

- ¿Qué tan *suave* debería ser la regulación en nanotecnología?
- Nanomáquinas biológicas
- Efecto teratogénico de nanopartículas de oro
- Nanotecnología en Argentina



REVISTA INTERDISCIPLINARIA EN

---

# Nanociencias y Nanotecnología

Vol. 7, No. 13, julio-diciembre, 2014

[www.mundonano.unam.mx](http://www.mundonano.unam.mx)

# DIRECTORIO

Universidad  
Nacional  
Autónoma  
de México

Dr. José Narro Robles  
*Rector*  
Dr. Eduardo Bárzana García  
*Secretario General*  
Dr. Carlos Arámburo de la Hoz  
*Coordinador de la Investigación Científica*  
Dra. Estela Morales Campos  
*Coordinadora de Humanidades*

Mtro. Juan Manuel Romero Ortega  
*Coordinador de Innovación y Desarrollo*  
Dra. Norma Blazquez Graf  
*Directora CEIICH*  
Dr. Oscar Edel Contreras López  
*Director CNYN*  
Dr. Rodolfo Zanella Specia  
*Director CCADET*

**Mundo Nano** • <http://www.mundonano.unam.mx>

## Editores

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos • [giandelgado@unam.mx](mailto:giandelgado@unam.mx) Dr. Noboru Takeuchi Tan • [takeuchi@cnyun.unam.mx](mailto:takeuchi@cnyun.unam.mx)

## Editor Asociado

M. en C. Rogelio López Torres • [mrlt@unam.mx](mailto:mrlt@unam.mx)

## COMITÉ EDITORIAL

### Física (teoría)

Dr. Sergio Ulloa  
• [ulloa@ohio.edu](mailto:ulloa@ohio.edu)

*Departamento de Física y Astronomía,  
Universidad de Ohio. Estados Unidos*

Dr. Luis Mochán Backal  
• [mochan@em.fis.unam.mx](mailto:mochan@em.fis.unam.mx)

*Instituto de Ciencias Físicas, UNAM. México*

### Física (experimental)

Dr. Isaac Hernández Calderón

• [Isaac.Hernandez@fis.cinvestav.mx](mailto:Isaac.Hernandez@fis.cinvestav.mx)

*Departamento de Física, Cinvestav. México*

### Ingeniería

Dr. Sergio Alcocer Martínez de Castro

• [SAlcocerM@ingen.unam.mx](mailto:SAlcocerM@ingen.unam.mx)

*Instituto de Ingeniería, UNAM. México*

### Microscopía

Dr. Miguel José Yacamán

• [miguel.yacaman@utsa.edu](mailto:miguel.yacaman@utsa.edu)

*Departamento de Ingeniería Química,  
Universidad de Texas en Austin, Estados Unidos*

### Catálisis

Dr. Sergio Fuentes Moyado

• [fuentes@cnyun.unam.mx](mailto:fuentes@cnyun.unam.mx)

*Centro de Nanociencias y Nanotecnología,  
UNAM. México*

Dr. Rodolfo Zanella Specia

• [rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx](mailto:rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx)

*Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo  
Tecnológico, UNAM. México*

Dra. Gabriela Díaz Guerrero

• [diaz@fisica.unam.mx](mailto:diaz@fisica.unam.mx)

*Instituto de Física, UNAM. México*

### Materiales

Dr. José Saniger Blesa

• [jose.saniger@ccadet.unam.mx](mailto:jose.saniger@ccadet.unam.mx)

*Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo  
Tecnológico, UNAM. México*

Dr. Roberto Escudero Derat

• [escu@servidor.unam.mx](mailto:escu@servidor.unam.mx)

*Instituto de Investigaciones en Materiales,  
UNAM. México*

### Ciencia, tecnología y género

Dra. Norma Blazquez Graf

• [blazquez@unam.mx](mailto:blazquez@unam.mx)

*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias  
en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*

### Filosofía de la ciencia

Dr. León Olivé Morett

• [olive@unam.mx](mailto:olive@unam.mx)

*Instituto de Investigaciones Filosóficas,  
UNAM. México*

### Complejidad de las ciencias

Dr. José Antonio Amozurrutia

• [amoz@labcomplex.net](mailto:amoz@labcomplex.net)

*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias  
en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*

Dr. Ricardo Mansilla Corona

• [mansy@servidor.unam.mx](mailto:mansy@servidor.unam.mx)

