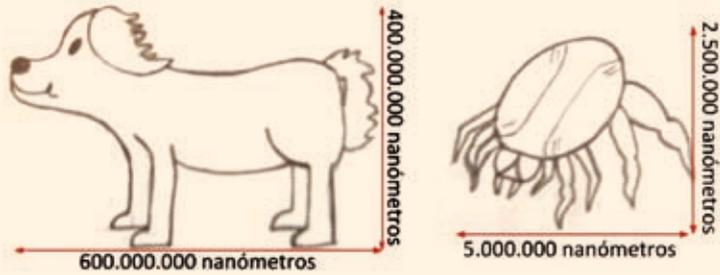
A continuación se hace una descripción de las experiencias interactivas que se desarrollan con los aprendices para transferir los conceptos con las herramientas disponibles enfocados en las estrategias pedagógicas HPET, MAV y BS.

## ESCALA

Una manera de dar a entender y de comprender a qué escala se está trabajando (graduación empleada en diversos instrumentos para medir una magnitud (Lengua, 2011), especialmente cuando se trabaja en algo tan pequeño ( $10^{-9}$  metros), es hacerlo a través de las perspectivas: convencional, ilustrativa y práctica.

1. Convencional: con el uso de una regla que exprese sus métricas en nanómetros, como aparece en la figura 1, se introduce al aprendiz a despertar una intuición de lo pequeño a lo grande. ¿Por qué la regla?, porque es el elemento que todos los aprendices dominan en su rutina escolar. Aquí se enfatiza en el hacer práctico y el entender teórico solicitando a los aprendices la medición de objetos comunes como es el caso de un perro y una pulga en nanómetros.
2. Ilustrativa: a partir de videos interactivos se expone al aprendiz a una perspectiva de escala en diferentes entornos desde la escala macro hasta la fotométrica, motivando su curiosidad por ver componentes de la materia en elementos de la vida diaria (carros, insectos y cuerpo humano) y enfatizando así la estrategia pedagógica MAV. (Reisen, 2011) (Europea, 2005).

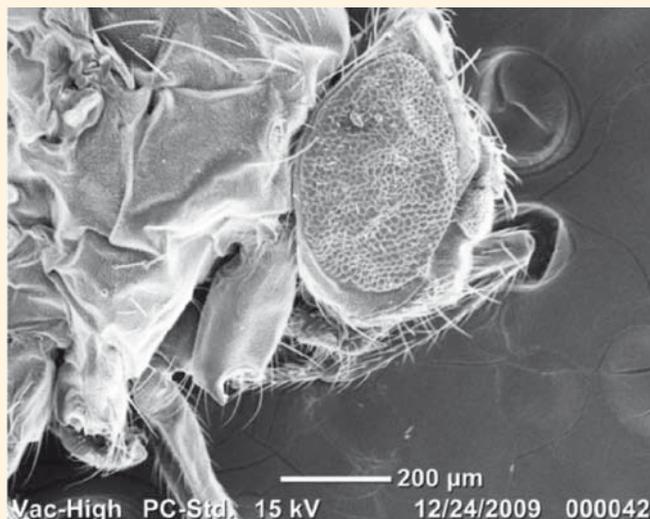
**FIGURA 1.** Regla con métricas en nanómetros y sus mediciones en seres comunes como el perro y una pulga



Fuente: Elaboración propia.

3. Práctica: a micro escalas, la práctica se concentra en visualizar insectos con el apoyo de microscopía de barrido electrónico (SEM), ver imagen 1. A través del ejercicio de usar un SEM, el estudiante va de la práctica al entender del concepto de escala micro determinando el tamaño de algunos de los detalles en el cuerpo del insecto. Detalles que no son observables con sus ojos y que hacen también conciencia de la necesidad y relevancia de microscopios de barrido como instrumentos de apoyo para visualización a diferentes escalas.

**IMAGEN 1.** Fotografía tomada con microscopio de barrido electrónico a un insecto



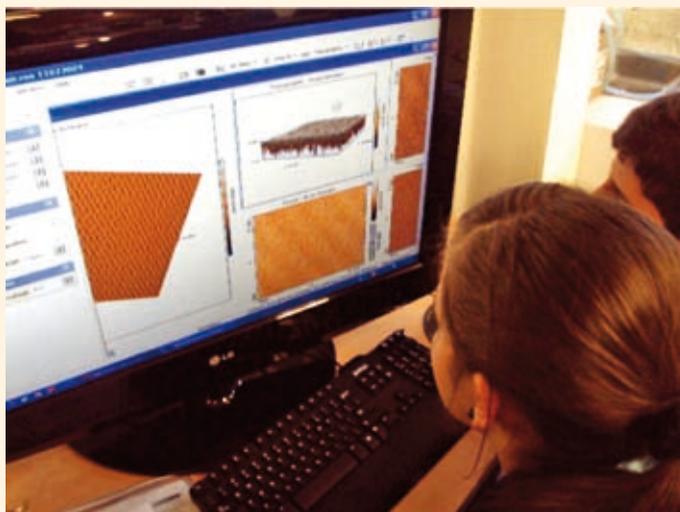
Al final de esta sesión los aprendices de Tecno Academia comprenden la escala de trabajo (de  $10^{-6}$  metros a  $10^{-9}$  metros), miden diversos elementos de su entorno (hacer práctico) y los relacionan con prefijos numéricos (el entender teórico) y términos como micro y nanotecnología y micro y nanoescalas.

## CARACTERIZACIÓN

En las prácticas de caracterización es primordial que los aprendices conozcan los instrumentos que hacen posible la manipulación, visualización, modificación y caracterización de la materia a nanoescalas. Aquí son introducidos los microscopios de barrido.

Usando el microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) para la medición de muestras con patrones nanométricos, se introduce a los aprendices a los fundamentos del AFM, su operación, sus limitaciones y requerimientos (ver imagen 2). El objetivo aquí es usar muestras de fácil accesibilidad como es un CD. En la imagen 3: "Topografía de un CD de datos tomada con el AFM". Se muestra la imagen sobre la cual los aprendices definen formas, separaciones y dimensiones de patrones entre pistas. Esta muestra, además, permite ilustrar a los aprendices cómo la información digital es almacenada como documentos, videos, música, entre otros datos, y se les explica cómo se representa esta información en bits, que es la unidad más pequeña de información.

**IMAGEN 2.** Niñas, niños y Jóvenes usando y aprendiendo con el AFM



En esta actividad se evalúa la comprensión de las nanoescalas introducidas en las prácticas iniciales y a partir de aquí se avanza en el uso del microscopio para estudiar propiedades a nanoescala como es la hidrofobicidad (capacidad de un material de repeler el agua y no permitir la adherencia en éste.)

## PROPIEDADES

El manejo del AFM permite a los aprendices investigar el porqué de algunas propiedades de la materia, específicamente hidrofobicidad (ver imagen 4). Con el análisis de muestras encontradas en el mismo TecnoParque como polillas e insectos se analizan las estructuras sobre las muestras y el rechazo del agua sobre las mismas.

IMAGEN 3. Topografía de un CD de datos tomada con el AFM

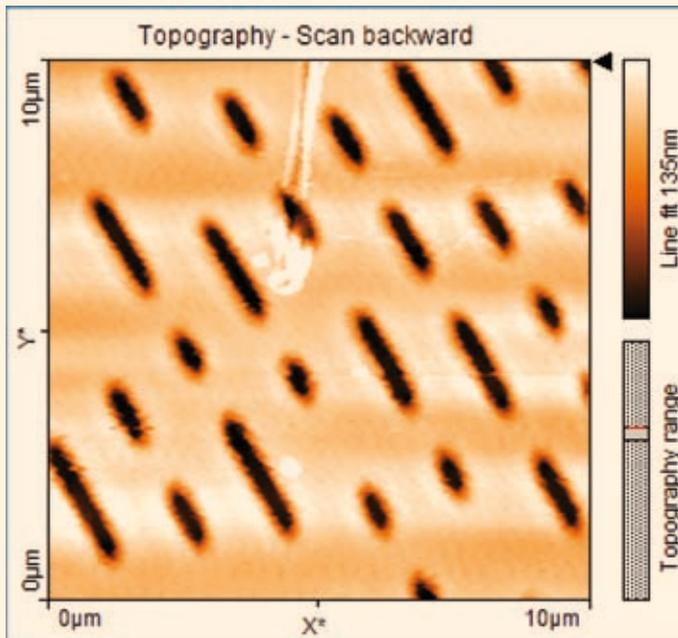


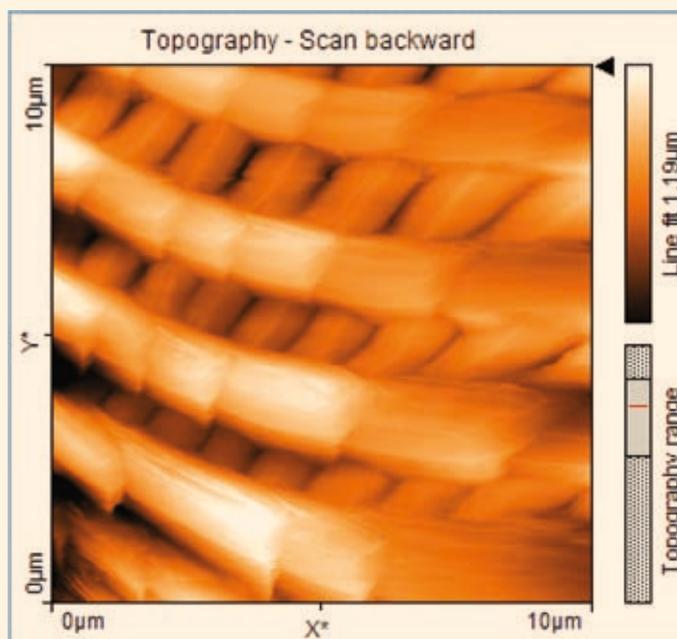
IMAGEN 4. Niñas, niños y jóvenes evaluando hidrofobicidad en diversos materiales



En esta actividad, los aprendices se familiarizan con mediciones de ángulos de contacto de gotas de agua sobre las muestras, ángulos mayores de  $90^\circ$  representa hidrofobicidad y menores a  $90^\circ$  hidrofilia (aceptación de agua de un material).

En la imagen 5 se muestra la topografía del ala de una polilla, en la cual se presenta hidrofobicidad gracias a la estructura en malla que guarda distancias equidistantes entre  $25\mu\text{m}$  y  $30\mu\text{m}$ , seguramente estas estructuras tienen relación con las características hidrofóbicas de estos biomateriales. Esta actividad está ligada a estrategias pedagógicas HPET y BS.

**IMAGEN 5.** Topografía del ala de la polilla en su parte interna, esta estructura muestra súper hidrofobicidad.

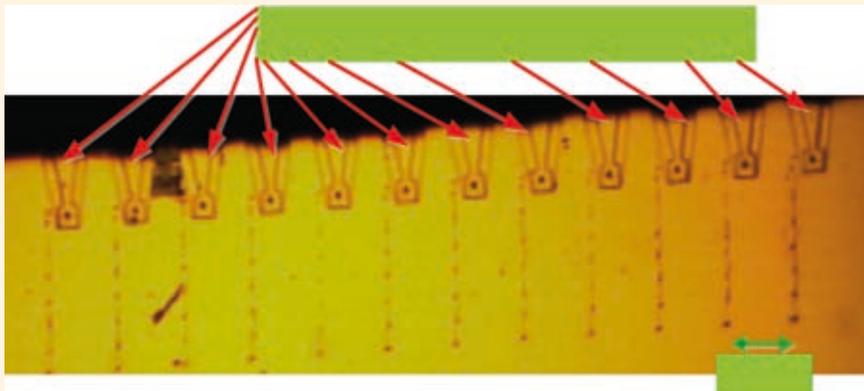


## FABRICACIÓN

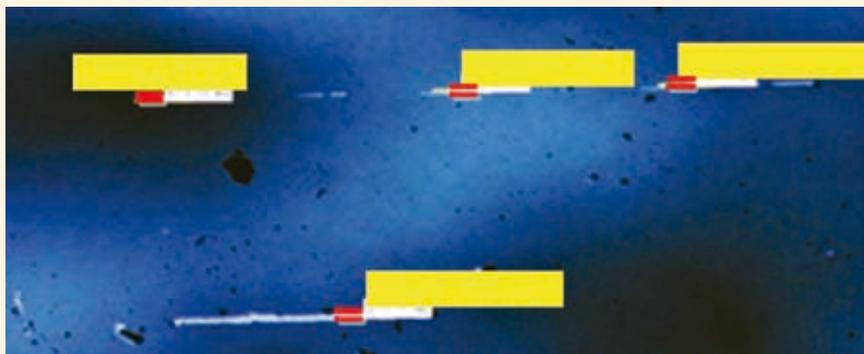
Por medio del uso de nano litografía con el equipo NLP2000 (NanoInk, 2010), los aprendices ubican una plataforma que les permite mover arreglos de puntas en los ejes X y Y como se muestra en la imagen 6. Con esta plataforma se fabrican arreglos de puntos y líneas a microescalas que no son visibles a simple vista y así el aprendiz reconoce la necesidad del uso de la microscopía (ver imagen 6).

También, como practica de fabricación se realiza litografía sobre películas delgadas como se muestra en la imagen 7, lo cual ayuda a entender los diferentes métodos de fabricación y manipulación a estas escalas, usando analogías comparativas tal como si la mano que escribe es el NLP2000, el lápiz es el arreglo de puntas, y el papel donde escribimos es la película delgada donde se realizan los rayones, así se transfiere este concepto de forma apropiada y creativa usando estrategias como HPET.

**IMAGEN 6.** Arreglo de puntas para litografía y deposición usando el Nano Litógrafo NLP2000



**IMAGEN 7.** Trazado y desbastado de zona con película delgada de aluminio. Fotografía tomada con microscopio de fluorescencia



Con cada una de las actividades antes mencionadas: escalas, caracterización, propiedades y fabricación motivan y educan a los aprendices con habilidades y competencias en nanotecnología. El seguimiento realizado al final de las actividades demuestra que con el enfoque descrito en este artículo (HPET, MAV y BS), el 75% de aprendices entiende el uso de prefijos del sistema métrico relacionados con dimensiones (nanómetro, micrometro) y escalas, además de, construir sobre estos prefijos otros términos como: nanoescalas, nanochips, nanorrobots, nanociencia y nanotecnología. En términos de caracterización el 86% de los aprendices reconocen e identifican el lenguaje técnico o siglas técnicas asociadas a los microscopios: óptico, de fuerza atómica y de barrido electrónico. Conceptualmente, ellos también relacionan el principio físico que permite el funcionamiento de cada microscopio: luz, electrones y cantilíver interactuando con la muestra bajo estudio. A nivel de propiedades, el 36% de los aprendices comprenden el concepto de hidrofobicidad, lo relacionan con biomateriales estudiados dentro y fuera la práctica desarrollada en la Tecno Academia; sin embargo, sólo un pequeño porcentaje de 12% reconoce cómo puede verificar si un

material es o no hidrofóbico. Nuevas prácticas y proyectos para enfatizar métodos de verificación están en proceso de diseño.

## CONCLUSIONES

El laboratorio de nanotecnología del Tecno Parque Central del SENA es un espacio complementario de formación y capacitación temprana en conceptos básicos en micro y nanotecnología fuera de los contextos convencionales de formación académica. Estos conceptos son transferidos a los aprendices de una manera dinámica con las actividades antes mencionadas, guiando a los aprendices en la construcción de sus conceptos y destacando el uso de estrategias pedagógicas como hacer práctico y aprender teórico, el uso de múltiples analogías comparativas con situaciones de su vida diaria y exploración de la naturaleza que luego ellos puedan utilizar en el desarrollo de proyectos y en su continua formación a titulaciones como técnico o tecnólogo en nanotecnología. Los equipos, las experiencias y los resultados aquí descritos en escalas, caracterización y fabricación hacen de este laboratorio el único en Colombia con infraestructura y capacidad de formación temprana. Actualmente, experiencias similares sólo están disponibles en centros de investigación y en universidades a nivel nacional como la Universidad Nacional y la Universidad de los Andes, quienes son los que cuentan con laboratorios e infraestructura similar a Tecno Parque. El reto para el SENA y el gobierno es, entonces, mantener y continuar la capacitación de nuestras niñas, niños y jóvenes micro y nanotecnólogos.

Finalmente, este tipo de proyectos educativos van de la mano con los planes de desarrollo del gobierno nacional como el programa “De cero a Siempre”, cuyo objetivo principal es apoyar la primera infancia en su proceso educativo (Nacional, 2011). Es importante dejar en claro que este esfuerzo tiene un efecto incalculable en la formación por competencias en nanotecnología de nuestras niñas, niños y jóvenes que se espera aporten en su proyecto de vida y que el gobierno debe responsabilizarse por generar programas que den continuidad a niveles más avanzados de educación.

## Agradecimientos

SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) TecnoParque y Tecno Academia Nodo Cuzucá, “Por un proyecto que siembra futuro”.

## TRABAJOS CITADOS

1. Gobierno Nacional, (2011), “Programa de Cero Siempre: <<http://www.deceroasiempre.gov.co>>.
2. Mutis, C. J. (2011). “Cátedra de Nanotecnología (El tamaño sí importa). Universidad Nacional De Colombia”: <<http://www.catedras-bogota.unal.edu.co/mutis/2011-I/>>.
3. Ministerio de Educación. (2004). “Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales”.
4. NanoInk. (2010). “Plataforma de Nanolitografía”: <<http://www.nanoink.net/>>.
5. Real Academia de la Lengua. (2011). “Definiciones”. s.l. : <<http://drae2.es/escala>>.
6. Reisen. (2011). “Nano Reisen”: <<http://www.nanoreisen.de/>>.
7. Unión Europea. (2005). “Un Viaje Por el Nano Mudo” [película].

# ENTREVISTA

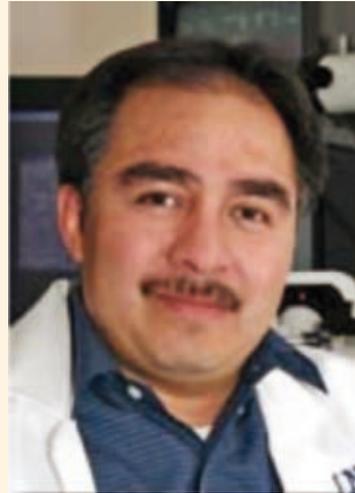
## Microscopía para el estudio de la materia a niveles casi invisibles

### Entrevista con Jesús Arenas Alatorre

POR LILIANA MORAN RODRÍGUEZ

Desde hace nueve años, el Laboratorio Central de Microscopía del Instituto de Física (LCMIF) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) ha enriquecido a investigadores que desean estudiar e investigar y a empresarios que tienen interés en desarrollar la ciencia en nuestro país, ello específicamente en campos como la física, la química, la biología y, más recientemente, en nanociencia y nanotecnología.

Actualmente, el LCMIF es coordinado por el doctor Jesús Arenas Alatorre quien también se encarga de la organización y vinculación con todos aquellos interesados en conocer y usar dicho laboratorio. Arenas Alatorre ingresó hace ocho años al Instituto de Física, un investigador reconocido por su formación de físico interesado en materia condensada.



**DR. ARENAS ¿PODRÍA EXPLICARNOS EN QUÉ CONSISTE LA MICROSCOPIA?**

Básicamente, la microscopía es una técnica productora de imágenes que permiten ver estructuras o detalles demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista. Se tiene, también, la capacidad de ver posiciones atómicas, aunado a ello, la capacidad de hacer análisis químicos porque al interactuar los electrones con las materias generan rayos X característicos, permitiendo así correlacionar la imagen con la composición química.

**DOCTOR ARENAS ¿HA DEDICADO SU INVESTIGACIÓN —DESDE LA NANOCIENCIA— A LOS SISTEMAS BI-METÁLICOS CON BASE DE HIERRO (HIERRO-COBRE, HIERRO-NIQUEL, ETC.)?**

Sí, para el investigador, siempre es interesante lo que encuentras. Desde el punto de vista estructural hay cosas que no han sido reportadas en es-

tas áreas, eso hace que sea viable encontrar algo nuevo y después puedas escribir un artículo.

**EN EL INSTITUTO, EL LABORATORIO TIENE YA CASI DIEZ AÑOS FUNCIONANDO Y SE HACE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DESDE HACE COMO 30 AÑOS, ¿CUÁLES SON LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS?**

Obviamente es muy distinto en cuanto a tecnologías; podemos ejemplificar con las diferencias que tiene un microscopio óptico de uno electrónico, sin que con ello diga que sea mejor uno que otro porque son técnicas complementarias, pero sí se nota la diferencia en cuanto a resolución. Por ejemplo; un microscopio óptico bueno tiene hasta .2 micras; un microscopio óptico de barrio llega a la resolución de un nanómetro, o sea, tiene una resolución 10 mil veces mayor que un microscopio óptico”.

Es por eso que en dicho laboratorio se puede estudiar la estructura cristalina de materiales y las fases que están presentes, el tamaño, la distribución y forma de partículas a niveles nanométricos, a la vez que se pueden comparar y ver las diferentes implicaciones en las propiedades físicas, químicas, ópticas, magnéticas y catalíticas.

#### ¿CUÁL SERÍA UNO DE LOS OBJETIVOS DEL TRABAJO EN ESTE LABORATORIO?

En el laboratorio se busca ayudar a la sociedad por medio de la investigación, es por eso que el contacto y apoyo con las industrias y los investigadores de cualquier institución o país siempre está abierto. Aquí [el laboratorio] está contemplado como laboratorio central, hay muchas técnicas y facilidades que no se encuentran en cualquier lado; por lo mismo, tenemos equipos caros de mantenimiento, y sólo se les pide una cuota de colaboración simbólica.

El LCMIF cuenta con seis microscopios electrónicos (JEM-2010F FASTEM microscopio electrónico de transmisión, JEM-4000 EX microscopio electrónico de transmisión de alta definición, JEM-100 CX, JSM 5600-LV, JSM 5200 CX, Microscopio de Fuerza Atómica y JSPM-4210) con técnicas especializadas como: transmisión, barrido de tunelaje y barrido simple, mapeo de elementos, espectroscopía de pérdida de energía, holografía electrónica, difracción electrónica, microscopía electrónica de campo claro y oscuro, modo de contacto, toma de fotografías y envío vía internet, entre otras. Además, tiene tres laboratorios de apoyo: preparación de

muestras, simulación y procesamiento de imágenes, así como toma de fotografías.

#### ¿QUÉ TIPO DE PERSONAL SE REQUIERE PARA TRABAJAR CON ESTA DIVERSIDAD DE MICROSCOPIOS?

Se necesitan varios investigadores interesados en utilizar estos equipos y que de este modo valgan la pena las inversiones hechas; ahora, un microscopio de transmisión moderno —7.5 angstroms— está por arriba de los 3 millones de dólares, y necesitamos adquirir más actuales, pero sí debemos reflejar la importancia de la adquisición de estos equipos de tal costo, aunque por lo pronto no creo que nos los renueven.

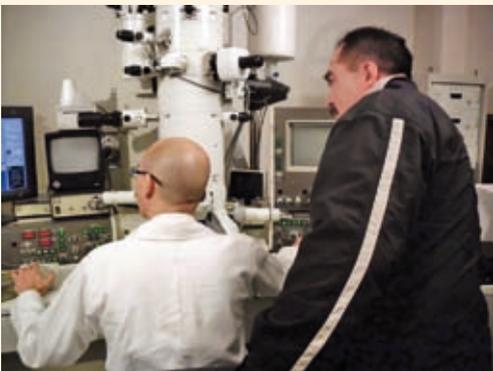
#### ¿CÓMO PERCIBE EL INTERÉS DE LOS USUARIOS DEL LABORATORIO?

Año con año, los usuarios del laboratorio han ido incrementando, en especial, los de las industrias farmacéuticas o metalúrgicas: personalmente, se me hace muy interesante que venga gente de la iniciativa privada y que se hagan convenios, porque muchas industrias han visto que por la cuestión de la globalización o le entran a la investigación y desarrollo tecnológico o se los comen. Muchas de las industrias ya no ven la investigación como un gasto sino más bien como una inversión, lo cual es interesante para el desarrollo del país.

#### ¿QUIÉNES PUEDEN ACCEDER AL LCMIF?

El LCMIF no es exclusivo para uso mexicano, investigadores de países de América Latina y Estados Unidos acuden para realizar estudios apoyados por los potentes microscopios y técnicas que utilizamos. También pueden apoyarse —para visualizar y analizar muestras— del personal autorizado en el laboratorio: cuatro técnicos con formación de químicos, físicos o ingenieros químicos y un laboratorista.

Pese a todo, le confieso que se han dado casos, especialmente de la iniciativa privada, en los que más bien se capacita a su personal para que sean ellos quienes utilicen el equipo, además, esto es bueno si tomamos en cuenta la importancia de la confidencialidad de la información, así debe ser, son sus investigaciones y es importante que se sientan seguros.



## LIBROS E INFORMES

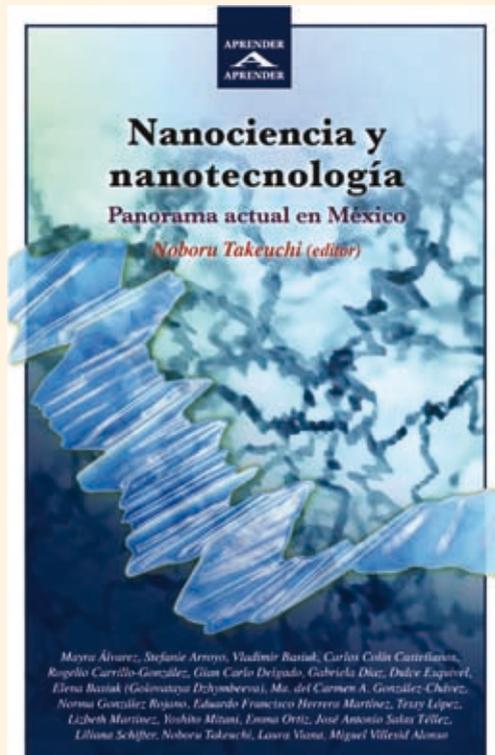
**NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA. PANORAMA ACTUAL EN MÉXICO.**

**TAKEUCHI, NOBORU (ED.)**

**NANOUNAM-CEIICH-CNYN, UNAM**

**MÉXICO**

**2011**



Desde los laboratorios donde se hace investigación de frontera, pasando por hospitales donde se buscan nuevos tratamientos contra el cáncer, hasta llegar a nuestros automóviles equipados con catalizadores en los cuales se usan materiales nanoestructurados, este libro hace un recorrido por la investigación básica y aplicada que se está realizando actualmente en México en el área de la nanociencia y la nanotecnología.

Esta obra, con un enfoque especial en áreas consideradas estratégicas para México, está dirigida a lectores con un amplio rango de preparación académica y pretende servir de guía al trasladar el complejo mundo de la nanociencia y la nanotecnología a la vida diaria. Es útil como texto de consulta para estudiantes y material de lectura para profesionistas relacionados con la tecnología y sus potencialidades. Aporta elementos para tener conocimientos útiles para tomar mejores decisiones.

## NANOMEDICINA, ENTRE POLÍTICAS PÚBLICAS Y NECESIDADES PRIVADAS

SIMONE ARNALDI, GIAN CARLO DELGADO, MARIASSUNTA PICCINI, Y PIERA POLETTI (EDS.)

NANOUNAM-CEIICH-UNAM

CIGA-UNIVERSIDAD PADUA

MÉXICO

2011

Con el acelerado avance de la nanociencia y la nanotecnología (o del estudio y manipulación de la materia a escala de la mil millonésima parte de un metro), surge un fuerte interés sobre las potenciales aplicaciones médicas.

La denominada nanomedicina promete dramáticas y novedosas oportunidades para el cuidado de la salud, y, sin embargo, al mismo tiempo acarrea nuevas preocupaciones éticas, sociales, económicas y legales.

Mientras que desde el discurso de las nuevas tecnologías se pone más atención en el análisis del desarrollo científico y tecnológico en términos casi exclusivamente de la relación entre innovación, necesidades de salud y el rol que en específico puede jugar la nanomedicina, el presente libro, sin dejar de analizar dicha narrativa, ofrece otra que pone mayor énfasis en la valoración del rol de la nanomedicina en función de un desarrollo responsable de la misma y de garantizar el derecho a la salud como derecho humano universal, lo que implica, entre otras cuestiones, el acceso a tratamiento y terapias, así como al conocimiento y a la información.

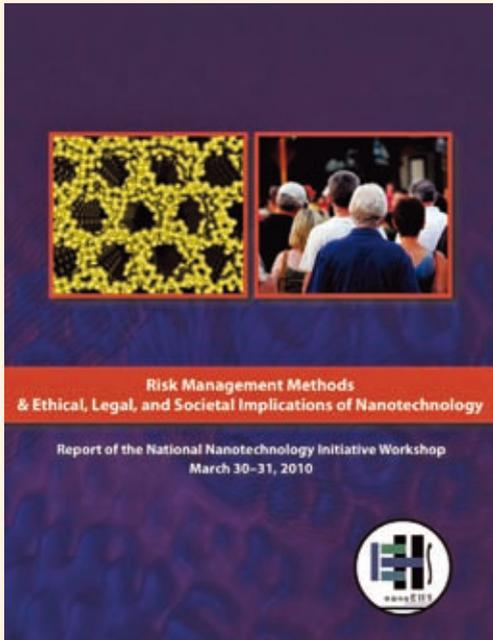
Teniendo en cuenta que el sector salud está fuertemente influenciado por cuestiones sociales, políticas y económicas, se considera por tanto fundamental el debate interdisciplinario de la nanomedicina, siempre tomando en cuenta las realidades de los distintos países en y desde los que se la impulsa.

Los diversos aspectos e implicaciones de la nanomedicina, incluyendo cuestiones de justicia



e igualdad de oportunidades, pero también de potenciales riesgos y beneficios, son examinados por un panel internacional e interdisciplinario de autores, muchos de los cuales han elaborado, en conjunto, una *Guía de Principios* —que aquí se incluye— y que busca contribuir en el diálogo sobre desigualdades, presentes y futuras, en torno al avance y acceso a la nanomedicina.

**RISK MANAGEMENT METHODS & ETHICAL, LEGAL AND SOCIETAL IMPLICATIONS  
OF NANOTECHNOLOGY**  
**HEETER, LIESL (EDS.)**  
**NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE**  
**EUA**  
**2011**



Informe del Taller de la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de EUA, realizado del 30 al 31 de marzo de 2010. Refleja los contenidos esenciales de la discusión entre múltiples actores provenientes de la academia, la industria y el gobierno. Aborda temáticas generales de metodologías para el manejo del riesgo, así como sobre las múltiples implicaciones éticas, legales y

sociales de la nanotecnología. Entre los puntos que destacan en torno a las consideraciones sobre métodos de manejo del riesgo y evaluaciones de riesgo, están: la información sobre manejo del riesgo necesita ser integrada a través de toda la agenda de investigación en nanotecnología; la información requiere fluir libremente entre investigadores de las ciencias naturales y exactas hacia los encargados de evaluar los riesgos y de planear su manejo; se requiere estimular la sinergia entre los tomadores de decisiones y los investigadores; se requiere de mayores inversiones para investigaciones sobre el impacto de los nanomateriales a lo largo de su ciclo de vida, desde su desarrollo, manufactura, comercialización, desecho o fin de su ciclo de vida; los métodos de decisión multicriterial y los análisis del ciclo de vida pueden ayudar a una mejor toma de decisiones acerca de las prioridades en la investigación y sobre cuáles son las áreas de incertidumbre más relevantes.

Asimismo, se concluye sobre la necesidad de que las comunidades que realizan estudios sobre implicaciones éticas, legales y sociales (grupos ELSI) compartan información y métodos de manera más integral; y que dichos grupos sean parte formal de futuros proyectos de investigación en nanotecnología financiados por el gobierno federal, entre otras cuestiones.

§

Disponible en:  
[www.portalnano.ru/files/796](http://www.portalnano.ru/files/796)

## **NANOTECHNOLOGY. RESEARCH DIRECTIONS FOR SOCIETAL NEEDS IN 2020**

**ROCO, MIHAIL, MIRKIN, CHAD Y HERSAM, MARK**

**SPRINGER**

**EUA**

**2010**

Ofrece una mirada panorámica pero al mismo tiempo extensa de los conocimientos básicos y el desarrollo de infraestructura alcanzados por la nanotecnología en la última década. También, una mirada a las potencialidades de EUA y de la empresa mundial de la nanotecnología al 2020 y más allá. Desde tal análisis, se redefinen los objetivos de investigación y desarrollo de la nanociencia y de la integración de la ingeniería para dar cauce al avance de la nanotecnología como una tecnología de uso general en la próxima década.

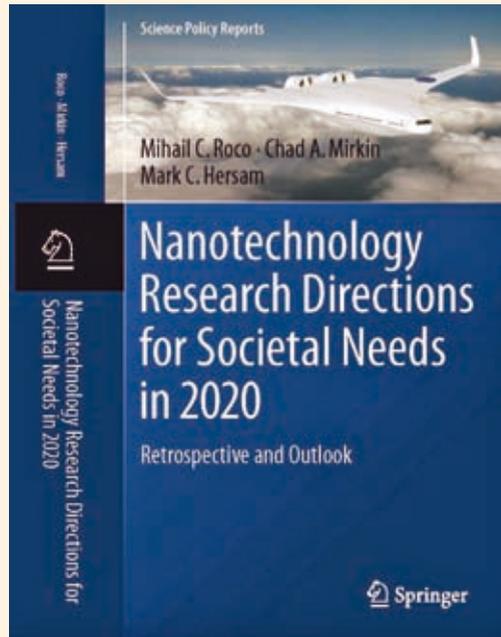
La visión para el futuro de la nanotecnología que se presenta en el texto está basada en ideas de expertos de EUA en el campo, en la revisión de las lecciones aprendidas y perspectivas internacionales compartidas por los participantes de 35 países en cinco encuentros internacionales organizados o coorganizados por los principales autores del presente informe.

El objetivo —precisan los autores— es proporcionar a los tomadores de decisiones en la comunidad académica, la industria y el gobierno, rutas para avanzar de manera productiva y responsable en la investigación y desarrollo futuro de la nanotecnología.

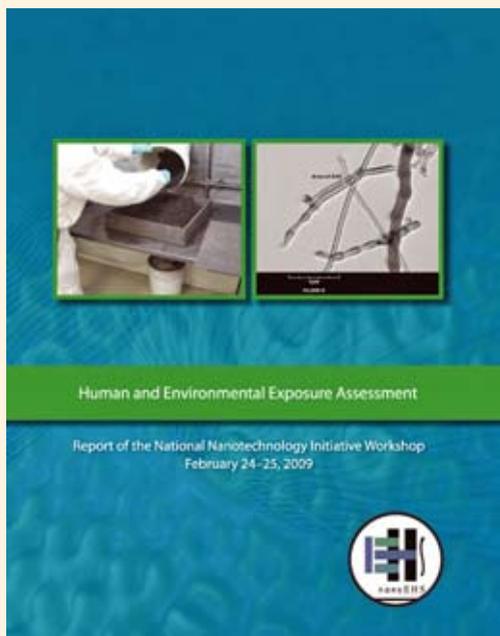
§

Disponible en:

[www.wtec.org/nano2/Nanotechnology\\_Research\\_Directions\\_to\\_2020/](http://www.wtec.org/nano2/Nanotechnology_Research_Directions_to_2020/)



**HUMAN AND ENVIRONMENTAL EXPOSURE ASSESSMENT**  
**HEETER, LIESL (EDS.)**  
**NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE**  
**EUA**  
**2011**



Informe del Taller de la Iniciativa Nacional en Nanotecnología de EUA, realizado del 24 al 25 de marzo de 2009, y recientemente publicado.

Aborda discusiones relativas a la caracterización de la exposición a nanomateriales por parte de los trabajadores, la identificación de grupos de población y entornos naturales expuestos, la caracterización de la exposición a la población en general a partir del contacto con procesos industriales y productos de consumo que contienen

nanomateriales, la caracterización de la salud de poblaciones y del medio ambiente expuesto a nanomateriales, el entendimiento de procesos de los espacios de trabajo y de los factores que determinan la exposición a nanomateriales.

Como resultado, se propone la necesidad de implementar programas de vigilancia en los espacios de trabajo, mismos que deben ser ajustados conforme se vaya generando nueva información sobre los efectos a la salud de la exposición a nanomateriales. Igualmente, se precisa que la Organización Internacional de Estandarización, la OEDC y la Naciones Unidas podrían promover un marco general para el desarrollo y validación de protocolos internacionales armonizados sobre la evaluación a exposiciones a nanomateriales. Entre otras cuestiones, se subraya que es probable la urgencia de entender de manera sistemática los efectos de la nanotecnología en la salud, al tiempo que se reconoce que los efectos de algunos nanomateriales no puedan ser previstos sobre la base de conocimiento actualmente disponible. Para dar seguimiento a la amplia variedad de nanomateriales, se propone agruparlos por sus rasgos físicoquímicos y a partir de crear modelos computacionales sobre las interacciones de los nanomateriales con diversos componentes biológicos.