*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias  
en Ciencias y Humanidades, UNAM. México*

### Medio ambiente, ciencia y tecnología

Dr. Elena Álvarez-Buyllá

• [eabuylla@gmail.com](mailto:eabuylla@gmail.com)

*Instituto de Ecología, UNAM. México*

### Aspectoséticos, sociales y ambientales de la nanociencia y la nanotecnología

Dra. Fern Wicksom

*GenØk Center for Biosafety, Tromsø,  
Noruega*

Dr. Roger Strand

• [roger.strand@svt.uib.no](mailto:roger.strand@svt.uib.no)

*Centro para el Estudio de las Ciencias y  
las Humanidades, Universidad de Bergen.  
Noruega*

Dr. Pedro Serena Domingo

*Instituto de Ciencia de Materiales  
de Madrid-CSIC. España*

### Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow

• [Louis.Lemkow@uab.es](mailto:Louis.Lemkow@uab.es)

*Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental,  
Universidad Autónoma de Barcelona.  
España*

Dra. Sofia Liberman Shkolnikoff

*Psicología-UNAM, México*

Dr. Paulo Martins

• [marpaulo@ipt.br](mailto:marpaulo@ipt.br)

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas do  
Estado de São Paulo, Brasil*

Mtra. Kamilla Kjolberg

• [kamilla.kjolberg@svt.uib.no](mailto:kamilla.kjolberg@svt.uib.no)

*Centro para el Estudio de las Ciencias y  
las Humanidades, Universidad de Bergen.  
Noruega*

### Divulgación

Dra. Julia Tagueña Parga

*CIE-UNAM, México*

Dr. Aquiles Negrete Yankelevich

*CEIICH-UNAM, México*

Dr. Joaquín Tutor Sánchez

*ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas,  
España*

**Cuidado de la edición:** Concepción Alida

Casale Núñez, CEIICH, UNAM

**Formación y administración de Open**

**Journal Systems:** Arturo Villegas Rodríguez,  
CEIICH, UNAM



**Mundo Nano.** Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 7, No. 13, julio-diciembre 2014, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, 04510, D.F., a través del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades y el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ciudad Universitaria, Torre II de Humanidades, 4º piso, Circuito Interior, Delegación Coyoacán, México, 04510, D.F., correo-e: [mundonano@unam.mx](mailto:mundonano@unam.mx), editores responsables: Gian Carlo Delgado Ramos y Noboru Takeuchi Tan. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-010713303600-102, ISSN 2007-5979, Certificado de Licitud de Título y Contenido: No. 15689, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Lito Roda, S.A. de C.V., Escondida No. 2, Col. Volcanes, Tlalpan, México 14640 D.F. Este número se terminó de imprimir en offset en junio de 2014 con un tiraje de 300 ejemplares en papel couché de 90g para los interiores y de 300 g para los forros.

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

# CONTENIDO

Vol. 7, No. 13, julio-diciembre, 2014

## 4 EDITORIAL

### ARTÍCULOS

- 6 ¿Qué tan suave debería ser la regulación nano? Identidades sociales y opiniones de los stakeholders italianos  
*Simone Araldi*
- 28 Nanomáquinas biológicas: los sistemas de secreción bacterianos  
*Pablo Vladimir Cabañas-Romero, Alejandro Huerta-Saquero*
- 37 Nanomateriales con actividad microbicida: una alternativa al uso de antibióticos  
*Roberto Vazquez-Muñoz, Alejandro Huerta Saquero*
- 48 Partículas tipo virus y su potencial aplicación en bionanotecnología  
*Rubén Darío Cadena Nava*
- 56 Biosíntesis de nanomateriales: hacia el avance de la nanotecnología verde  
*Ángela B. Sifontes*
- 69 Efecto teratogénico de nanopartículas de oro de 20 nm durante la septación cardíaca  
*Roberto Lazzarini Lechuga, Omar Alcántar Ramírez, Ricardo Jaime Cruz, Luis Enrique Gómez-Quiroz*
- 78 Los desafíos de la nanotecnología para el “desarrollo” en Argentina  
*Maximiliano Facundo Vila Seoane*

### ENTREVISTA

- 95 José Saniger y Sergio Fuentes pilares de la NyN, reconoce Nanomex
- 100 Semblanza de los galardonados