§

Disponible en:  
[www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/humanandenvironmentalexposureassessment\\_0.pdf](http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/humanandenvironmentalexposureassessment_0.pdf)

**SURVEY ON BASIC KNOWLEDGE ABOUT EXPOSURE AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISKS FOR SELECTED NANOMATERIALS**  
**MIKKELSEN, SONJA H., HANSEN, ERIK.; CHRISTENSEN, TRINE B.; BAUN, ANDERS; HANSEN, STEFFEN F., BINDERUP, MONA-LISE**  
**DANISH MINISTRY OF ENVIRONMENT. PROJECT. No. 1370**  
**2011**

Estudio de la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno Danés, donde se revisa el conocimiento científico existente sobre las características y potenciales implicaciones ambientales y a la salud de los nanomateriales, especialmente aquellos que se utilizan en productos que ya se encuentran en el mercado de dicho país. El estudio se realizó de septiembre de 2010 a marzo de 2011. Evalúa siete nanomateriales debido a su prioridad en tanto a las cantidades utilizadas por la industria: dióxido de titanio, dióxido de cerio, fulerenos, plata, hierro de valencia cero, dióxido de silicio y nanoarcillas. En menor medida, también revisa el caso de los nanotubos de carbono.

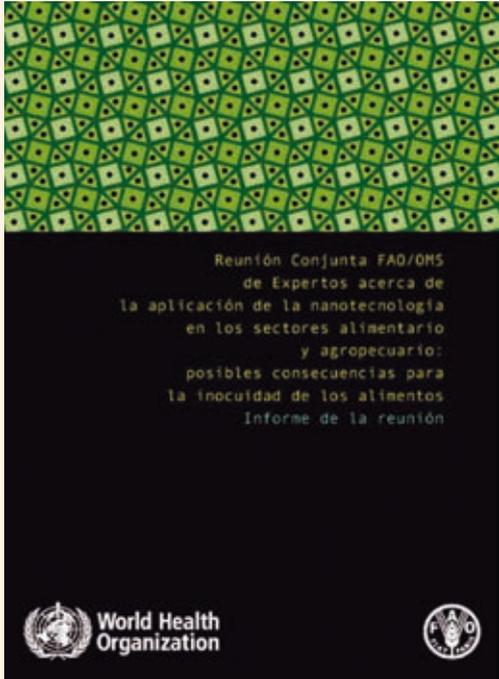
Incluye un escrutinio sobre tipos de nanomateriales, dimensiones y otras características, usos identificados y cantidades empleadas, características econanotoxicológicas, tipos y modalidades de exposición y riesgos potenciales identificados.

§

Disponible en:  
[www2.mst.dk/udgiv/  
publications/2011/08/978-87-92779-09-0.pdf](http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2011/08/978-87-92779-09-0.pdf)



**OMS - FAO. REUNIÓN CONJUNTA FAO/OMS DE EXPERTOS ACERCA DE LA APLICACIÓN DE LA NANOTECNOLOGÍA EN LOS SECTORES ALIMENTARIO Y AGROPECUARIO: POSIBLES CONSECUENCIAS PARA LA INOCUIDAD DE LOS ALIMENTOS**  
**GINEBRA, SUIZA**  
**2011**



Muchos países han determinado el potencial de la nanotecnología en los sectores agropecuario y alimentario y están invirtiendo de manera considerable en sus aplicaciones a la producción de alimentos. Sin embargo, debido a los pocos conocimientos que existen sobre los efectos en la salud humana de tales aplicaciones, muchos países reconocen la necesidad de examinar previamente las consecuencias para la inocuidad de los alimentos de la tecnología. En respuesta a tales peticiones, la FAO y la OMS consideran que era oportuno convocar una reunión de expertos sobre el tema con el fin de definir el trabajo futuro para abordar la cuestión a nivel mundial. El informe de 142 páginas ofrece una memoria de la mencionada reunión.

§

Disponible para su adquisición en:  
<http://apps.who.int/bookorders/anglais/home1.jsp?sesslan=1>

# ANEXO\*-Red NANODYF-CYTED

**TABLA I.** Contexto legislativo en el ámbito de la nanociencia y la nanotecnología

<b>País</b>	<b>Nombre del plan o estrategia (a nivel nacional o regional) que promociona la NC y la NT en el país</b>	<b>Ministerio, organismo, consejo o institución promotora de este plan</b>	<b>Link a la página WEB o documento donde figure dicha estrategia</b>	<b>¿Dicho plan o estrategia contienen actuaciones específicas dirigidas a la formación y divulgación? (si/no)</b>
Argentina	Área Prioritaria Nuevas Tecnologías, Área Estratégica	Ministerio de Ciencia y Tecnología	<a href="http://www.mincyt.gov.ar/ministerio/legislacion/index.php?opcion=1&amp;id_tipo=14">http://www.mincyt.gov.ar/ministerio/legislacion/index.php?opcion=1&amp;id_tipo=14</a>	Sí
Argentina		Fundación Argentina de Nanotecnología	<a href="http://www.fan.org.ar/">http://www.fan.org.ar/</a> , <a href="http://www.fan.org.ar/acerca_estatuto.htm">http://www.fan.org.ar/acerca_estatuto.htm</a> (Decreto 380/2005)	Sí
Brasil	Programa Nacional de Nanotecnología	Minist. de Educação / Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	<a href="http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/nanotecnologia">http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/nanotecnologia</a>	Sim, 06 bolsas de doutorado, 2003-2007.
Brasil	Programa 1110 – Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia	Financiadora de Estudos e Projetos, Ministério da Ciência e Tecnologia	<a href="http://www.finep.gov.br/numeros_finep/processos_contas_anuais/arquivos/relatorio_gestao_finep_2005.pdf">http://www.finep.gov.br/numeros_finep/processos_contas_anuais/arquivos/relatorio_gestao_finep_2005.pdf</a>	Não
Brasil	Programa Rede BrasilNano	Ministério de Ciência e Tecnologia	<a href="http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/39345.html">http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/39345.html</a>	Sim
Brasil	Programa de Nanobiotecnología	Ministério de Educação/ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	<a href="http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/nanobiotecnologia">http://www.capes.gov.br/bolsas/programas-especiais/nanobiotecnologia</a>	Sim, formação em nível de pós-graduação.
Brasil	Nanotecnología	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior	<a href="http://www.pdp.gov.br/Paginas/detalhamento_programa.aspx?programa=Nanotecnologia&amp;path=Programas-Mobilizadores%20em%20reas%20Estrat%C3%A9gicas-Nanotecnologia">http://www.pdp.gov.br/Paginas/detalhamento_programa.aspx?programa=Nanotecnologia&amp;path=Programas-Mobilizadores em %C3%A1reas Estrat%C3%A9gicas-Nanotecnologia</a>	Sim, formação de RH especializado.
Brasil	Programa de C,T&I para Nanotecnología	Ministério de Ciência e Tecnologia	<a href="http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27107.html">http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/27107.html</a>	
Chile	Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad	Consejo Publico-Privado	<a href="http://www.cni.cl">www.cni.cl</a>	NO
Chile	Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (PBCT)	Ministerio de Educación	<a href="http://www.conicyt.cl">www.conicyt.cl</a>	Sí
Chile	I Programa Investigación Basal(PBCT)	Ministerio de Educación	<a href="http://www.conicyt.cl">www.conicyt.cl</a>	Sí
Chile	Instituto Milenio	Ministerio de Economía	<a href="http://www.mideplan.cl">www.mideplan.cl</a>	Sí
Chile	INNOVA Bio Bio (Regional)	Gobierno Regional, Universidades y Empresas	<a href="http://www.cipa.cl">www.cipa.cl</a>	Sí
Chile	Gobierno Regional Valparaíso	Agencia Regional, Universidad Santa María, Empresas	<a href="http://www.usm.cl">www.usm.cl</a>	Sí

\* Anexo elaborado por la Red "José Roberto Leite"-NANODYF-CYTED.

País	Nombre del plan o estrategia (a nivel nacional o regional) que promociona la NC y la NT en el país	Ministerio, organismo, consejo o institución promotora de este plan	Link a la página WEB o documento donde figure dicha estrategia	¿Dicho plan o estrategia contienen actuaciones específicas dirigidas a la formación y divulgación? (sí/no)
Cuba	Programa Nacional de Ciencia e Innovación Tecnológica (PNCIT) "Nuevos Materiales y Materiales de Avanzada"	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente	No se encuentra en la red.	No específicas, aunque en el marco de los proyectos de investigación se desarrollan acciones de formación y divulgación.
España	Acción estratégica de Nanociencia y Nanotecnología, Nuevos Materiales y Nuevos Procesos Industriales	Ministerio de Ciencia e Innovación	<a href="http://www.micinn.es/">http://www.micinn.es/</a> (seguir la secuencia: Inicio -> PLAN NACIONAL de I+D+i 2008-2011 -> Acciones Estratégicas)	NO
España	III Plan Riojano de I+D+i 2008-2011	Consejería de Industria, Innovación y Empleo de La Rioja	<a href="http://t3innovacion.larioja.org/sistema-riojano-de-innovacion/tecnologias-convergentes/nanotecnologia/">http://t3innovacion.larioja.org/sistema-riojano-de-innovacion/tecnologias-convergentes/nanotecnologia/</a>	Sí (divulgación dirigida a empresas)
España	Estrategia Nanobasque	Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco y Agencia Nanobasque	<a href="http://www.nanobasque.eu/es/">http://www.nanobasque.eu/es/</a>	Sí (posee un programa de socialización de la nanotecnología)
España	Proyecto Estructurante NANOMAC	Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (ACISI),ç	<a href="http://agencia.itccanarias.org/">http://agencia.itccanarias.org/</a>	Sí (a través de FACEBOOK)
Perú	Plan Nacional Estratégico de Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano 2006-2021 del Perú	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	<a href="http://ap.concytec.gob.pe/planctei/index.htm">http://ap.concytec.gob.pe/planctei/index.htm</a>	Sí
Perú	Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica para el Desarrollo Productivo y Social Sostenible 2009 – 2013	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	<a href="http://portal.concytec.gob.pe/index.php/areas-de-la-institucion/politicas-y-planes.html">http://portal.concytec.gob.pe/index.php/areas-de-la-institucion/politicas-y-planes.html</a>	Sí
Perú	Proyecto Educativo Nacional al 2021	Ministerio, Consejo Nacional de Educación	<a href="http://www.minedu.gob.pe/DelInteres/xtras/download.php?link=PEN-2021.pdf">http://www.minedu.gob.pe/DelInteres/xtras/download.php?link=PEN-2021.pdf</a>	No
Perú	Lineamientos Estratégicos para el Desarrollo Nacional 2010 - 2021	Centro Nacional de Planeamiento Estratégico	<a href="http://www.ceplan.gob.pe/documents/10157/3bb168b1-9d4c-493a-89b4-435240290931">http://www.ceplan.gob.pe/documents/10157/3bb168b1-9d4c-493a-89b4-435240290931</a>	Sí
Portugal	Compromisso com a Ciência para o Futuro de Portugal	Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior	<a href="http://www.unic.pt/">http://www.unic.pt/</a>	Sim. Contratos-programa visam a contratação de pelo menos 1.000 doutorados até 2009. Aumento em 60% do número de novas bolsas de doutoramento e pós-doutoramento.
Portugal	Rede de Nanotecnologia de Portugal-PortugalNano	Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior	<a href="http://www.portugalnano.net/">http://www.portugalnano.net/</a>	Não
Portugal y España	Portugal-Espanha R&D Instituto: Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia INL	Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior Português e Ministério da Educação e Ciência Espanhol	<a href="http://www.inl.int/">http://www.inl.int/</a>	Criação do Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia com Bolsas e Contratos de Investigação.
Venezuela	Aún no existe un plan como tal pero está en proceso de diseño	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias		Se espera que sí

**TABLA II. Redes dedicadas a la promoción y la coordinación de la nanociencia y la nanotecnología**

<b>País</b>	<b>Nombre de la red</b>	<b>Dirección de la página WEB</b>	<b>Tipo de red: académica industrial educativa</b>	<b>¿Dicha red tiene actuaciones o contenidos específicos dedicados a la formación o divulgación?</b>
Argentina	Red Argentina de Nanociencia y Nanotecnología: Materiales Nanoestructurados y Nanodispositivos	No posee	Académica	No
Argentina	Red Argentina de Nanociencia y Nanotecnología Molecular, Supramolecular e Interfaces	No posee	Académica	No
Argentina	Laboratorio en Red para el Diseño, Simulación y Fabricación de Nano-microdispositivos, Prototipos y Muestras	No posee	Académica	No
Argentina	Autoorganización de Nanobioestructuras para la Transmisión de Información Molecular en Neurología y Procesos Biológicos	No posee	Académica	No
Brasil	Rede NanoCETENE	<a href="http://www.cetene.gov.br/redesinstitucionais/nanocetene.php">http://www.cetene.gov.br/redesinstitucionais/nanocetene.php</a>	Académica	Contenidos de divulgación
Brasil	Rede Nacional de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces (renami, Oscar M. Loureiro Malta)	<a href="http://www.renami.com.br/">http://www.renami.com.br/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Pesquisa em Nanotubos de Carbono (Marcos A. Pimenta)	<a href="http://www.fisica.ufc.br/redenano/">http://www.fisica.ufc.br/redenano/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Nanocosméticos: do Conceito às Aplicações Tecnológicas (Sílvia S. Guterres)	<a href="http://www.ufrgs.br/nanocosmeticos/">http://www.ufrgs.br/nanocosmeticos/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Microscopias de Varreduras de Sondas - Software e Hardware Abertos (Gilberto Medeiros Ribeiro)	<a href="http://www.redespm.org.br/">http://www.redespm.org.br/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Simulação e Modelagem de Nanoestruturas e Materiais Complexos Adalberto Fazzio)	<a href="http://www.fmt.if.usp.br/~fazzio/">http://www.fmt.if.usp.br/~fazzio/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Cooperativa de Pesquisa em Revestimentos Nanoestructurados (Fernando L. Freire Júnior)	<a href="http://www.fis.puc-rio.br/labrevestprot.php">http://www.fis.puc-rio.br/labrevestprot.php</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Nanoglicobiotecnologia Maria R. Sierakowski)	<a href="http://www.quimica.ufpr.br/~cpqquim/npgq/lst_prof2.php?cdprof=342025">http://www.quimica.ufpr.br/~cpqquim/npgq/lst_prof2.php?cdprof=342025</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede Nacional de Nanobiomagnetismo Paulo César de Moraes)	<a href="http://vsites.unb.br/lb/cnano/projetos.htm">http://vsites.unb.br/lb/cnano/projetos.htm</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil	Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (RENANOSOMA, Paulo R. Martins).	<a href="http://nanotecnologiadoavesso.org/">http://nanotecnologiadoavesso.org/</a>	Académica	Contenidos de divulgación
Brasil - Argentina	Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia	<a href="http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/24251.html">http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/24251.html</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Brasil - México	Centro Virtual Brasileiro-Mexicano de Nanotecnologia	<a href="http://lbmbn.cnpdia.embrapa.br/">http://lbmbn.cnpdia.embrapa.br/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario

País	Nombre de la red	Dirección de la página WEB	Tipo de red: académica industrial educativa	¿Dicha red tiene actuaciones o contenidos específicos dedicados a la formación o divulgación?
Chile-Brasil	Grupo Binacional Chile-Brasil	www.conicyt.cl	Académica-educativa	Contenidos formativos a nivel universitario
Chile-Iberoamerica	Universia-Chile	www.universia.cl	Educativa	Contenidos de divulgación
Chile-LA y Caribe	Redalyc	www.uaemex.mx	Educativa, académica	Contenidos formativos a nivel universitario, contenidos de divulgación
Chile-México	Red Nanored	www.nanored.org.mx	Educativa	Contenidos de divulgación, contenidos formativos a nivel universitario
Chile-Uruguay	Red Grupo de Montevideo	www.grupomontevideo.edu.uy	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario, contenidos de divulgación
Colombia	Nanodyf	http://www.nanodyf.org/	Académica	Contenidos de divulgación
Colombia	Renata	http://www.renata.edu.co/	Académica	Contenidos de divulgación
Cuba	Red de Nanotecnologías del MES	No tiene	Académica	No
Cuba	NanoUH	No tiene	Académica	Contenidos de divulgación
España	NanoSpain	http://www.nanospain.org	Académica-industrial	No
España	Plataforma Galega de Nanotecnoloxia	http://www.nanogal.org/nanogal2/	Académica-Industrial	No
España	Rede Galega de Nanomedicina	http://webs.uvigo.es/nanogalicia/es/main.html/	Académica	No
España	Red de Nanotecnología de Aragón y Cataluña (NANOARACAT)	http://www.nanoaracat.com	Académica	Sí. Posee una actuación paralela con muchos recursos <a href="http://www.nanowiki.info/">http://www.nanowiki.info/</a>
España	Modelling for nano (M4NANO)	http://www.m4nano.com/	Académica	No
España	Red para la Aplicación de Nanotecnologías en Materiales y Productos para la Construcción y el Hábitat. (RENAC)	http://www.nano-renac.com/	Académica-industrial	Sí
España	Plataforma Española de Nanomedicina	http://www.nanomedspain.net/	Académica-industrial	No
España	Plataforma Tecnológica sobre Nanoelectrónica e Integración de Sistemas Inteligentes (ES-ENIAC-SSI)	http://www.genesisred.net/	Académica-industrial	No
España	Plataforma Española de de Materiales Avanzados y Nanomateriales (MATERPLAT)	http://www.materplat.es/	Académica-industrial	No
España	Plataforma Tecnológica Española en el área de los Sistemas con Inteligencia Integrada (PROMETEO)	http://www.materplat.es/	Académica-industrial	No
España	Plataforma Española de Química Sostenible	http://www.suschem-es.org/suschem_es/grupo_nano.asp	Académica-industrial	Sí (tiene una zona de links a sitios dedicados a formación)
España	La Plataforma Tecnológica Española de Investigación en el Ámbito de la Fabricación	http://www.manufuture.es/default.aspx	Académica-industrial	No

País	Nombre de la red	Dirección de la página WEB	Tipo de red: académica industrial educativa	¿Dicha red tiene actuaciones o contenidos específicos dedicados a la formación o divulgación?
España	Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible	<a href="http://www.ptehpc.org/">http://www.ptehpc.org/</a>	Académica-industrial	Sí (tiene una pequeña zona didáctica)
España	Eje Nano del CSIC	<a href="http://www2.csic.es/documentos/ejesTematicos/EjeNano.pdf">http://www2.csic.es/documentos/ejesTematicos/EjeNano.pdf</a>	Académica	No
México	Red de Grupos de Investigación en Nanociencias	<a href="http://www.nano.unam.mx">www.nano.unam.mx</a>	Académica	No
México	Red de Nanociencias UAM	<a href="http://www.nanocienciasuam.com.mx/">http://www.nanocienciasuam.com.mx/</a>	Académica	No
México	Division de Nanociencias y Nanotecnología	<a href="http://www.smf.mx/">http://www.smf.mx/</a>	Académica	No
México	Red de Nanociencia y Nanotecnología del CONACYT	<a href="http://www.nanored.org.mx">www.nanored.org.mx</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario. Financia movilidad de estudiantes y profesores. Financia organización de eventos en Nyn
México	Cluster nano	<a href="http://www.clusternano.org/nanomonterrey2010/">http://www.clusternano.org/nanomonterrey2010/</a>	Académica-industrial	No
Perú	Catedra CONCYTEC en Nanomateriales	<a href="http://redtematica.concytec.gob.pe/catedras/">http://redtematica.concytec.gob.pe/catedras/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Perú	Red Peruana de Nanotecnología	<a href="http://www.nanotecnologia.com.pe/red_nano.html">http://www.nanotecnologia.com.pe/red_nano.html</a>	Académica	Contenidos de divulgación
Perú	Red de Periodistas Científicos	<a href="http://portal.concytec.gob.pe/redperiodistas/index.php/">http://portal.concytec.gob.pe/redperiodistas/index.php/</a>	Educativa	Contenidos de divulgación
Portugal	Rede de Nanotecnologia de Portugal-PortugalNano	<a href="http://www.portugalnano.net/">http://www.portugalnano.net/</a>	Académica	Contenidos de divulgación
Varios países	Red RELANS (Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad)	<a href="http://www.estudiosdel desarrollo.net/relans">www.estudiosdel desarrollo.net/relans</a>	Académica y educativa	Contenidos de divulgación, contenidos formativos a nivel universitario
Varios Países	Nanoandes	<a href="http://nanoandes.org/">http://nanoandes.org/</a>	Académica	Contenidos formativos a nivel universitario
Venezuela	Red Venezolana de Nanotecnología	<a href="http://www.rednano.org">http://www.rednano.org</a>	Académica	Contenidos de divulgación, contenidos formativos a nivel universitario y contenidos de formación a nivel primaria o secundaria en proceso de diseño
Venezuela	RedNano.EstUla	<a href="http://es-es.facebook.com/people/Rednano-Estudiantes-Ula/100001868699059">http://es-es.facebook.com/people/Rednano-Estudiantes-Ula/100001868699059</a>	Académica	Contenidos de divulgación

**Tabla III.** Identificación de las iniciativas dedicadas a formación en nanociencia y nanotecnología

<b>Pais</b>	<b>Nombre del curso</b>	<b>Entidades promotoras (universidad, centro de I+D, colegio profesional, asociacion, empresa)</b>	<b>Tipo de curso (dirigido a estudiantes de primaria o secundaria, dirigido a profesores de primaria o secundaria, de formación académica, dirigido a formación laboral)</b>	<b>Titulación alcanzada (licenciado, grado, maestría, doctorado, certificado)</b>	<b>Dirección WEB con información sobre el curso o la universidad o centro</b>
Argentina	Nanotecnología: los grandes avances ahora vienen en frasco chico	Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata	Conferencias informativas dirigidas a la comunidad educativa de nivel medio	Ninguna	
Argentina	Plan de Formación de Recursos Humanos (PRH) del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología	Universidad Nacional de La Plata- Universidad de Buenos Aires- Universidad Nacional de Cuyo-CONICET-ANPCyT	Posgrado	Doctorado	<a href="http://www.agencia.gov.ar/IMG/pdf/PRH-PRAMIN_Anexo_I_Proyectos_Aprobados.pdf">http://www.agencia.gov.ar/IMG/pdf/PRH-PRAMIN_Anexo_I_Proyectos_Aprobados.pdf</a>
Argentina	Nanomateriales y nanotecnología	Facultad de Ingeniería-UNLP	Grado-optativa	Ingeniero	<a href="http://www.ing.unlp.edu.ar/analiticos/M0680.pdf">http://www.ing.unlp.edu.ar/analiticos/M0680.pdf</a>
Argentina	Nanomateriales	Facultad de Ciencias Exactas UBA	Grado y posgrado	Certificado	<a href="http://www.fan.org.ar/documentos/Curso_VerNano2010.pdf">http://www.fan.org.ar/documentos/Curso_VerNano2010.pdf</a>
Argentina	Nanofísica: física en la nanoescala	Facultad de Ciencias Exactas-UNLP	Grado-optativa	Licenciado	<a href="http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/codigos_de_las_asignaturas.pdf">http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/codigos_de_las_asignaturas.pdf</a> , <a href="http://www.fan.org.ar/documentos/Nanofisica_2009.pdf">http://www.fan.org.ar/documentos/Nanofisica_2009.pdf</a>
Argentina	Aplicaciones actuales de la micro y la nanotecnología: tecnología e industria para la Defensa	Escuela Superior Técnica	Formación profesional	Certificado	<a href="http://www.afcea.org.ar/cursos/curso2_10.htm">http://www.afcea.org.ar/cursos/curso2_10.htm</a>
Argentina-Brasil	Escuelas del Centro-Argentino Brasileiro de Nanociencia y Nanotecnología (30 escuelas a la fecha)	MINCyT (Argentina)-MCT (Brasil)	Postgrado	Certificado	<a href="http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/56903.html">http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/56903.html</a> , <a href="http://cabnn.mincyt.gov.ar/">http://cabnn.mincyt.gov.ar/</a>
Brasil	Engenharia em nanotecnologia	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC - Rio)	Formação acadêmica	Engenheiro	<a href="http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccg/eng_nanotecnologia.html">http://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccg/eng_nanotecnologia.html</a>
Brasil	Nanotecnologia	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	Formação acadêmica	Licenciado	<a href="http://www.nano.ufrj.br/graduacao.html">http://www.nano.ufrj.br/graduacao.html</a>
Brasil	Mestrado em nanociências	Centro Universitário Franciscano (Unifra)	Formação acadêmica	Mestrado	<a href="http://sites.unifra.br/nano">http://sites.unifra.br/nano</a>
Chile	Cursos P. de masters y doctorados	Universidad de Chile	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.udechile.cl">www.udechile.cl</a>
Chile	Cursos P. de masters y doctorados	Universidad Católica	Formación académica	Magister y doctorados	<a href="http://www.puc.cl">www.puc.cl</a>
Chile	Cursos P. de masters y doctorados	Universidad de Concepción	Formación académica	Magister y doctorados	<a href="http://www.udec.cl">www.udec.cl</a>
Chile	Cursos P. de masters y doctorados	Universidad Católica Valparaíso	Formación académica	Magister y doctorados	<a href="http://www.ucv.cl">www.ucv.cl</a>
Chile	Cursos P. de masters y doctorados	Universidad Técnica F. Sta María	Formación académica	Magister y doctorados	<a href="http://www.usm.cl">www.usm.cl</a>

País	Nombre del curso	Entidades promotoras (universidad, centro de I+D, colegio profesional, asociación, empresa)	Tipo de curso (dirigido a estudiantes de primaria o secundaria, dirigido a profesores de primaria o secundaria, de formación académica, dirigido a formación laboral)	Titulación alcanzada (licenciado, grado, maestría, doctorado, certificado)	Dirección WEB con información sobre el curso o la universidad o centro
Chile	Cursos P. de magisters y doctorados	Universidad de Santiago de Chile	Formación académica	Magister y Doctorados	<a href="http://www.usach.cl">www.usach.cl</a>
Chile	Cursos P. de magisters y doctorados	Universidad Austral de Chile	Formación académica	Magister y Doctorados	<a href="http://www.uach.cl">www.uach.cl</a>
Chile	Cursos P. magisters	Universidad Católica del Norte	Formación académica	Magister	<a href="http://www.ucn.cl">www.ucn.cl</a>
Chile	Cursos P. de doctorado en ciencias M/Química	Universidad de Valparaíso	Formación académica	Doctorado	<a href="http://www.uvalpo.cl">www.uvalpo.cl</a>
Chile	Curso P. de doctorado en química	Universidad de Antofagasta	Formación académica	Doctorado	<a href="http://www.ua.cl">www.ua.cl</a>
Chile	Curso P. de magister en Cs físicas. Curso P. de doctorado en química	Universidad la Serena	Formación académica	Magister y doctorado	<a href="http://www.uls.cl">www.uls.cl</a>
Chile	Cursos P. magister Cs Ing.M/biotecnología. Cursos P. doctorado en Cs.M/biología Cel. y molecular	Universidad de la Frontera	Formación académica	Magister y doctorado	<a href="http://www.ufro.cl">www.ufro.cl</a>
Chile	Cursos P. doctorado en Cs.M/I+D de productos bioactivos, ciencias aplicadas	Universidad de Talca	Formación académica	Doctorado	<a href="http://www.utalca.cl">www.utalca.cl</a>
Chile	Cursos P. magister Cs.M/física. Cursos P. Doctorado en química	Universidad de Tarapacá	Formación académica	Magister y doctorado	<a href="http://www.uta.cl">www.uta.cl</a>
Chile	Tercera Escuela de Nanoestructuras (2010)	USM	Estudiantes de posgrado	Diploma	<a href="http://www.usm.cl">www.usm.cl</a>
Chile	Talleres de Articulación (2005)	Conicyt, PB	Público, empresarial	Diploma	<a href="http://www.conicyt.cl">www.conicyt.cl</a>
Chile	Escuela Magnetismo	USM	Público, académico	Diploma	<a href="http://www.usm.cl">www.usm.cl</a>
Chile	Escuela Magnetismo y Escuela ProNano	CEDENNA	Estudiantes universitarios	Diploma	<a href="http://www.cedenna.cl">www.cedenna.cl</a>
Cuba	Maestría y doctorado en ciencia de materiales	Universidad de La Habana	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.imre.oc.uh.cu">http://www.imre.oc.uh.cu</a>
Cuba	Maestría y doctorado en ciencias físicas	Universidad de La Habana	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.fisica.uh.cu">http://www.fisica.uh.cu</a>
Cuba	Maestría y doctorado en ciencias químicas	Universidad de La Habana.	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.fq.uh.cu">http://www.fq.uh.cu</a>
Cuba	Maestría y doctorado en biología molecular	Universidad de La Habana.	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.fbio.uh.cu">http://www.fbio.uh.cu</a>
Cuba	Maestría y doctorado en electrónica	Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.	Formación académica	Maestría y doctorado	<a href="http://www.imre.oc.uh.cu">http://www.imre.oc.uh.cu</a>
España	Doctorado en física de la materia condensada y nanotecnología	Universidad Autónoma de Madrid	Formación académica	Curso de doctorado presencial	<a href="http://www.uam.es">http://www.uam.es</a> , <a href="http://www.emagister.com/uam-universidad-autonoma-madrid-cursos-49923-centrodetalles.htm">http://www.emagister.com/uam-universidad-autonoma-madrid-cursos-49923-centrodetalles.htm</a>

País	Nombre del curso	Entidades promotoras (universidad, centro de I+D, colegio profesional, asociación, empresa)	Tipo de curso (dirigido a estudiantes de primaria o secundaria, dirigido a profesores de primaria o secundaria, de formación académica, dirigido a formación laboral)	Titulación alcanzada (licenciado, grado, maestría, doctorado, certificado)	Dirección WEB con información sobre el curso o la universidad o centro
España	Master en nanotecnología	ALITER	Formación académica	Master	<a href="http://www.emagister.com/aliter-cursos-8443-centrodetalles.htm">http://www.emagister.com/aliter-cursos-8443-centrodetalles.htm</a> , <a href="http://www.aliter.org/documentos/programa_masterennanotecnologia.pdf">http://www.aliter.org/documentos/programa_masterennanotecnologia.pdf</a>
España	Física de la materia condensada y nanotecnología	Universidad Autónoma de Madrid	Formación académica	Master	<a href="http://www.uam.es">http://www.uam.es</a> ; <a href="http://www.emagister.com/uam-facultad-ciencias-cursos-59972-centrodetalles.htm">http://www.emagister.com/uam-facultad-ciencias-cursos-59972-centrodetalles.htm</a>
España	Master en nanociencia y nanotecnología molecular	Varias universidades: Universitat de València (UVEG), Universidad Autónoma de Madrid (UAM), Universitat Jaume I (UJI), Universidad de Valladolid (UVA), Universitat d'Alacant (UA), Universidad de La Laguna (ULL)	Formación académica	Master	<a href="http://www.dfa.ua.es/es/master/">http://www.dfa.ua.es/es/master/</a>
España	master en nanociencia y nanotecnología	Varias universidades: Universidad Rovira i Virgili, Universidad de Barcelona, Universidad de Gerona, Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ), Instituto de Ciencia de los Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC), Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM-CSIC), Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC)	Formación académica	Master	<a href="http://www.ub.edu/nanotec/">http://www.ub.edu/nanotec/</a>
España	Nanociencia y Nanotecnología	Universidad Autónoma de Barcelona	Formación académica	Grado	<a href="http://www.uab.es/servlet/Satellite/los-nuevos-grados/nanociencia-y-nanotecnologia-1265010840866.html">http://www.uab.es/servlet/Satellite/los-nuevos-grados/nanociencia-y-nanotecnologia-1265010840866.html</a>
México	licenciatura en nanotecnología e ingeniería molecular	Universidad de las Américas, Puebla	Dirigido a formación laboral	Licenciado	<a href="http://www.udlap.mx">www.udlap.mx</a>
México	ingeniería en nanotecnología	Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo	Dirigido a formación laboral	Licenciado	<a href="http://www.ucionegam.edu.mx/academia/mmunoz/">http://www.ucionegam.edu.mx/academia/mmunoz/</a>
México	ingeniería en nanotecnología	Instituto Tecnológico de Tijuana	Dirigido a formación laboral	Licenciado	<a href="http://cqiq.tectijuana.mx/pages/nanoTecnologia.html">http://cqiq.tectijuana.mx/pages/nanoTecnologia.html</a>
México	ingeniería en nanotecnología	Universidad Autónoma de Baja California	Dirigido a formación laboral	Ingeniero	<a href="http://www.uabc.mx">www.uabc.mx</a>

<b>País</b>	<b>Nombre del curso</b>	<b>Entidades promotoras (universidad, centro de I+D, colegio profesional, asociación, empresa)</b>	<b>Tipo de curso (dirigido a estudiantes de primaria o secundaria, dirigido a profesores de primaria o secundaria, de formación académica, dirigido a formación laboral)</b>	<b>Titulación alcanzada (licenciado, grado, maestría, doctorado, certificado)</b>	<b>Dirección WEB con información sobre el curso o la universidad o centro</b>
México	Licenciatura en nanotecnología	UNAM	Dirigido a formación laboral	Licenciado	www.cnyn.unam.mx
México	Ingeniería en nanotecnología	Universidad Politécnica del Valle de México	Dirigido a formación laboral	Ingeniero	<a href="http://www.upvm.edu.mx/nanotecnologia.htm">http://www.upvm.edu.mx/nanotecnologia.htm</a>
México	Ingeniería en nanotecnología	Universidad Autónoma de Querétaro	Dirigido a formación laboral	Ingeniero	<a href="http://www.uaq.mx/ofertaeducativa/sacad/nanotecnologia.html">http://www.uaq.mx/ofertaeducativa/sacad/nanotecnologia.html</a>
Perú	Fundamentos de nanotecnología	Universidad Nacional de Ingeniería	De formación académica	Maestría	<a href="http://fc.uni.edu.pe/postgrado/portal/index.php">http://fc.uni.edu.pe/postgrado/portal/index.php</a>
Portugal	Mestrado em micro e nano tecnologias	Escola de Engenharia, Universidade do Minho	Formação Académica	Mestrado-C2 Bolonha	<a href="http://www.uminho.pt/estudar/oferta-educativa/cursos/mestrados">http://www.uminho.pt/estudar/oferta-educativa/cursos/mestrados</a>
Portugal	Mestrado em biofísica e bionanossistemas	Escola de Ciências, Universidade do Minho	Formação Académica	Mestrado-C2 Bolonha	<a href="http://www.uminho.pt/estudar/oferta-educativa/cursos/mestrados">http://www.uminho.pt/estudar/oferta-educativa/cursos/mestrados</a>
Portugal	Mestrado em engenharia microelectrónica e nanotecnologias	Departamento de Ciência dos Materiais, Universidade Nova de Lisboa	Formação Académica	Mestrado-C2 Bolonha	<a href="http://www.dcm.fct.unl.pt/ensino/mestrados/">http://www.dcm.fct.unl.pt/ensino/mestrados/</a>
Portugal	Doutoramento em nanotecnologias e nanociências	Universidade Nova de Lisboa	Formação académica	Doutoramento – C3 Bolonha	<a href="http://www.fct.unl.pt/ensino/3%C2%BA-ciclo-doutoramentos">http://www.fct.unl.pt/ensino/3%C2%BA-ciclo-doutoramentos</a>
Portugal	Programa doutoral em nanociências e nanotecnologia	Universidade de Aveiro	Formação académica	Doutoramento – C3 Bolonha	<a href="http://www.ua.pt/Pagetext.aspx?id=10350">http://www.ua.pt/Pagetext.aspx?id=10350</a>
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. Simón Bolívar, USB	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc, PhD.	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. Central de Venezuela (UCV)	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc, PhD.	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)	Posgrado	MgSc, PhD.	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. Los Andes, ULA	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc, PhD.	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. Carabobo	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc,	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. del Zulia, LUZ	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc,	
Venezuela	Varios de nanofísica, nanoquímica y nanoingeniería	UNEXPO	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc,	
Venezuela	Varios de nanofísica y nanoquímica	Univ. de Oriente, UDO	Pregrado y posgrado	Lic., MgSc, PhD.	