### NOTICIAS

- 104 VII Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología
- 107 Pulsos de luz controlan el comportamiento eléctrico del grafeno
- 109 Químicos crean nanofibras utilizando un nuevo método, reminiscente de las fibras que se encuentran en las células vivas
- 110 Vibraciones resonantes disparan transferencia de carga en la fotosíntesis

- 111 Bosques de nanotubos pueden cosechar agua del aire
- 112 Mediciones en los imanes más pequeños posibles
- 113 Incertidumbres de la nanotecnología vistas desde el sector de seguros: Zurich
- 114 Nanoburbujas de vapor detectan rápidamente la malaria a través de la piel
- 114 Nanotubos de carbono recubiertos con TNT podrían generar en un futuro electricidad
- 115 Se ataca el cáncer con una “triple amenaza”
- 116 Nanopartículas regulan la expresión génica
- 117 Nanopartículas magnéticas inmersas en plástico son resistentes al estudio de degradación de las articulaciones artificiales
- 117 Magnetos se unen a la carrera por reemplazar transistores en las computadoras
- 118 Plata, demasiado pequeña para ver, pero donde quiera que mires
- 119 Nanoingeniería avanza en materiales de formación de hueso
- 120 MIT y el Tecnológico de Monterrey establecen programa en nanociencias y nanotecnología
- 121 Se describe el tamaño de partícula óptima para nanomedicina contra el cáncer
- 122 Nanodispositivo supersensible de detección temprana de cáncer
- 123 Crean consorcio para explotar tierras raras
- 123 Reconocimiento a generadores de patentes
- 124 Método experimental para reducir toxicidad de nanotubos de carbono
- 125 Impulso al diseño y la construcción de MEMS
- 125 Recubrimiento para implantes metálicos
- 126 Desarrollan nanofármaco para combatir la leucemia
- 127 En búsqueda de nuevos materiales multiferroicos
- 127 Nanotubos para descontaminar agua
- 128 Consulta pública del proyecto de NMX
- 129 Declaratoria de vigencia de NMX en nanotecnología en el DOF

### 131 EVENTOS

### 134 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

Ilustración de bacteria decorada con nanoagregados por Angeles Alegre Schettino, inspirada en imagen de Birgit et al. “Iron-reducing bacteria accumulate ferric oxyhydroxide nanoparticle aggregates that may support planktonic growth”. *ISME Journal* (2013) 7, 338-350.

### Correspondencia:

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



## Editorial

En el presente número se da cuenta de algunas aplicaciones nanotecnológicas en el campo de la salud y farmacología, resultados de investigación en nanotoxicología para el caso de nanopartículas de oro de 20 nm, así como de una revisión del avance de la nanotecnología verde o aquella que utiliza tecnologías ambientalmente amigables para la síntesis de nanomateriales. Asimismo, se examinan las medidas regulatorias de la nanotecnología y el estado del desarrollo de la nanotecnología en Argentina.

El trabajo de Arnaldi presenta un análisis sobre la actual tendencia de regulación suave de la nanotecnología frente aquella mandatoria, ello a partir de trabajo de campo y análisis de entrevistas a diversos actores sociales, desde científicos y empresarios hasta asociaciones de consumidores y ONG. El propósito del autor es dar cuenta de las motivaciones y roles en los procesos de regulación, así como de los comportamientos esperados de los actores involucrados en el desarrollo de la nanotecnología y sus razonamientos para justificar su apoyo o rechazo a diversos instrumentos regulatorios.

Cabañas y Huerta muestran en su artículo el modo en que los sistemas de secreción bacterianos (bacterias Gram-negativas) funcionan como nanomáquinas biológicas (vehículos) para la entrega, a células específicas, de proteínas de interés terapéutico, por ejemplo, en el tratamiento de tumores cancerosos.

Vázquez y Huerta revisan el potencial de las nanopartículas de plata a modo de alternativa al uso de antibióticos tradicionales y sus efectos no deseados, como son la aparición de microorganismos resistentes. Aplicaciones derivadas para tratar la neumonía, la tuberculosis, infecciones nosocomiales y micosis en pacientes inmunocomprometidos, son aludidas por los autores al tiempo que se reconoce el potencial riesgo de su uso para la salud humana y el entorno; una cuestión que obliga a desarrollar más la investigación tanto de las aplicaciones como de la nanotoxicología. Por su parte, Cadena indaga el uso de nanopartículas tipo virus pues al estar constituidas por una cápsula de proteínas virales ordenadas simétricamente sin su material genético, éstas pueden contener en calidad de carga algún fármaco o información genética en forma de ADN o ARN, enzimas o nanopartículas metálicas para el tratamiento de diversas patologías.

Lazzarini, Alcántar, Cruz y Gómez indagan los efectos teratogénicos de nanopartículas de oro durante la septación cardiaca en embriones de pollo, encontrando efectos adversos como el incremento de 7.9 veces la tasa de mortalidad por exposición a las nanopartículas de oro de 20 nm que el grupo de control; al igual que defectos en la cardiogénesis, principalmente la doble salida del ventrículo derecho, acompañada de comunicación interventricular.

Sifontes presenta una revisión de las aplicaciones de tecnologías ambientalmente amigables para la síntesis de nanomateriales, en particular de

óxidos metálicos, a partir de un enfoque para la fabricación sobre la base de una renovada conexión entre biotecnología y nanotecnología.

Finalmente, Vila delinea las principales características de la política pública en nanotecnología de Argentina, bosquejando el modelo de intervención gubernamental, el Sistema Nacional de Innovación, junto con sus debilidades, ello como vía para, posteriormente, sugerir la inclusión de actores de la sociedad civil en el diseño de las políticas en nanotecnología y de ciencia y tecnología en general, con el propósito de contribuir de manera más consensuada en la genuina resolución de problemas sociales y ambientales de esa nación.

El número, además, reseña también la séptima edición de Nanomex 2013. Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología, realizado en el marco del Congreso Internacional Multidisciplinario de Nanociencias y Nanotecnología celebrado del 9 al 13 de junio, en Pachuca, Hidalgo, con la participación de invitados expertos internacionales y nacionales, de numerosos estudiantes y docentes de las universidades tecnológicas de la región. De igual modo, se destaca la entrega, en este mismo evento, del reconocimiento por trayectoria académica y aporte a la nanociencia y nanotecnología en México, al Dr. Sergio Fuentes Moyado, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, y al Dr. José Mauel Saniger Blesa, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, también de la UNAM. Felicidades a nuestros colegas.



# ¿Qué tan suave debería ser la regulación nano? Identidades sociales y opiniones de los *stakeholders* italianos\*

Simone Arnaldi\*\*

**RESUMEN:** Después de revisar algunas de las iniciativas más relevantes de regulación suave en el campo de lo nano y de examinar algunos de los factores más relevantes que explican el reciente rol de la regulación suave en la gobernanza nanotecnológica, el presente trabajo explora las representaciones mutuas de los *stakeholders* italianos sobre la nanotecnología para mostrar cómo las consideraciones acerca de la identidad (percibida), en términos de motivaciones y roles en los procesos de regulación y comportamientos esperados en los actores sociales que están involucrados en el desarrollo de la nanotecnología, entran en los razonamientos de los actores para justificar la elección, apoyo o desecho de diferentes soluciones e instrumentos regulatorios, dígase la alternativa entre regulaciones suaves y regulaciones mandatorias.

**PALABRAS CLAVE:** nanotecnología, representaciones de los *stakeholders*, identidades sociales, regulación suave, Italia.

**ABSTRACT:** After reviewing some major soft-regulatory initiatives in the nano-field and examining some of the most relevant factors explaining the growing role of soft-regulation in nanotechnology governance, the paper explores the mutual representations of Italian *stakeholders* in nanotechnology to show how considerations about the (perceived) identity, in terms of motivations, roles in the regulatory process and expected behaviour, of the social actors that are involved in nanotechnology development enter actors' reasonings to justify the selection, support, or discard of different regulatory solutions and instruments, namely the alternative between soft regulation and mandatory rules.

**KEYWORDS:** nanotechnology, *stakeholder* representations, social identities, soft regulation, Italy.

---

\* Traducción por Gian Carlo Delgado Ramos. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM.

\*\* Investigador del Centro para la toma de decisiones ambientales, éticas, legales y sociales sobre tecnologías emergentes (CIGA) de la Universidad de Padova, Italia. Departamento de Ciencias Políticas, Derecho y Estudios Internacionales de la Universidad de Padova, Padova, Italia. Es también profesor en temas de prospectiva en la Universidad de Trieste, Italia. Sus intereses de investigación se centran en las representaciones sociales sobre las tecnologías emergentes, así como en la participación pública en la toma de decisiones en torno al avance tecnológico. Correspondencia: (simone.arnaldi@unipd.it).