TABLA IV. Libros o informes dedicados a la nanociencia y la nanotecnología editados entre 2000 y 2011

País	Título del libro	Autores	Editorial	Año	Tópico	Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora
Argentina	<i>Quién es quién en nanotecnología en la Argentina</i> (dos ediciones).	Varios autores	Fundación Argentina de Nanotecnología	2010	Divulgación a nivel básico	<a href="http://www.fan.org.ar">http://www.fan.org.ar</a>
Argentina	<i>Nanotecnología el desafío del siglo XXI</i>	Galo Soler Illia	Eudeba	2009	Divulgación a nivel académico	<a href="http://www.uba.ar/eudeba/detalle_catalogo.php?id=8373">http://www.uba.ar/eudeba/detalle_catalogo.php?id=8373</a>
Argentina	<i>Nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias</i>	Varios autores	Organización de Estados Iberoamericanos	2009	Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55">http://www.oei.es/cienciayuniversidad/spip.php?article55</a>
Argentina	<i>Nanotecnología: tendencias recientes en investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D): Argentina en el contexto internacional</i>	Varios autores	CAICYT-CONICET	2008	Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://www.opcyt.setcip.gov.ar/">http://www.opcyt.setcip.gov.ar/</a>
Brasil	<i>Aplicações da física quântica do transistor à nanotecnologia</i>	Alaor S. Chaves, Eduardo C. Valadares, Esdras G. Alves	Editora Livraria da Física	2005	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.livrariadafisica.com.br/detalhe_produto.aspx?id=24977">http://www.livrariadafisica.com.br/detalhe_produto.aspx?id=24977</a>
Brasil	<i>Nanotecnologia: Os Riscos da Tecnologia do Futuro</i>	Grupo ETC	Editora L&PM Editores	2005	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://www.lpm.com.br/site/default.asp?Template=../livros/layout_produto.asp&amp;CategoriaID=723626&amp;ID=838111">http://www.lpm.com.br/site/default.asp?Template=../livros/layout_produto.asp&amp;CategoriaID=723626&amp;ID=838111</a>
Brasil	<i>Nanotecnologia - introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação</i>	Luiz Henrique Capparelli Mattoso	ARTLIBER Editora	2006	Libro de texto académico	<a href="http://www.artliber.com.br/detalhe_produto.asp?produtold=8">http://www.artliber.com.br/detalhe_produto.asp?produtold=8</a>
Brasil	<i>Nanocarbon: a maior fonte de energia do planeta nas mãos de um monopólio implacável</i>	Alaor Chaves	Editora LTC	2007	Divulgación nivel básico (Ficção Científica)	<a href="http://www.grupogen.com.br/ch/bus/0/0/nome/crescente/20/1/nanocarbon.aspx">http://www.grupogen.com.br/ch/bus/0/0/nome/crescente/20/1/nanocarbon.aspx</a>
Brasil	<i>A encruzilhada da nanotecnologia</i>	Peter Schulz	Vieira & Lent casa editorial	2009	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.vieiralent.com.br/nano.htm">http://www.vieiralent.com.br/nano.htm</a>
Brasil	<i>Mundo Nanométrico, O: A Dimensão do Novo Século</i>	Henrique E. Toma	Oficina de Textos	2009	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.ofitexto.com.br/produto/mundo-nanometrico-o-a-dimensao-do-novo-seculo.html">http://www.ofitexto.com.br/produto/mundo-nanometrico-o-a-dimensao-do-novo-seculo.html</a>
Brasil	<i>Nanotecnologia para o Mercosul</i>	UNESCO/Brasil	Brasília: UNESCO, MBC, RECYT/MERCOSUL, CNPq	2010	Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001899/189921por.pdf">http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001899/189921por.pdf</a>
Brasil	<i>Nano</i>	Rogério Marchi	Editora Multifoco	2010	Divulgación nivel básico (Ficção Científica)	<a href="http://www.editoramultifoco.com.br/literatura-loja-detalhe.php?idLivro=&amp;idProduto=263">http://www.editoramultifoco.com.br/literatura-loja-detalhe.php?idLivro=&amp;idProduto=263</a>
Chile	<i>Centro para el desarrollo de la NC y NT</i>	Varios autores	Cedenna/USACH	2009	Investigacion/Formacion/Divulgacion	<a href="http://www.cedenna.cl">www.cedenna.cl</a>

País	Título del libro	Autores	Editorial	Año	Tópico	Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora
Chile	<i>Vigilancia tecnológica aplicada a la nanotecnología en países de LA</i>	P.Vargas, I.Ortiz, V. Rojas	Elsevier(J.of Tech. and Innovation)	2006	Divulgación académica	www.elsevier.nl
Colombia	<i>La nanotecnología y el derecho. Análisis Jurídico de un mundo infinitesimal</i>	Diego Martín Buitrago Botero			Ponencia realizada en el marco de la «I Convención Internacional de Informática Jurídica, Documentación y Documento Electrónico», en la Universidad Externado de Colombia los días 18 al 20 de oct. 2006, en representación de la Fundación Universitaria Luis amígo.	<a href="http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La_nanotecnologia_y_el_">http://www.informatica-juridica.com/trabajos/La_nanotecnologia_y_el_</a>
Colombia	<i>Nanotecnociencia, nociones preliminares sobre el universo nanoscópico</i>	Jose Jairo Giraldo Gallo	Ed. Buinaima	2007		<a href="http://www.funlaci.org/">http://www.funlaci.org/</a>
Colombia	<i>Aplicación de nanotecnología en la industria textil colombiana</i>	Helena Cecilia Manrique Correa		2009	Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://www.revistavirtualpro.com/files/TI01_200908.pdf">http://www.revistavirtualpro.com/files/TI01_200908.pdf</a>
Colombia	<i>Nanotecnología en el diagnóstico y tratamiento médico</i>	Dianney Clavijo Grimald, Régory Alfonso García, Ciro Alfonso Casadiego	Universitas-Universidad Javeriana		Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://med.javeriana.edu.co/publi/vniversitas/serial/v49_v49n3/6.%20Nanotecnologia.pdf">http://med.javeriana.edu.co/publi/vniversitas/serial/v49_v49n3/6.%20Nanotecnologia.pdf</a>
Colombia	<i>Ejercicio de vigilancia tecnológica: nanotecnología en el sector del calzado</i>	Diego Gutiérrez	CEINNOVA		Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://www.ceinnova.org.co/medios/inf_tec/106_2_Nanotecnologia%20en%20Plantilla.pdf">http://www.ceinnova.org.co/medios/inf_tec/106_2_Nanotecnologia%20en%20Plantilla.pdf</a>
Colombia	<i>Materiales avanzados y nanotecnología: direccionamiento estratégico para el centro de excelencia en nuevos materiales - CENM</i>	G. Cabrera et al.	CENM	2009	Prospectiva científica y tecnológica	<a href="http://www.cenm.org/documents/DOC_DEFINITIVO.pdf">http://www.cenm.org/documents/DOC_DEFINITIVO.pdf</a>
Cuba	<i>Elementos iniciales para el análisis de la nanotecnología en Cuba</i>	Colectivo de autores		2002	Prospectiva científica y tecnológica	Edición con distribución limitada
Cuba	<i>Nanomateriales</i>	Osmara Ortiz y Silvia Rodríguez		2006	Prospectiva Científica y Tecnológica	Edición con distribución limitada

País	Título del libro	Autores	Editorial	Año	Tópico	Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora
España	<i>Monográfico sobre nanotecnología de la Revista Encuentros Multidisciplinares. N° 12 (septiembre-diciembre 2002) (en prensa). ISSN: 1139-9325.</i>	Varios Autores	Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid.	2002	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.encuentros-multidisciplinares.org/">http://www.encuentros-multidisciplinares.org/</a>
España	<i>Nanoestructuras semiconductoras. Fundamentos y aplicaciones</i>	J. Tutor, H. Rodríguez, G. Armelles	Doppel S.L. y CYTED	2003	Libro de texto académico	No disponible
España	<i>Nanotecnología en España. Libro nº 21 de la Colección Madri+d</i>	Varios autores. Coordinado por H. Guerrero.	Círculo de Innovación en Microsistemas y Nanotecnología y la Fundación para el Conocimiento Madri+d	2005	Nivel académico. Política científica	<a href="http://t3innovacion.larioja.org/uploads/media/MadridNanotecnologia.pdf">http://t3innovacion.larioja.org/uploads/media/MadridNanotecnologia.pdf</a>
España	<i>Estudio de las actividades y necesidades en el área de las nanociencias/ naotecnologías, para: 1. La mejora de la formación de técnicos, y 2. El establecimiento de un mapa de infraestructuras durante el periodo 2005-2010 en España</i>	A. Correia, J.L. Roldán, y P.A. Serena	FECYT y Fundación Phantoms	2005	Política científica	<a href="http://www.phantomsnet.net">www.phantomsnet.net</a>
España	<i>Nanotecnología Hoja Informativa (sólo imprimió 4 números, uno al año durante el periodo 2005-2008)</i>	Coordinada por José maría Alameda y Dirigida por Orlando Carreño	Nanotecnología Mundo y Universidad de Oviedo	2005-2008	Divulgación nivel académico	<a href="http://nanotecnologiahojainformativa.es/">http://nanotecnologiahojainformativa.es/</a>
España	<i>Monográfico de Nanotecnología de la revista Madri+d (números 34 y 35)</i>	Varios Autores	Fundación para el Conocimiento Madri+d	2006	Política científica, prospectiva y divulgación nivel académico	<a href="http://www.madrimasd.org/revista/revista34/sumario.asp">http://www.madrimasd.org/revista/revista34/sumario.asp</a> , <a href="http://www.madrimasd.org/revista/revista35/sumario.asp">http://www.madrimasd.org/revista/revista35/sumario.asp</a>
España	<i>Convergencia NBIC 2005. El desafío de la Convergencia de las Nuevas Tecnologías (Nano-Bio-Info-Cogno)</i>	Varios autores	Fundación Escuela de Organización Industrial. ISBN 84-88723-67-9. D. Legal M.7.429-2006	2006	Prospectiva, gobernanza, política científica	
España	<i>Nanotecnología: la revolución industrial del siglo XXI</i>	Varios autores	Fundación para la Innovación Bankinter	2006	Divulgación nivel académico. Política científica	<a href="http://www.fundacionbankinter.org/system/documents/6017/original/5_Nanotecnologia_ES.pdf">http://www.fundacionbankinter.org/system/documents/6017/original/5_Nanotecnologia_ES.pdf</a>
España	<i>Informe de vigilancia tecnológica en nanomedicina</i>	Varios autores	Fundación Madri+d para el Conocimiento (Comunidad de Madrid)	2006	Vigilancia tecnológica. Prospectiva	<a href="http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt5_nanomedicina.pdf">http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt5_nanomedicina.pdf</a>

País	Título del libro	Autores	Editorial	Año	Tópico	Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora
España	<i>Informe de vigilancia tecnológica Madri+d "Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbono"</i>	Varios autores	Fundación Madri+d para el Conocimiento y CEIM, Madrid	2007	Política científica. Divulgación nivel académico. Prospectiva tecnológica	<a href="http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/Vigilancia-tecnologica/default.asp">http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/Vigilancia-tecnologica/default.asp</a>
España	<i>Aplicaciones industriales de la nanotecnología</i>	Varios autores	Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA) y Fundación ITMA	2007	Política científica. Divulgación nivel académico. Prospectiva tecnológica	<a href="http://www.idepa.es/sites/web/Europal_D_i/Repositorios/galeria_descargas_Europal_D_i/folleto_aplicaciones_industriales_nanotecnologia.pdf">http://www.idepa.es/sites/web/Europal_D_i/Repositorios/galeria_descargas_Europal_D_i/folleto_aplicaciones_industriales_nanotecnologia.pdf</a>
España	<i>La salud y la revolución de la convergencia de las nuevas tecnologías NBIC</i>	Emilio Fontela y Juan A. de Castro	Fundación EOI	2007	Divulgación nivel académico, prospectiva tecnológica	<a href="http://www.eoi.es">http://www.eoi.es</a>
España	<i>Nanociencia y nanotecnología en España: un análisis de la situación presente y de las perspectivas de futuro</i>	Varios autores	Fundación Phantoms	2008	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.phantomsnet.net">www.phantomsnet.net</a>
España	<i>Unidad didáctica nanociencia y nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro</i>	J.A. Martín-Gago, E., Casero, C. Briones, y P.A. Serena	Fundación Española de Ciencia y tecnología (FECYT)	2008	Divulgación nivel básico, formación de profesorado	Este libro está disponible gratuitamente en: <a href="http://www.fecyt.es">http://www.fecyt.es</a>
España	<i>Aplicaciones industriales de las nanotecnologías en España en el horizonte 2020.</i>	Varios autores	Fundación OPTI	2008	Prospectiva tecnológica	Dicho libro puede descargarse gratuitamente desde <a href="http://www.opti.org">http://www.opti.org</a>
España	<i>La era del camaleón. Los desafíos de la nanotecnología del carbono</i>	María Teresa de los Arcos	Editorial Síntesis (Madrid)	2008	Divulgación nivel básico	
España	<i>Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI</i>	Carmen Mijangos y J. S. Moya (coord.)	CSIC	2008	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.csic.es/web/guest/coleccion-divulgacion">http://www.csic.es/web/guest/coleccion-divulgacion</a>
España	<i>Mapa de la nanotecnología en Asturias</i>	A.Argüelles y D. Poza	Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA)	2008	Política científica. Prospectiva tecnológica	<a href="http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/INFORME_NANOTECNOLOGIA.pdf">http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/INFORME_NANOTECNOLOGIA.pdf</a>
España	<i>Catálogo de oferta tecnológica y servicios técnicos y programas de I+D en nuevos materiales y nanotecnología</i>	Varios autores	Fundación Madri+d para el Conocimiento (Comunidad de Madrid)	2008	Política científica	<a href="http://www.madrimasd.org/informacionidi/agenda/foros-mimasd/2008/documentos/nuevos-materiales/catalogo_nuevos_materiales_nanotecnologia.pdf">http://www.madrimasd.org/informacionidi/agenda/foros-mimasd/2008/documentos/nuevos-materiales/catalogo_nuevos_materiales_nanotecnologia.pdf</a>

<b>País</b>	<b>Título del libro</b>	<b>Autores</b>	<b>Editorial</b>	<b>Año</b>	<b>Tópico</b>	<b>Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora</b>
España	<i>Nanowiki anual de operaciones 1.0</i>	Josep Saldaña y Victor Punes	E-book editado por NanoWIKI, Institut Catala de Nanotecnologia y Red Nanoaracat	2008	Divulgación nivel académico, Guía para uso de sistema "nanowiki"	<a href="http://nanowiki.info">http://nanowiki.info</a>
España	<i>Boletín de nanotecnología</i> (Números 1-17)	Varios Autores	Fundación Madri+d para el Conocimiento (Comunidad de Madrid)	2008-2009	Vigilancia tecnológica. Política científica	<a href="http://www.madrimasd.org/cimtan/BoletinesVT/Nanotecnologia/default.aspx">http://www.madrimasd.org/cimtan/BoletinesVT/Nanotecnologia/default.aspx</a>
España	<i>Nanotechnology: Balancing the promises</i>	Josep Saldaña y Victor Punes	E-book editado por NanoWIKI, Institut Catala de Nanotecnologia y Red Nanoaracat	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://nanowiki.info">http://nanowiki.info</a>
España	<i>Transformando el mundo con la nanotecnología. Monográfico de nanotecnología. Revista Método, número 65, 51-57 (2010).</i>	Varios autores	Universidad de Valencia	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.metode.cat//index.php?option=com_content&amp;task=section&amp;id=59&amp;Itemid=95">http://www.metode.cat//index.php?option=com_content&amp;task=section&amp;id=59&amp;Itemid=95</a>
España	<i>Una revolución en miniatura</i>	Amador Menéndez	Ediciones de la Universidad de Valencia	2010	Divulgación nivel básico	
España	<i>¿Qué sabemos de la nanotecnología?</i>	Pedro A. Serena	Ediciones La Catarata y CSIC	2010	Divulgación nivel básico	
España	<i>Informe sobre la situación de la nanotecnología en la comunidad valenciana</i>	Varios autores	Comunidad Valenciana	2010	Política científica	<a href="http://www.cierval.es/pdfs/nanotecnologia.pdf">www.cierval.es/pdfs/nanotecnologia.pdf</a>
España	Monografía "Revolución nanotecnológica"	Varios autores	Nature Pub. Group Iberoamérica y Fundación Ramón Areces	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://sgfm.elcorteingles.es/SGFM/FRA/recursos/doc/Monografias/340816_842010132041.pdf">http://sgfm.elcorteingles.es/SGFM/FRA/recursos/doc/Monografias/340816_842010132041.pdf</a>
España	<i>Claves para el nanomundo</i>	André Yves Protnoff	COTEC	2011	Divulgación nivel básico	<a href="http://sie.fer.es/esp/Servicios/Innovacion_Tecnologia/Documentos_IDI/Informe_COTEC_-_Oportunidades_tecnologicas_nanotecnologia_/webFile_14797.htm">http://sie.fer.es/esp/Servicios/Innovacion_Tecnologia/Documentos_IDI/Informe_COTEC_-_Oportunidades_tecnologicas_nanotecnologia_/webFile_14797.htm</a>
España	<i>Unidad didáctica de nanotecnología: ¿cómo será la vida dentro de 25 años?</i>	Varios autores	Asesoría de Ciencias de la Naturaleza del Depto. de Educación, Universidades e Investigación del Gob. Vasco	2011	Divulgación nivel básicos, formación profesorado	Sin publicar, sin web
México	<i>Diagnóstico y prospectiva de la nanotecnología en México</i>	CIMAV	Secretaría de Economía	2008	Política científica	<a href="http://www.nanored.org.mx">www.nanored.org.mx</a>

País	Título del libro	Autores	Editorial	Año	Tópico	Dirección WEB con información sobre el libro, la editorial o empresa distribuidora
México	<i>Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología</i>	Gian Carlo Delgado Ramos	CEIICH-UNAM	2008	Impacto social, riesgos y gobernanza	www.ceiich.unam.mx
México	<i>Nanociencia y nanotecnología</i>	Noboru Takeuchi	Fondo de Cultura Económica/UNAM	2009	Divulgación nivel básico	http://www.fondodeculturaeconomica.com
México	<i>Abecedario de la nanoenciclopedia</i>	Boris Idulsovich Kharisov y Oxana V. Kharissova	Universidad Autónoma de Nuevo León	2010	Divulgación a nivel académico	www.uanl.edu.mx
México	<i>El sorprendente e increíble nano-mundo</i>	Noboru Takeuchi y Marisol Romo	UNAM/Editorial Resistencia/ Fondo Editorial Azteca	2010	Divulgación niños	www.editorialresistencia.com.mx
México	<i>Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México</i>	Noboru Takeuchi	CEIICH/CNyN, UNAM	2011	Estado del arte en México	www.ceiich.unam.mx
México	<i>Nanomedicina. Entre políticas públicas y necesidades privadas</i>	Gian Carlo Delgado Ramos, Simone Arnaldi y Mariassunta	CEIICH, UNAM / CIGA, Universidad de Padua.	2011	Aspectos éticos y sociales de la nanomedicina	www.ceiich.unam.mx
Perú	<i>Recubrimientos delgados obtenidos por procedimientos físico-químicos</i>	W. Estrada, J. Solis, J. Rodríguez	UNI	2009	Divulgación nivel académico	
Perú	<i>Informe científico tecnológico</i>	Varios	IPEN	2009	Divulgación nivel básico	http://www.ipen.gob.pe
Perú	<i>Informe científico tecnológico</i>	Varios	IPEN	2008	Divulgación nivel básico	http://www.ipen.gob.pe
Perú	<i>Informe científico tecnológico</i>	Varios	IPEN	2007	Divulgación nivel básico	http://www.ipen.gob.pe
Perú	<i>Informe científico tecnológico</i>	Varios	IPEN	2006	Divulgación nivel básico	http://www.ipen.gob.pe
Perú	<i>Informe científico tecnológico</i>	Varios	IPEN	2005	Divulgación nivel básico	http://www.ipen.gob.pe
Perú	<i>Hidrogeles de A-PVP conteniendo nanopartículas de plata obtenidas por radiación gamma</i>	J. Cabrera Sotelo	ANR	2010	Divulgación nivel académico	
Perú	<i>Bases de la nanotecnología</i>	Tyrone Adams	USMP	2010	Divulgación nivel básico	
Perú	<i>La producción científica en San Marcos. Hechos, cifras y estándares internacionales 2002-2010</i>	V. Peña, P. Rivera, P. Shultz	UNMSM	2011	Política científica	http://edicionesviceacademico.blogspot.com/
Venezuela	<i>Estudio prospectivo de nanomateriales en Venezuela</i>	Fundación Instituto de Ingeniería	MCTI	2008	Prospectiva científica y tecnológica	

**TABLA V. Artículos publicados en periódicos o revistas dedicados a nanociencia y nanotecnología (editados entre 2000 y 2011)**