## Introducción

La nanotecnología ha sido considerada como una prioridad en la investigación y el enfoque político, atravesando diversos campos de investigación y desarrollo, desde farmacéuticos, hasta alimentos y electrónicos. Dicha atención renovada ha sido estimulada por expectativas acerca de los impactos positivos de la nanotecnología en el medio ambiente, la salud humana y la sociedad, lo que usualmente ha resultado en un apoyo decidido y entusiasta (por ejemplo, Comisión Europea, 2004A; NSTC, 1999). Al mismo tiempo, han aumentado las preocupaciones alrededor de los posibles efectos de la nanotecnología en el medio ambiente, la salud y la sociedad, llevando a un amplio abanico de reacciones, desde el llamado a una moratoria (ETC Group, 2004), hasta recomendaciones más moderadas como la solicitud de más investigación sobre riesgos (Comisión Europea, 2004a y 2008).

En general y como consecuencia de tales preocupaciones, la gobernanza de la ciencia y la tecnología (*governance framework*) ha sido objeto de escrutinio, pues a menudo se percibe como parcialmente insuficiente o radicalmente inadecuada para hacer frente a los desafíos que acarrea consigo la nanotecnología. Los arreglos renovados de gobernanza emergidos de este proceso en marcha parecen caracterizarse por dos características paralelas: el creciente rol de los instrumentos regulatorios-suaves y la creciente importancia del involucramiento de los *stakeholders*.<sup>1</sup> Estas dos características se refuerzan mutuamente: conforme más espacio es concedido a la regulación-suave, más relevancia adquieren los *stakeholders*, los que, a su vez, ganan más influencia en modelar el marco de gobernanza en un sistema de regulación “suave”. Este trabajo aborda dichas conexiones mutuas.

Este artículo comienza con una breve discusión en torno a las iniciativas más importantes de regulación suave en el campo de lo nano en Europa y EUA (sección 2), y examina algunos de los factores más relevantes que explican el creciente papel de la regulación suave en la gobernanza nanotecnológica (sección 3). Posteriormente, se presenta el diseño empírico que se desprende de este trabajo al tiempo que son atendidas las preguntas de investigación que se han planteado (sección 4). Los resultados más importantes son presentados a continuación para ilustrar cómo las consideraciones acerca de la identidad (percibida), en términos de motivaciones, roles en el proceso regulatorio y comportamiento esperado, de los actores sociales que están involucrados en el desarrollo de la nanotecnología, entran en los razonamientos de los actores para justificar la selección, respaldo o desecho de diferentes soluciones e instrumentos de regulación, dígame la alternativa entre la regulación suave y mandatoria (sección 5). Se cierra con observaciones que resumen los resultados más relevantes de la investigación.

---

1 Nota del traductor: se mantiene el concepto en inglés. Alude a partes o públicos interesados que pueden o no tener una apuesta (algo) o un “*stake*” en juego.

## Regulación de la nanotecnología: todo lo que necesitas es suave

Los enfoques de la gobernanza tanto de los riesgos como de los beneficios, se han caracterizado cada vez más por involucrar una amplia variedad de *stakeholders* o partes interesadas en la formulación de políticas y regulación, un involucramiento considerado como condición para la sustentabilidad y aceptación social del emprendimiento nanotecnológico (por ejemplo, Mehta, 2004; Neresini, 2006). La necesidad de involucrar a los *stakeholders* se ha enfatizado para asegurar una gobernanza robusta sobre las implicaciones de la nanotecnología en el medio ambiente, la salud humana, y, en general, la sociedad (Macnaghten *et al.*, 2005; Forloni, 2012; Russel, 2013). Kurath (2009) ha definido como “esquemas de gobernanza orientados a la regulación” a los enfoques “voluntarios e informales de regulación incluidos por las autoridades públicas, supranacionales y de organismos internacionales”, en donde varios *stakeholders* son llamados a (co-)producir esquemas regulatorios (suaves y autorregulatorios), aunque con varias formas y diferentes niveles de normatividad legal.