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Argentina	Crece en La Plata el desarrollo de una ciencia revolucionaria		<i>Diario El Día</i>			2005		<a href="http://www.conicet.gov.ar/diarios/2005/noviembre/149.php">http://www.conicet.gov.ar/diarios/2005/noviembre/149.php</a>
España	Mundo Nano		<i>El Mercurio Digital</i>			2007		<a href="http://elmercuriodigital.es/content/view/170/58/">http://elmercuriodigital.es/content/view/170/58/</a>
Argentina	Nanociencia y nanotecnología en Argentina						Entrevista periodística	<a href="http://www.tvaldia.com/videos/070918allianzforum-Salvareza.html">http://www.tvaldia.com/videos/070918allianzforum-Salvareza.html</a>
Argentina	Riesgos y beneficios según la mirada de un especialista de la UNLP		<i>Diario El Día</i>			2007		<a href="http://www.eldia.com.ar/edis/20070527/informaciongeneral24.htm">http://www.eldia.com.ar/edis/20070527/informaciongeneral24.htm</a>
Argentina	Un viaje al futuro		<i>Revista Noticias</i> Edición para Bibliotecas			2007		<a href="http://www.revista-noticias.com.ar/comun/nota.php?art=865&amp;ed=1610">http://www.revista-noticias.com.ar/comun/nota.php?art=865&amp;ed=1610</a>
Argentina	El crecimiento de la nanotecnología en la Argentina		<i>Cronista Comercial</i>			2008	Entrevista periodística	<a href="http://www.cronista.com/notas/124845-El-crecimiento-de-la-nanotecnolog%C3%ADa-en-la-Argentina">http://www.cronista.com/notas/124845-El-crecimiento-de-la-nanotecnolog%C3%ADa-en-la-Argentina</a>
Argentina	La UNLP y la nanotecnología		<i>Diario El Día - Diario Hoy</i>			2009		<a href="http://www.eldia.com.ar/EDIS/20090330/EDUCACION12.HTM">http://www.eldia.com.ar/EDIS/20090330/EDUCACION12.HTM</a>
Argentina	Pichones de nanotecnólogos		<i>Diario La Nación</i>			2009	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/1159110-pichones-de-nanotecnologos">http://www.lanacion.com.ar/1159110-pichones-de-nanotecnologos</a>
Argentina	Hacia dónde evolucionamos		<i>Diario La Nación</i>			2007	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/968060-hacia-donde-evolucionamos">http://www.lanacion.com.ar/968060-hacia-donde-evolucionamos</a>
Argentina	Nace un centro virtual de nanotecnología único en el país		<i>Diario La Nación</i>			2007	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/934359-nace-un-centro-virtual-de-nanotecnologia-unico-en-el-pais">http://www.lanacion.com.ar/934359-nace-un-centro-virtual-de-nanotecnologia-unico-en-el-pais</a>
Argentina	Lo pequeño es hermoso		<i>Diario La Nación</i>			2007	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/916883-lo-pequeno-es-hermoso">http://www.lanacion.com.ar/916883-lo-pequeno-es-hermoso</a>
Argentina	Nanotecnología "desde abajo": Los científicos de un nanometro es grande...		<i>Ciencia argentina en la vidriera</i>			2010	Artículo periodístico	<a href="http://www.cienciaenvidriera.com.ar/2010/03/01/soler-lilia-galo-columnista-invitado-del-mes-marzo-2010/">http://www.cienciaenvidriera.com.ar/2010/03/01/soler-lilia-galo-columnista-invitado-del-mes-marzo-2010/</a>
Argentina	Aumenta el uso de nanomateriales		<i>Diario La Nación</i>			2009	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1111538">http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1111538</a>
Argentina	Los científicos deben asumir su compromiso social		<i>Diario Página 12</i>			2008	Artículo periodístico	<a href="http://www.pagina12.com.ar/diario/elpais/1-97152-2008-01-07.html">http://www.pagina12.com.ar/diario/elpais/1-97152-2008-01-07.html</a>
Argentina	Nanotecnología: las empresas argentinas están en carrera		<i>Diario Clarín</i>			2007	Artículo periodístico	<a href="http://www.ieco.clarin.com/notas/2007/10/14/01518214.html">http://www.ieco.clarin.com/notas/2007/10/14/01518214.html</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Argentina	El boom de la nanotecnología: Moléculas como delivery para drogas		<i>Diario Perfil</i>			2008	Artículo periodístico	<a href="http://www.diarioperfil.com.ar/edimp/0313/articulo.php?ar=11101&amp;ed=0313">http://www.diarioperfil.com.ar/edimp/0313/articulo.php?ar=11101&amp;ed=0313</a>
Argentina	Nanotecnología hasta en la sopa...		<i>Diario Clarín</i>			2005	Artículo periodístico	<a href="http://edant.clarin.com/diario/2005/05/04/conexiones/t-969912.htm">http://edant.clarin.com/diario/2005/05/04/conexiones/t-969912.htm</a>
Argentina	Nanotecnología <i>made in</i> Argentina para la salud		<i>Diario La Nación</i>			2011	Artículo periodístico	<a href="http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1132676">http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1132676</a>
Brasil	Nanotecnología: novas questões éticas para o Brasil, dimensões legais e sociais numa abordagem interdisciplinar	Marise Borba da Silva	<i>Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas</i>	v. 4, n. 46	ene-17	2003	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1128/4429">http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1128/4429</a>
Brasil	Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos	Frank H. Quina	<i>Química Nova</i>	v. 27, n. 6	1028-1029	2004	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://www.scielo.br/pdf/qnv/v27n6/22297.pdf">http://www.scielo.br/pdf/qnv/v27n6/22297.pdf</a>
Brasil	O futuro da nanotecnologia no Brasil. Vinte anos não são nada?	Marcelo Knobel	<i>Ciência e Cultura</i>	v. 57, n. 1	04-may	2005	Política científica	<a href="http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252005000100002&amp;script=sci_arttext">http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252005000100002&amp;script=sci_arttext</a>
Brasil	O que é Nanotecnologia e para que Serve a Nanotecnologia?	Peter A.B. Schulz	<i>A Física na Escola</i>	v. 6, n. 1	58-62	2005	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/nano.pdf">http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/nano.pdf</a>
Brasil	Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia	Luiz Paulo Cadioli, Luzia Dizulina Salla	<i>Revista de Ciências Exatas e Tecnologia</i>	v.1, n.1	98-105	2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcexf/article/view/Article/393">http://www.sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcexf/article/view/Article/393</a>
Brasil	Brasil aposta na nanociência e nanotecnologia (Entrevista: Cylon Gonçalves da Silva)	Simone Pallone e Wanda Jorge	<i>Inovação Unitemp</i>	v. 2, n.1	06-sep	2006	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://inovacao.scielo.br/pdf/inov/v2n1/a02v2n1.pdf">http://inovacao.scielo.br/pdf/inov/v2n1/a02v2n1.pdf</a>
Brasil	Química de (nano)materiais	Aldo J. G. Zarkin	<i>Química Nova</i>	v. 30, n. 6	1469-1479	2007	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.scielo.br/pdf/qnv/v30n6/a16v30n6.pdf">http://www.scielo.br/pdf/qnv/v30n6/a16v30n6.pdf</a>
Brasil	a nova convergência da ciência e da tecnologia	Esper A. Cavalheiro	<i>Novos Estudos</i>	v. 78	23-30	2007	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://www.scielo.br/pdf/nec/n78/04.pdf">http://www.scielo.br/pdf/nec/n78/04.pdf</a>
Brasil	O desenvolvimento da nanotecnologia: cenário mundial e nacional de investimentos	Betina G. Zanetti-Ramos, Tânia B. Creczynski-Pasa	<i>Revista Brasileira Farmácia</i>	v. 89, n. 2	95-101	2008	Política científica	<a href="http://www.revbrasfarm.org.br/edicoes/pdf/2008/RB2_2008/pag_95a101_desenv_nanotecnologia.pdf">http://www.revbrasfarm.org.br/edicoes/pdf/2008/RB2_2008/pag_95a101_desenv_nanotecnologia.pdf</a>
Brasil	Nanotecnologia e ensino de ciências à luz do enfoque cts: uma viagem a Lilliput	Rodrigo Siqueira Batista e outros	<i>Revista Ciências &amp; Ideias</i>	v. 1, n. 1	76-86	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.cetefisica.edu.br/revista/index.php/revistacienciaeideias/article/view/27">http://www.cetefisica.edu.br/revista/index.php/revistacienciaeideias/article/view/27</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Brasil	Afinal, o que é nanociência e nanotecnologia? Uma abordagem para o ensino médio	Suzelley Leite Abreu Silva, Marcelo Machado Viana e Nelcy Della Santina Mohallem	<i>Química Nova na Escola</i>	v. 31, n. 3	172-178	2009	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.cien.ciamao.uf.usp.br/dados/qne/_quimicasociedadefinalo_artigoCompleto.pdf">http://www.cien.ciamao.uf.usp.br/dados/qne/_quimicasociedadefinalo_artigoCompleto.pdf</a>
Brasil	Os impactos das nanotecnologias na cadeia de produção da soja	Soraia de Fátima Ramos e outros	<i>Informações Econômicas</i>	v. 40, n. 6	42-55	2010	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="ftp://ftp.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2010/tec4.06.10.pdf">ftp://ftp.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2010/tec4.06.10.pdf</a>
Brasil	Resenhas bibliográficas: a encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos.	Flávia Ferreira dos Santos	<i>Revista de Administração Contemporânea</i>	v. 14, n. 5	983-985	2010	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.scielo.br/pdf/rac/v14n5/v14n5a15.pdf">http://www.scielo.br/pdf/rac/v14n5/v14n5a15.pdf</a>
Brasil	Estratégia supramolecular para a nanotecnologia	Koiti Araki	<i>Química Nova</i>	vol. 30, no. 6	1484-1490	2007	Política científica	<a href="http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n6/a18v30n6.pdf">http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n6/a18v30n6.pdf</a>
Brasil	Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macro-desafios)	Maria F. M. Fernandes e Carlos A. L. Figueiras	<i>Química Nova</i>	v. 31, n. 8	2205-2213	2008	Política científica	<a href="http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n8/50.pdf">http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n8/50.pdf</a>
Chile	Nanociencia y nanotecnología	Editorial	<i>Indulimentos</i>	Febrero	2	2010	Impacto social	<a href="http://www.bayercropscience.cl">www.bayercropscience.cl</a>
Chile	Nanociencia: la ciencia del siglo XXI	D. Altbir	<i>Chile Científico</i>	Julio	2	2010	Política científica	<a href="http://www.chilecientifico.cl">www.chilecientifico.cl</a>
Chile	La nanotecnología una solución de problemas	Editorial	<i>Centro de Estudios y Recursos Andinos</i>	42-43	89	2006	Divulgación	<a href="http://www.revistas.estudiosandinos.cl">www.revistas.estudiosandinos.cl</a>
Chile	Nanotecnología pensar en pequeño	Editorial	<i>Revista Ercilla</i>	3-277	3	2005	Divulgación	<a href="http://www.ercilla.cl">www.ercilla.cl</a>
Chile	Nanotecnología	s/n	<i>Estudios del Desarrollo</i>	Octubre	13	2006	Divulgación	<a href="http://www.estudiosdeldesarrollo.cl">www.estudiosdeldesarrollo.cl</a>
Chile	La nanotecnología y las transformaciones	Editorial	<i>Utopía y Praxis LA</i>	36-39	10	2009	Divulgación	<a href="http://www.universidaddezulia.co">www.universidaddezulia.co</a>
Chile	La nanotecnología alimentaria	Editorial	<i>El Campesino</i>	Junio	5	2007	Divulgación	<a href="http://www.sna.cl">www.sna.cl</a>
Chile	Historia de la nanotecnología	s/n	<i>Muy Interesante</i>	Octubre	15	2010	Divulgación	<a href="http://www.taringa.net">www.taringa.net</a>
Chile	Sistemas nanosensores	Editorial	<i>Ingeniare (UTA)</i>	3(18)	2	2010	Divulgación académica	<a href="http://www.uta.cl">www.uta.cl</a>
Chile	La proyección de la biotecnología y nanotecnología en Chile	Editorial	<i>Nuevo Político</i>	Enero	3	2009	Divulgación	<a href="http://www.nuevopolitico.blgov.com">www.nuevopolitico.blgov.com</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Chile	Primeros pasos. Nanotecnología en Chile	Marcela Rojas	Revista del Colegio de Ingenieros	Junio	5	2006	Divulgación profesional	www.nanotecnologia.cl
España	La nanotecnología en Chile	Ernesto Zumelzu D.	Rev. Nanotecnología, Hoja Informativa, Uoviedo	4	28-29	2008	Divulgación	www.uov.es
Venezuela	Nanotechnology in Chile: Experiences and industry potentials.	Ernesto Zumelzu D.	Proceedings International Conference on Nanoscience (ICON)	Mayo	01-feb	2006	Prospectiva científica y tecnológica	http://icon2006.phantomnet.net/files/ICON06_K_ZumelzuErnesto.pdf
Chile	Nanotecnología: la revolución de lo invisible	Paula García Miranda	Ciencia y Trabajo	6 (oct-dic.)	14	2004	Artículo de divulgación	www.cienciaytrabajo.d
Chile	Nanotecnología: UCN produce nueva tecnología para la región	Carlos Opazo Álvarez	El Pensador (Www. Elpensador.Cl)			2004	Artículo de divulgación	http://rie.cl/?a=2344
Colombia	El rol de la comunicación en la construcción de conocimiento y de redes de vinculación y transferencia en nanotecnología	Constanza B. Pérez, Dominique Vinck	Colloque: 3er Simposium Internacional en Comunicación del Conocimiento y Conferencias: CCC 2008, Orlando, Florida.			2008	Divulgación nivel académico	http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/37/47/27/PDF/comunicacionnano_1_1_.pdf
Colombia	Nanotecnología avances y expectativas en urología	Álvarez Villarraga, Jeffer David; Hernández, Carlos y Cataño, Juan Guillermo	Urología Colombia	2	41-48	2008	Prospectiva científica y tecnológica	http://www.urologiacolombiana.com/revistas/agosto-2009.pdf#page=42
Colombia	Bionics and nanotechnology, human-machine interfaces	Alvar Hernando Ramirez Linares	India International Journal of Artificial Intelligence in Education	3	35	2010	Prospectiva científica y tecnológica	http://201.234.78.173.8081/cvtaq/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000234540
Colombia	Nanociencia y nanotecnología	Angela Camacho B	Diario de Campo, Investigación, Ciencia y Tecnología Siglo XXI, Memorias	ISBN: 978-958-8359-06-09,	27	2010	Prospectiva científica y tecnológica	www.unicolmayor.edu.co
Cuba	Número especial con un editorial y 15 artículos dedicados a las nanociencias en Cuba	Varios	Revista Cubana de Física	v. 26, n. 1	1-105	2009	Divulgación nivel académico	http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubff/2009/vol.26-No.1/index.htm

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Cuba	Nanoamenazas y nanoportunidades	Carlos Rodríguez Castellanos	Universidad 2010. ISBN 978-959-16-1137-6			2009	Impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://revistas.mes.edu.cu/elibro">http://revistas.mes.edu.cu/elibro</a>
Cuba	La fábula de los tres hermanos: las nanociencias y las nanotecnologías en el contexto cubano	Ernesto Estévez Rams	Revista Temas	n. 61		2010	Política científica	<a href="http://www.temas.cult.cu/">http://www.temas.cult.cu/</a>
Cuba	La nanotecnología y el desarrollo. Oportunidades e incertidumbres	Fidel Castro Díaz-Balart	Anales de La Academia de Ciencias	v. 1, n. 1		2011	Política científica	<a href="http://www.revistaccuba.cu/">http://www.revistaccuba.cu/</a>
Cuba	Correteando entre átomos	Iramis Alonso y Bárbara Avendaño	Revista Bohemia			06/06/2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.bohemia.cu">http://www.bohemia.cu</a>
Cuba	Tras la quimera de oro	Iramis Alonso y Bárbara Avendaño	Revista Bohemia			06/06/2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.bohemia.cu">http://www.bohemia.cu</a>
Cuba	La era del nano	Dora Pérez Sáez	Periódico Juventud Rebelde			16/03/2008	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.juventudrebelde.cu">http://www.juventudrebelde.cu</a>
Cuba	Lo nano desde Cuba	Lianet Anías Sosa	Diario Granma			16/12/2008	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.gramma.cubaweb.cu">http://www.gramma.cubaweb.cu</a>
Cuba	El ojo indiscreto	Iramis Alonso Porro	Revista Juventud Técnica			2009	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.juventudtecnica.cu">http://www.juventudtecnica.cu</a>
Cuba	Asomados al mundo de las miniaturas	Orfilio Peláez	Diario Granma			08/09/2010	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.gramma.cubaweb.cu">http://www.gramma.cubaweb.cu</a>
España	La tecnología fundamental del siglo XXI: nanotecnología	J. Tutor Sánchez, V. Velasco Rodríguez, J.M. Martínez Duart	Anales de Mecánica Y Electricidad, Revista de La Asociación de Ingenieros Del ICAI	Enero-febrero	40	2011	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.revista-anales.es/web/n_6/seccion_9.html">http://www.revista-anales.es/web/n_6/seccion_9.html</a>
España	Grafeno: sueño o realidad de la nanotecnología	J. Tutor	Anales de Mecánica Y Electricidad, Revista de La Asociación de Ingenieros Del ICAI	Septiembre-octubre	40	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.revista-anales.es/web/n_4/seccion_8.html">http://www.revista-anales.es/web/n_4/seccion_8.html</a>
España	The implementation of the Action Plan for Nanosciences and Nanotechnologies in Spain (2005-2007)	P.A. Serena	E/Nano Newsletter	15	14	2009	Política científica	<a href="http://www.phantomstnet.net/files/E_NANO_Newsletter_issue15.pdf">http://www.phantomstnet.net/files/E_NANO_Newsletter_issue15.pdf</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
España	Nanotecnología, macromoléculas y manipulación molecular	J. A. Martín-Gago y J. Méndez	Revista Española de Física	19	19	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.icmm.csic.es/grupos/wp-content/uploads/2009/02/martin-gago.pdf">http://www.icmm.csic.es/grupos/wp-content/uploads/2009/02/martin-gago.pdf</a>
España	A survey of public funding of nanotechnology in Spain over 2008	P. A. Serena	Informe Interno MICINN			2009	Política científica	<a href="http://www.oemiccinn.es/content/download/1122/7623/file/REPORT2008-First-Implementation-Plan-FINAL-INL.pdf">http://www.oemiccinn.es/content/download/1122/7623/file/REPORT2008-First-Implementation-Plan-FINAL-INL.pdf</a>
España	2010-2020: ¿la década del despegue de la nanotecnología española?	A. Correia y P. A. Serena	Física Y Sociedad (Revista Del Colegio Oficial de Físicos de España)	20	36-39	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.cofis.es/pdf/fys/fys20/fys20_36-39.pdf">http://www.cofis.es/pdf/fys/fys20/fys20_36-39.pdf</a>
España	De la nanociencia a la nanotecnología: en las fronteras de la física del estado sólido	J.A. Martín Gago y P. A. Serena	Revista Española de Física	23	4	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://digital.csic.es/bitstream/10261/32749/1/revspanola-de-fisica-2009-gago.pdf">http://digital.csic.es/bitstream/10261/32749/1/revspanola-de-fisica-2009-gago.pdf</a>
España	Aplicaciones industriales de la nanotecnología	Gotzon Azkarate	Revista COIM	Mayo-junio	7	2008	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.coim.es/mii/Revista%20COIM/Revista_COIM_37.pdf">http://www.coim.es/mii/Revista%20COIM/Revista_COIM_37.pdf</a>
España	Micro y nanoelectrónica: más pequeño, más rápido, más barato	Pascual Bolufer	Revista COIM	30 (enero-febrero)	16	2007	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.coim.es/mii/Revista%20COIM/REVISTA_30.pdf">http://www.coim.es/mii/Revista%20COIM/REVISTA_30.pdf</a>
España	Mundo nano		El Mercurio Digital			2007		<a href="http://elmercuriodigital.es/content/view/170/58/">http://elmercuriodigital.es/content/view/170/58/</a>
España	Nanotechnology: Applications and social implications	A. Correia, M. Pérez, J. J. Sáenz and P. A. Serena	E-Nano Newsletters	7	08-16	2007	Política científica	<a href="http://www.phantomsnet.net/files/E_NANO_Newsletter_Issue07.pdf">http://www.phantomsnet.net/files/E_NANO_Newsletter_Issue07.pdf</a>
España	Del azul maya y los materiales híbridos	Pedro Gómez Romero	Apuntes de Ciencia Y Tecnología	24	23	2007	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.aacte.eu/Apuntes_24.pdf">http://www.aacte.eu/Apuntes_24.pdf</a>
España	La nanotecnología de lo mínimo	Ana de la Hoz	Logismarket	Enero-febrero	24	2007	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.mecalux.es/external/magazine/41305.pdf">http://www.mecalux.es/external/magazine/41305.pdf</a>
España	Bienvenidos al mundo de la nanotecnología	Jennifer Kahn	National Geographic En Español	junio-06	76	2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.nationalgeographic.com.es/2006/06/01/nanotecnologia.html">http://www.nationalgeographic.com.es/2006/06/01/nanotecnologia.html</a>
España	La nano pega con fuerza	Elena Sanz	Muy Interesante	229	50	2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://elena.sanz.files.wordpress.com/2010/08/nanotecnologia.muy.pdf">http://elena.sanz.files.wordpress.com/2010/08/nanotecnologia.muy.pdf</a>
España	Nanotecnología. La mida importa	Irene Casellas	Vilaweb	28 de julio	2	2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.vilaweb.cat/media/attach/vwvtedts/presencia/nano.pdf">http://www.vilaweb.cat/media/attach/vwvtedts/presencia/nano.pdf</a>
España	Bienvenidos al nanomundo	Monica Salomóné	El País Semana	23/04/2006	19	2006	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.elpais.com/articulo/portada/Bienvenidos/nanomundo/elpepusocps/20060423elpeppor_2/Tes">http://www.elpais.com/articulo/portada/Bienvenidos/nanomundo/elpepusocps/20060423elpeppor_2/Tes</a>
España	Átomos, Genes, Bits y Neuronas "al Poder": la convergencia NBIC	Juan de Castro y P.A. Serena	El Cultural de El Mundo,	23/03/2006	63-64	2006	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/16865/Convergencia_NBIC">http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/16865/Convergencia_NBIC</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
España	Bienvenidos al nanomundo	M. Salomone	<i>Revista El País Semanal</i>	23/04/2006		2006	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.elpais.com/articulo/portada/Bienvenidos/hanomundo/elpepusocps/20060423elpepsor_2/Tes">http://www.elpais.com/articulo/portada/Bienvenidos/hanomundo/elpepusocps/20060423elpepsor_2/Tes</a>
España	El lento despertar de la nanotecnología en España	A. Correia, J.J. Sáenz, y P.A. Serena	<i>Revista Sistema Medri+D</i>	34		2006	Política científica	<a href="http://www.madrimasd.org/revista/revista34_editorial/editorial.asp">http://www.madrimasd.org/revista/revista34_editorial/editorial.asp</a>
España	El poder de lo pequeño	Susana de la Riva	<i>Actualidad Económica</i>	22-sep	16	2005	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.actualidad-economica.com/2005/09/22/nano1.html">http://www.actualidad-economica.com/2005/09/22/nano1.html</a>
España	El nano desafío	Jim Hwang	<i>Taiwán Hoy</i>			2005	Divulgación nivel básico	<a href="http://taiwanhoy.nat.gov.tw/ct.asp?xitem=43026&amp;CNode=1529">http://taiwanhoy.nat.gov.tw/ct.asp?xitem=43026&amp;CNode=1529</a>
España	Mundo pequeño	Oscar Chung	<i>Taiwán Hoy</i>	XXIV	21	2005	Divulgación nivel básico	<a href="http://taiwanreview.nat.gov.tw/ct.asp?xitem=43019&amp;CNode=1547&amp;mp=1">http://taiwanreview.nat.gov.tw/ct.asp?xitem=43019&amp;CNode=1547&amp;mp=1</a>
España	Nanociencia y nanotecnología: la tecnología fundamental del siglo XXI	J. Tutor Sánchez, V. Velasco Rodríguez, J.M. Martínez Duart	<i>Física para Todos/ Física No Mundo, RUISE.</i>	Enero	19	2005	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.fisica.ciens.ucv.ve/svf/Faasofi/nanociencia.pdf">www.fisica.ciens.ucv.ve/svf/Faasofi/nanociencia.pdf</a>
España	Gobernanza de las nanotecnologías	J. Echevarría	<i>Arbor</i>	715	301-315	2005	Divulgación nivel académico	<a href="http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/download/414/415">http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/download/414/415</a>
España	Gobernanza de las nanotecnologías	J. Echevarría	<i>Arbor</i>	715	301-315	2005	Divulgación nivel académico	<a href="http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/download/414/415">http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/download/414/415</a>
España	La nanociencia y sus aplicaciones	A. Correia y P.A. Serena	<i>Física Y Sociedad (Revista Del Colegio Oficial de Fisicos de España)</i>	16-sep	10-15	2005	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.cofis.es/pdf/fys/fys16/fys16_10-15.pdf">http://www.cofis.es/pdf/fys/fys16/fys16_10-15.pdf</a>
España	La nanotecnología, motor de la próxima revolución tecnológica (I)	P.A. Serena	<i>Revista Informativa Del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (COOIM)</i>	17-mayo/junio	14-21	2004	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.cooim.es/rmi/Revista%20COOIM/REVISTA%2017%20%20MAY-JUN%202004%29.pdf">http://www.cooim.es/rmi/Revista%20COOIM/REVISTA%2017%20%20MAY-JUN%202004%29.pdf</a>
España	La nanotecnología, motor de la próxima revolución tecnológica (y II)	P.A. Serena	<i>Revista Informativa Del Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (COOIM)</i>	18-septiembre/octubre	17-21	2004	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.cooim.es/rmi/Revista%20COOIM/REVISTA%2018%20%20SEPT-OCT%202004%29.pdf">http://www.cooim.es/rmi/Revista%20COOIM/REVISTA%2018%20%20SEPT-OCT%202004%29.pdf</a>
España	Nanotecnología: la revolución pendiente	N. Martínez	<i>Revista El Cultural de El Mundi</i>	15/04/2004		2004	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/9350/Nanotecnologia">http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/9350/Nanotecnologia</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
España	La luz sincrotrón: una herramienta extraordinaria para la ciencia	A. Gutiérrez, J. A. Martín-Gago, S. Ferrer	Apuntes de Ciencia y Tecnología	12	37-46	2004	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.aacte.eu/Apuntes/archivo- revista-apuntes-de-ciencia-y-tecnologia/Apuntes_12.pdf">http://www.aacte.eu/Apuntes/archivo- revista-apuntes-de-ciencia-y-tecnologia/Apuntes_12.pdf</a>
España	Nanomateriales	Manuel Elices Calafat	Revista Real Acad. Ciencia Exact. Fis. Nat. Esp	97	271	2003	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.rac.es/ficheros/doc/00429.pdf">http://www.rac.es/ficheros/doc/00429.pdf</a>
España	Nanotecnología: el motor de la próxima revolución tecnológica	A. Correia y P.A. Serena	Apuntes de Ciencia y Tecnología	9	32-42	2003	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.aacte.eu/Apuntes_09.pdf">http://www.aacte.eu/Apuntes_09.pdf</a>
España	¿Se pueden 'ver' los átomos? De la entelequia a la realidad	J. A. Martín Gago	Apuntes de Ciencia Y Tecnología	6	36-41	2003	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.aacte.eu/Apuntes/archivo- revista-apuntes-de-ciencia-y-tecnologia/Apuntes_06.pdf">http://www.aacte.eu/Apuntes/archivo- revista-apuntes-de-ciencia-y-tecnologia/Apuntes_06.pdf</a>
España	Nanoestructuras semiconductoras: un futuro estratégico para Ibero América	J. Tutor y V.R. Velasco	Revista Española de Física	4	16	2002	Divulgación nivel básico	<a href="http://www.revicien.net/revista.php?ID=17">http://www.revicien.net/revista.php?ID=17</a>
España	La nanotecnología se hace mayor	P.A. Serena	El Cultural de El Mundo	17 de octubre de 2002	54-55	2002	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/5640/La_nanotecnologia_se_hace_mayor">http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/5640/La_nanotecnologia_se_hace_mayor</a>
España	En la frontera de la nada: la nanotecnología revoluciona el mundo del conocimiento	P. García Barreno	Revista El Cultural de El Mundo	17/10/2001		2001	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/1342/En_la_frontera_de_la_nada">http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/1342/En_la_frontera_de_la_nada</a>
México	Diversos artículos	Varios autores	Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria de NYN	v. 1-4	Volumen completo	2008-2011	Divulgación nivel académico + artículos científicos	<a href="http://www.mundonano.unam.mx">www.mundonano.unam.mx</a>
México	Perspectivas de la nanoeducación en México	A. Barrañon	Razon y Palabra	59	1-5	2007	Prospectiva científica + impacto social	<a href="http://www.razonypalabra.org.mx/ anteriores/n59/vari/abarranon.html">http://www.razonypalabra.org.mx/ anteriores/n59/vari/abarranon.html</a>
México	Monográfico dedicado a nanotecnología	Varios autores	Ciencia y Desarrollo	195			Divulgación nivel académico	<a href="http://www.conacyt.mx/comunicacion/ revista/195/index.html">http://www.conacyt.mx/comunicacion/ revista/195/index.html</a>
México	Desarrollo de las nanociencias en México: una visión a partir de las publicaciones científicas	E. Robles Velmont, D. Vinck, R. de Gortari Rabola	Nanomex '08		1-13	8	Prospectiva científica	<a href="http://halsh.archives-ouvertes.fr/docs/00/.../ NanoMex08_Robles_1_1.pdf">halsh.archives-ouvertes.fr/docs/00/.../ NanoMex08_Robles_1_1.pdf</a>
México	Nanotecnología. Monográfico de la Revista Razon y Palabra	Varios autores	Razon y Palabra	68		2009	Divulgación	<a href="http://www.razonypalabra.org.mx/N/ n68/index.html">http://www.razonypalabra.org.mx/N/ n68/index.html</a>
México	La nanotecnología en México: un desarrollo incierto	Edgar Záyago-Lau, Guillermo Foladori	Economía, Sociedad Y Territorio	10 (X), n. 32	143-178	10	Política científica + impacto social, riesgos y gobernanza	<a href="http://www.cmq.edu.mx/revistaest.html">www.cmq.edu.mx/revistaest.html</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Perú	Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata	Morales, Jorge, Morán, José, Quintana, María et al	Soc. Quím. Perú	2	177-184	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/">http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/</a>
Perú	Catalizadores nanoestructurados basados en óxidos de Fe para la combustión de n-hexano	Picasso, Gino, Sun Kou, Rosario, Gómez, Gemma et al	Soc. Quím. Perú	2	163-176	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/">http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/</a>
Perú	Efecto del 2-propanol en la síntesis de nanopartículas de plata mediante radiación gamma	Cabrera Julieta, López, Alcides and Santiago Julio	Rev. Soc. Quím. Perú	4	323-331	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/">http://www.scielo.org.pe/cgi-bin/wxis.exe/iah/</a>
Perú	Películas de óxidos mixtos de cobre y tungsteno obtenidas por sol-gel: caracterización estructural y evaluadas como sensor de vapor	M.A. Damian, Y. Rodríguez, J.L. Solís, y W. Estrada	Revista de la Facultad de Ciencias de la UNI (REVCUNI)	7	58	2003	Divulgación nivel académico	<a href="http://fc.uni.edu.pe/portal/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=63&amp;Itemid=70">http://fc.uni.edu.pe/portal/index.php?option=com_content&amp;view=article&amp;id=63&amp;Itemid=70</a>
Perú	Simulación Monte Carlo de la ordenación local y formación de agregados en una aleación modelo bidimensional	J. Rojas, E. Manrique, y E. Torres	Revista de Investigación de Física (UNMSM)	5	18-23	2002	Divulgación nivel académico	<a href="http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/Revista_de_Investigacion_de_Fisica">http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/Revista_de_Investigacion_de_Fisica</a>
Perú	Estudio de la anisotropía de películas delgadas de Permolloy (Ni81Fe19) mediante magnetómetro de efecto Kerr de superficie	E. Montebianco, L. Avilés, C. Sotelo, L. Pauro y A. Gutarra	Revista de la Facultad de Ciencias de la UNI (REVCUNI).	13	01-10	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.youblisher.com/p/79711-REVISTAUNI/">http://www.youblisher.com/p/79711-REVISTAUNI/</a>
Perú	Preparación de sensores basados en nanopartículas de óxidos de Fe dopados con Pd para la detección de propano	Gino Picasso, Maria del Rosario Sun Kou y Johnny Rojas	Revista de la Facultad de Ciencias de la UNI (REVCUNI).	13	38-44	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.youblisher.com/p/79711-REVISTAUNI/">http://www.youblisher.com/p/79711-REVISTAUNI/</a>
Perú	Simulación mediante dinámica molecular de los cambios estructurales durante la colisión de nanopartículas de cobre	Betty Copa, Justo Rojas T.	Revista de Investigación de Física (UNMSM)	12	37-42	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2009_Volumen_12">http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2009_Volumen_12</a>

País	Título del artículo	Autores	Revista o periódico	Núm.	Pág.	Año	Temática del artículo	Dirección WEB con información sobre el artículo
Perú	Influencia del desorden en la estadística de separación de niveles electrónicos de la nanopartícula $Cu_{358}$	L. Medrano, C. Landauero, J. Rojas, J. Torres, A. Guzmán, S. Restegui, J. Arroyo	Revista Peruana de Química e Ingeniería Química (UNMSM)	12	78-83	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v12_n2/Contenido.htm">http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v12_n2/Contenido.htm</a>
Perú	Dependencia de las propiedades magnéticas con el espesor en películas delgadas de FePt	E. Sallica, V. A. Peña Rodríguez, M. Vásquez Mansilla, A. Butera	Revista de Investigación de Física (UNMSM)	12	22-29	2009	Divulgación nivel académico	<a href="http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2009_Volumen_12">http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2009_Volumen_12</a>
Perú	Simulación mediante dinámica molecular de la estructura y energías de los nanodusters Ni <sub>n</sub> Al <sub>m</sub> (n+m=13)	Justo Rojas T., Chachi Rojas A. y Juan Arroyo C.	Revista Peruana de Química e Ingeniería Química (UNMSM)	8	28-34	2005	Divulgación nivel académico	<a href="http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v08_n1/Contenido.htm">http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v08_n1/Contenido.htm</a>
Perú	influencia del procedimiento de re-escalado sobre la estadística de separación de niveles electrónicos: aplicación a nanopartículas de plata	L.R. Medrano, C.V. Landauero y J. Rojas	Revista de Investigación de Física (UNMSM)	13	101302104	2010	Divulgación nivel académico	<a href="http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2010_Volumen_13">http://fisica.unmsm.edu.pe/index.php/2010_Volumen_13</a>
Portugal	A nanotecnologia ou a engenharia do futuro	Carlos Fiolhais e Jorge Trindade	Gazeta de Física	v.25, fasc.1	14-17	Janeiro de 2002	Divulgación nivel académico	<a href="http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/">http://nautilus.fis.uc.pt/gazeta/</a>
Portugal	Nanopartículas na cadeia alimentar	Helder Gomes	Boletim de Química-Sociedade Portuguesa de Química	Actualidades científicas	54	2011	Divulgación nivel académico	<a href="http://www.spq.pt/#">http://www.spq.pt/#</a>
Venezuela	Las tecnologías nanoscópicas en los centros y las periferias. El caso de los nanomateriales en Venezuela	De la Vega et al.	Capítulo en el libro <i>Nanociencia y Nanotecnología en América Latina</i>			2008	Política científica	<a href="http://estudiosdesarrollo.net/relans/documentos/VENEZUELA.pdf">http://estudiosdesarrollo.net/relans/documentos/VENEZUELA.pdf</a>
Venezuela	Hacia un Plan Nacional de Nanotecnología	RedYnano	Artículo digital			2009	Política científica	<a href="http://www.redwnano.org/documentos/HaciaUnPlanNano.pdf">www.redwnano.org/documentos/HaciaUnPlanNano.pdf</a>
Venezuela	Tecnologías convergentes: ¿qué está siendo hecho y qué debería ser hecho sobre ellas en los Países Andinos? Estudio Nacional Venezuela.	Vessuri y Sánchez	Informe			2008	Política científica	<a href="http://www.redwnano.org/documentos/proyecto.pdf">http://www.redwnano.org/documentos/proyecto.pdf</a>

**TABLA VI. Programas de divulgación aparecidos en las televisoras de cada país en los que se haga referencia a la nanociencia y nanotecnología (2000-2011)**

País	Título del programa	Año de emisión	Dirección WEB con link al programa
Argentina	Científicos Industria Argentina	2011	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=WC31LucsQ08&amp;feature=player_embedded">http://www.youtube.com/watch?v=WC31LucsQ08&amp;feature=player_embedded</a>
Argentina	Científicos Industria Argentina, Canal 7 - TV Pública. Entrevistas a científicos en sus laboratorios	2007-2011	<a href="http://www.tvpublica.com.ar/tvpublica/programas#ver-11-img">http://www.tvpublica.com.ar/tvpublica/programas#ver-11-img</a> , <a href="http://cientificos.blog.arnet.com.ar/">http://cientificos.blog.arnet.com.ar/</a>
Argentina	Micros Latitud Ciencia: Nanoscopios, Canal Encuentro, Entrevistas a científicos en sus laboratorios		<a href="http://www.encuentro.gov.ar/nota-1004-Video-Nanotecnologia.html">http://www.encuentro.gov.ar/nota-1004-Video-Nanotecnologia.html</a>
Argentina	El universo de lo diminuto, Canal Encuentro, Entrevistas a científicos en sus laboratorios		<a href="http://www.encuentro.gov.ar/nota-561-El-universo-de-lo-diminuto.html">http://www.encuentro.gov.ar/nota-561-El-universo-de-lo-diminuto.html</a>
Argentina	Científicos Industria Argentina: Nanotecnología, canal 7 TV pública 5 emisiones	2010	<a href="http://www.fan.org.ar/nano_pais.htm">http://www.fan.org.ar/nano_pais.htm</a> , <a href="http://www.youtube.com/watch?v=35qbmjrCAR0">http://www.youtube.com/watch?v=35qbmjrCAR0</a>
Brasil	Roda Viva, TV Cultura	2004	<a href="http://www.tvcultura.com.br/rodaviva/programa/pgm0885">http://www.tvcultura.com.br/rodaviva/programa/pgm0885</a>
Brasil	Espaço Aberto, Globo News	2004	<a href="http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM119569-7823-NANOTECNOLOGIA,00.html">http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM119569-7823-NANOTECNOLOGIA,00.html</a>
Brasil	Bom dia Brasil, Rede Globo	2009	<a href="http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1117087-7823-UNIVERSO+NANO+TECNOLOGIA+E+A+ESPERANCA+NA+CURA+DE+DOENCAS,00.html">http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1117087-7823-UNIVERSO+NANO+TECNOLOGIA+E+A+ESPERANCA+NA+CURA+DE+DOENCAS,00.html</a>
Brasil	Bom dia Brasil, Rede Globo	2009	<a href="http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1117786-7823-UNIVERSO+NANO+JAPONESES+CRIAM+TV+DE+BOLSO,00.html">http://video.globo.com/Videos/Player/Noticias/0,,GIM1117786-7823-UNIVERSO+NANO+JAPONESES+CRIAM+TV+DE+BOLSO,00.html</a>
Colombia	Biotecnología y nanotecnología para textiles, nueva tendencia en Colombiatex	2011	<a href="http://www.citytv.com.co/videos/306594/biotecnologia-y-nanotecnologia-para-textiles-nueva-tendencia-en-colombiatex">http://www.citytv.com.co/videos/306594/biotecnologia-y-nanotecnologia-para-textiles-nueva-tendencia-en-colombiatex</a>
Colombia	Un Norte Nanotecnología. Parte 4	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=9ILZYBknXCY">http://www.youtube.com/watch?v=9ILZYBknXCY</a>
Colombia	Dispositivos de pequeño tamaño ofrece la nanotecnología	2011	<a href="http://www.citytv.com.co/videos/334538/dipositivos-de-pequeno-tamano-ofrece-la-nanotecnologia">http://www.citytv.com.co/videos/334538/dipositivos-de-pequeno-tamano-ofrece-la-nanotecnologia</a>
Colombia	Un Norte Nanotecnología. Parte 2	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=wcwRjvDBiU">http://www.youtube.com/watch?v=wcwRjvDBiU</a>
Colombia	Un Norte Nanotecnología. Parte 1	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=K2-dD-kOUDM">http://www.youtube.com/watch?v=K2-dD-kOUDM</a>
Colombia	Un Norte Nanotecnología. Parte 3	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=5IMLF6IT6vA">http://www.youtube.com/watch?v=5IMLF6IT6vA</a>
Colombia	Análisis cardiovascular del mamut y el elefante generará avances científicos	2010	<a href="http://www.citytv.com.co/videos/47148/analisis-cardiovascular-del-mamut-y-el-elefante-generara-avances-cientificos">http://www.citytv.com.co/videos/47148/analisis-cardiovascular-del-mamut-y-el-elefante-generara-avances-cientificos</a>
Colombia	Jorge Reynolds 50 Años Marcapasos	2009	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=CkMySu9bkdQ">http://www.youtube.com/watch?v=CkMySu9bkdQ</a>
Colombia	AIM Transfer Factor Dr Hennen ForeverGreen Legasea Azul FrecuenSea Antiage Rejuvenecimiento	2009	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=H5LJ8Lf1jVQ">http://www.youtube.com/watch?v=H5LJ8Lf1jVQ</a>
Colombia	Nanotecnología en los empaques - Universidad Nacional de Colombia	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=BRjkjBdp8pc">http://www.youtube.com/watch?v=BRjkjBdp8pc</a>
España	REDES-TV La nanotecnología. Canal 2	2009	<a href="http://www.redes-tv.com/index.php?option=com_hwdvideoshare&amp;task=viewvideo&amp;Itemid=2&amp;video_id=107">http://www.redes-tv.com/index.php?option=com_hwdvideoshare&amp;task=viewvideo&amp;Itemid=2&amp;video_id=107</a>
España	La aventura del saber	15/06/2011	<a href="http://www.rtve.es/alcarta/videos/la-aventura-del-saber/aventura-del-saber-15-06-11/1129836/">http://www.rtve.es/alcarta/videos/la-aventura-del-saber/aventura-del-saber-15-06-11/1129836/</a>
Perú	Cienci@ Hoy	2010	<a href="http://www.rtvciplima.com/2010/09/28/vision-panoramica-de-la-nanotecnologia-y-su-impacto-en-la-sociedad/">http://www.rtvciplima.com/2010/09/28/vision-panoramica-de-la-nanotecnologia-y-su-impacto-en-la-sociedad/</a>
Perú	Cienci@ Hoy	2011	<a href="http://www.rtvciplima.com/2011/03/16/cienci-hoy-la-experiencia-en-la-adquisicion-de-una-patente-en-el-peru/">http://www.rtvciplima.com/2011/03/16/cienci-hoy-la-experiencia-en-la-adquisicion-de-una-patente-en-el-peru/</a>
Perú	Cienci@ Hoy	2010	<a href="http://www.rtvciplima.com/2010/11/23/ciencia-hoy-la-ciencia-de-los-materiales-y-el-desarrollo-del-pais/">http://www.rtvciplima.com/2010/11/23/ciencia-hoy-la-ciencia-de-los-materiales-y-el-desarrollo-del-pais/</a>
Perú	La hora N	2010	<a href="http://www.youtube.com/watch?v=zCT8Y6jv95M&amp;feature=player_embedded">http://www.youtube.com/watch?v=zCT8Y6jv95M&amp;feature=player_embedded</a>
Venezuela	Informe Semanal Innovación	Dic. 2009 y Dic. 2010	<a href="http://www.vtv.gov.ve/actualidad/informe-semanal-innovación">http://www.vtv.gov.ve/actualidad/informe-semanal-innovación</a>

**TABLA VII.** Concursos y exposiciones cuya temática esté parcial o totalmente relacionada con la nanociencia y la nanotecnología

País	Nombre del ciclo, concurso, jornada, exposición, congreso o evento	Organizadores	Entidades organizadoras	Lugar	Fecha	Tipo de evento	Dirección WEB con información sobre el ciclo, concurso, o exposición
Argentina	Encuentro "Nano MERCOSUR 2007: Ciencia, Empresa y Medio Ambiente	FAN	FAN	Buenos Aires	7-9 agosto 2007	Exposición, conferencias	<a href="http://www2.mecon.gov.ar/fan/nano2007/encuentro_nano2007.htm">http://www2.mecon.gov.ar/fan/nano2007/encuentro_nano2007.htm</a>
Argentina	Encuentro "Nano MERCOSUR 2009: Oportunidades en Nano y Microtecnologías	FAN	FAN	Buenos Aires	4-6 agosto 2009	Exposición, conferencias	<a href="http://encuentronano.fan.org.ar/">http://encuentronano.fan.org.ar/</a>
Argentina	Encuentro "Nano MERCOSUR 2011: Nanotecnología para la Industria y Sociedad	FAN	FAN	Buenos Aires	13-15 septiembre 2011	Exposición, conferencias	<a href="http://www.fan.org.ar">http://www.fan.org.ar</a>
Argentina	Programa Piloto: "Nanotecnólogos por un día"	FAN	FAN	Escuelas-Laboratorios de Nanotecnología	sep-11	Concurso-escuela media	<a href="http://www.fan.org.ar">http://www.fan.org.ar</a>
Brasil	NanoAventura	Marcelo Knobel	Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP	Itinerante	2005-2011	Exposição	<a href="http://www.mc.unicamp.br/atividades/nano_aventura/">http://www.mc.unicamp.br/atividades/nano_aventura/</a>
Brasil	Nanotec Expo (4ª Feira e Congresso Internacional de Nanotecnologia)	Empresa Promove (Ronaldo Marchese)	Empresa Promove	São Paulo, SP	2008	Exposição	<a href="http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=1682">http://www.finep.gov.br/imprensa/noticia.asp?cod_noticia=1682</a>
Chile	Teatro / Ciencia Ficción	Cedenna	PUC/USACH	Santiago de Chile	2010	Teatro	<a href="http://www.cedenna.cl">www.cedenna.cl</a>
España	Concurso internacional de imágenes SPM (SPMAGE)	A. Baró, A. Asenjo, P.A. Serena, J. Gómez, J. M. Gómez-Herrero	Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y Consejos Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)	Madrid	2007 y 2009	Concurso	<a href="http://www.icmm.csic.es/spmage">www.icmm.csic.es/spmage</a>
España	Un vistazo al Nanomundo	A. Baró, A. Asenjo, P.A. Serena, J. Gómez, J. M. Gómez-Herrero	UAM y CSIC	Más de 20 ciudades	2008-2010	Exposición	<a href="http://www.icmm.csic.es/spmage">www.icmm.csic.es/spmage</a>
España	Un paseo por el Nanomundo	J. Tutor, P. A. Serena, Y. Ballesteros, J. del Real, M.A. Saenz	ETSHCAI, Comillas	Madrid	Noviembre, 2010	Exposición	<a href="http://www.upcomillas.es">www.upcomillas.es</a>

<b>País</b>	<b>Nombre del ciclo, concurso, jornada, exposición, congreso o evento</b>	<b>Organizadores</b>	<b>Entidades organizadoras</b>	<b>Lugar</b>	<b>Fecha</b>	<b>Tipo de evento</b>	<b>Dirección WEB con información sobre el ciclo, concurso, o exposición</b>
España	Un paseo por el Nanomundo	A. Baró, A. Aserjo, P.A. Serena, J. Gómez, J. M. Gómez-Herrero	UAM y CSIC	Varias ciudades	2011-	Exposición	www.icmm.csic.es/spmage
España	FOTCIENCIA	FECYT y CSIC	FECYT y CSIC	Madrid	2003-2011	Concurso de fotografía que incluye una sección "nano"	http://www.fotciencia.es
España	FOTCIENCIA	FECYT y CSIC	FECYT y CSIC	Varias ciudades	2005-2011	Exposición itinerante basada en el concurso anterior	http://www.fotciencia.es
España	TecnoRevolución. Descubre los avances en tecnologías convergentes	Obra Social de la Caixa	Obra Social de la Caixa		2010-2011	Exposición itinerante	http://obrasocial.lacaixa.es/ambitos/exposiciones/tecnorevolucion6_es.html
España	Força Ciència! De la Mecànica dels objectes a la Nanotecnologia	Museu de la Tècnica de l'Empordà	Museu de la Tècnica de l'Empordà	Girona	18/12/2010 al 26/2/2011	Exposición	http://www.mte.cat/content/view/692/1/lang,es/
España	Exposición EXPONANO. Más pequeño que pequeño: la nanotecnología a debate	Parque Científico de Barcelona	Parque Científico de Barcelona	Barcelona	2009	Exposición	http://www.pcb.ub.edu/
España	Nanociencia: un mundo a otra escala	Instituto de Nanociencia de Aragón	Instituto de Nanociencia de Aragón	Varias ciudades	2009-2011	Exposición	http://www.aragoninvestiga.org/nanociencia-un-mundo-a-otra-escala-2/
Mexico	Nano: ciencia y arte	Noboru Takeuchi y Pedro Serena	UNAM	Baja California	Nov 2009- Enero 2010	Exposición	www.bajanano.com
Perú	Concurso Nacional de Emprendedurismo Tecnológico	CONCYTEC		Lima	2010	Concurso	http://portal.concytec.gob.pe/index.php/areas-de-la-institucion/fondecyt/proyectos/emprendedurismo.html
Venezuela	La obsesión por lo invisible		IVIC	Caracas	25-abr	Exposición	http://bitacora.ivic.gob.ve/?p=1950

# INSTRUCTIVO PARA AUTORES

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

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

## CARTAS DE LOS LECTORES

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

## NOTICIAS

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

## ARTÍCULOS

ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN SOBRE ASPECTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS, POLÍTICO-ECONÓMICOS, ÉTICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA. DEBEN PLANTEAR ASPECTOS ACTUALES DEL TEMA ESCOGIDO Y DAR TODA LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA QUE UN LECTOR NO ESPECIALISTA EN EL TEMA LO PUEDA ENTENDER. SE DEBERÁ HACER HINCAPIÉ EN LAS CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES Y MANTENER UNA ALTA CALIDAD DE CONTENIDO Y ANÁLISIS. (DEBERÁN INICIAR CON EL RESUMEN Y PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL SEGUIDOS DEL RESPECTIVO ABSTRACT Y KEYWORDS EN INGLÉS).

## RESEÑAS DE LIBROS

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

## IMÁGENES

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

## MECANISMO EDITORIAL

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

AÑIN AL TEMA DEL ARTÍCULO Y CON COPIA A [MONDUNO@CNYN.UNAM.MX](mailto:MONDUNO@CNYN.UNAM.MX).

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

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

# EVENTOS

▼ 9 al 11 de noviembre de 2011

## NanoMex2011



MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

IV ENCUENTRO INTERNACIONAL E INTERDISCIPLINARIO EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA ORGANIZADO POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM) Y CON EL APOYO DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, UNIDAD MÉRIDA. BUSCA IMPULSAR 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.CEIIICH.UNAM.MX/NANOMEX2011](http://WWW.CEIIICH.UNAM.MX/NANOMEX2011)

▼ 25 de noviembre de 2011

## Trends in Nanotechnology (TNT2011)



COSTA ADEJE, TENERIFE, ESPAÑA

CONFERENCIA INTERNACIONAL CUYO OBJETIVO ES PRESENTAR LOS AVANCES MÁS RECIENTES EN NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA. TNT2011 ES UN ESCAPARATE DE LAS POLÍTICAS CIENTÍFICAS QUE SE ESTÁN IMPLEMENTANDO EN DIFERENTES PAÍSES O REGIONES Y DE OTRO TIPO DE INICIATIVAS (CENTROS DE INVESTIGACIÓN, GRANDES INFRAESTRUCTURAS, REDES, ETC). LA SERIE DE CONFERENCIAS TNT CONSTITUYEN UN PUNTO DE ENCUENTRO EN EL QUE INVESTIGADORES DE TODO EL MUNDO TIENEN LA OPORTUNIDAD DE INTERCAMBIAR IDEAS Y ESTABLECER CONTACTOS. EN ESTA OCASIÓN, LA CONFERENCIA SE CELEBRA EN EL HOTEL IBEROSTAR ANTHELI, COSTA ADEJE, EN EL SUR DE TENERIFE, ESPAÑA.

[WWW.TNTCONF.ORG/2011/](http://WWW.TNTCONF.ORG/2011/)

▼ 24 al 27 de octubre de 2011

## Nanotechnology for Defense



HYATT REGENCY, BELLEVUE, WASHINGTON. EUA

EVENTO FINANCIADO POR EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA FUERZA AÉREA, EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE LA ARMADA Y LA OFICINA DE INVESTIGACIÓN NAVAL. BUSCA PRESENTAR LOS AVANCES EN INNOVACIONES NANOTECNOLÓGICAS PARA MAXIMIZAR EL IMPACTO DE LOS USOS DEFENSIVOS Y DUALES.

[WWW.USASYMPOSIUM.COM/NANO/DEFAULT.HTM](http://WWW.USASYMPOSIUM.COM/NANO/DEFAULT.HTM)

▼ 8 al 10 de diciembre de 2011

### Advanced Nanomaterials and Nanotechnology



INDIA

SEGUNDA CONFERENCIA INTERNACIONAL ORGANIZADA POR EL DEPARTAMENTO DE FÍSICA DEL CENTRO DE NANOTECNOLOGÍA DEL INSTITUTO GUWAHATI DE TECNOLOGÍA DE INDIA (IITG). HACE UN LLAMADO A CIENTÍFICOS, TECNÓLOGOS Y JÓVENES INVESTIGADORES DE TODO EL MUNDO PARA DISCUTIR LOS AVANCES RECIENTES EN NANOTECNOLOGÍA, DESDE LO TEÓRICO HASTA LO EXPERIMENTAL Y LAS APLICACIONES DE MATERIALES NANOTESTRUCTURADOS.

[www.iitg.ernet.in/icann2011/](http://www.iitg.ernet.in/icann2011/)

▼ 11 al 15 de diciembre de 2011

### NanoToday Conference



MARRIOTT RESORT , WAIKOLOA, HAWAII, EUA

SEGUNDA CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE MATERIALES Y DISPOSITIVOS NANOESTRUCTURADOS, ORGANIZADA POR EL *JOURNAL NANOTODAY*.

[www.nanotoday-conference.com/](http://www.nanotoday-conference.com/)

▼ 12 al 14 de marzo de 2012

### 4th International Conference on Nanostructures



KISH ISLAND, IRAN

ABORDARÁ TEMAS DE SÍNTESIS, MODIFICACIONES Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NANOESTRUCTURADOS, NANOESTRUCTURAS DE BASE CARBONO, PORPIEDADES MAGNÉTICAS DE NANOESTRUCTURAS, ASÍ COMO APLICACIONES, TEORÍA, MODELIZACIÓN Y MÉTODOS COMPUTACIONALES.

[HTTP://ICNS4.SHARIF.EDU/](http://icns4.sharif.edu/)

▼ 10 al 13 de abril de 2012

**Graphene 2012**



---

**BRUSELAS, BÉLGICA**

EL EVENTO MÁS GRANDE DE EUROPA SOBRE GRAFENO CON EXPERTOS DE PRIMER NIVEL. BUSCA DISCUTIR ASPECTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL MATERIAL, DE CARA A SUS POSIBLES APLICACIONES EN EL FUTURO.  
[WWW.GRAPHENECONF.COM/2012/SCIENCECONFERENCES\\_GRAPHENE2012.PHP](http://WWW.GRAPHENECONF.COM/2012/SCIENCECONFERENCES_GRAPHENE2012.PHP)

▼ 13 al 15 de noviembre de 2012

**NanoSafe 2012**



---

**MINATEC, FRANCIA.**

EVENTO EN EL QUE SE DISCUTE LA PRODUCCIÓN Y USO SEGURO DE NANOMATERIALES. EL CONSORCIO NANOSAFE ESTÁ CONFORMADO POR NUMEROSAS ENTIDADES DE INVESTIGACIÓN Y GRUPOS EMPRESARIALES DE EUROPA.  
[WWW.NANOSAFE.ORG](http://WWW.NANOSAFE.ORG)