Este espacio creciente para los *stakeholders* en la regulación de la nanotecnología es consecuencia de la intersección de la rápida consolidación del consenso de la gran importancia del involucramiento temprano tanto de *stakeholders* como del público en general para una efectiva y sustentable política científica (von Schomberg, 2010) y el cambio paralelo de leyes duras y políticas regulatorias de comando-y-control hacia prácticas suaves y de autorregulación. Existen diversos ejemplos al respecto (véase la tabla 1, para una revisión panorámica basada en el nivel de las iniciativas de regulación y el tipo de pionero). El Código de Conducta de la Comisión Europea para la investigación responsable en nanociencias y nanotecnologías es uno de los más prominentes. El código define un conjunto de principios generales y una guía para las acciones que deben tomarse por parte de los *stakeholders* en el ámbito de las nanociencias y las nanotecnologías (NyN), al tiempo que se enfoca en impulsar esfuerzos por parte de los estados miembro de la Unión Europea y de actores no estatales (públicos y privados) en la gobernanza de las nanotecnologías. El Esquema de Reporte Voluntario para Materiales Diseñados a la Nanoescala, promovido por el Departamento Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del gobierno del Reino Unido en 2006-2008, es un ejemplo de un instrumento nacional avocado a estimular un interés de parte de los importadores y productores de nanomateriales diseñados para proveer al Departamento de Información Comprensiva las características de los materiales así como información sobre la toxicidad y ecotoxicidad (DEFRA, 2008a, 2008b). De modo similar, la Agencia de Protección Ambiental de EUA (EPA, por sus siglas en inglés) implementó formalmente en 2008-2009 su propio programa de gestión voluntario para materiales nanoestructurados bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA por sus siglas en inglés).

A través de dicho programa voluntario de recolección de información, la EPA intentó ensamblar de modo colaborativo los datos e información existente por parte de los productores, importadores y procesadores de nanomateriales como un esfuerzo para generar información más detallada de ciertos nanomateriales. Se esperaba que esta colaboración entre la EPA y la industria generara datos y análisis para caracterizaciones más completas de materiales y para incrementar el entendimiento de las implicaciones de tales nanomateriales para con el medio ambiente, la salud y la seguridad, de tal suerte que se pudiera garantizar de manera segura tanto la manufactura, como el procesamiento, distribución, uso, almacenamiento y desecho (EPA, n.d.).

Mientras estos ejemplos de regulación suave comparten el hecho de ser impulsados por autoridades públicas, las organizaciones privadas también han lanzado iniciativas de regulación de carácter colectivas y voluntarias. Un ejemplo prominente es el Nano-código de Responsabilidad que “tiene como propósito proveer de una guía clara acerca del comportamiento esperado de las compañías en relación con sus actividades en nanotecnología” (NIA, n.d.) a través de la implementación de un conjunto de “principios” que van de la “rendición de cuentas de su junta”(Principio 1) y la “seguridad y salud del trabajador” (Principio 3) hasta “ampliar las implicaciones e impactos sociales, ambientales, a la salud y éticos” (Principio 5). Compañías como DuPont y BASF han desarrollado políticas internas, códigos de conducta y esquemas de evaluación, para el desarrollo responsable de las nanotecnologías, asegurando la producción segura, el uso y desecho de nanomateriales y la identificación, manejo y reducción de potenciales riesgos a la salud, de seguridad y ambientales (DuPont, 2012; BASF, n.d.). Además, la industria y otras partes interesadas están activamente involucradas en iniciativas internacionales para la gobernanza de la nanotecnología. Desde 2005, el Comité Técnico 229 de la ISO provee oportunidades e intercambio y coordinación de *stakeholders* en temas como la terminología y nomenclatura, metrología e instrumentación —incluyendo especificaciones de referencias de nanomateriales—, metodologías para pruebas, modelación y simulado, y prácticas en materia de salud, seguridad y ambiental con bases científicas (ISO, n.d.). Finalmente, las iniciativas como ResponsibleCare® por parte de la industria química, a pesar de no ser específicamente “nano”, son igualmente relevantes (Heinemann y Schäfer, 2009). ResponsibleCare® tiene el propósito de ir más allá del cumplimiento legislativo y regulatorio al adoptar iniciativas voluntarias y de cooperación con el gobierno y otras partes interesadas (ICCA, 2006) y compromete “a la industria química global [a] extender procesos de diálogo locales, nacionales y globales para facilitar que la industria pueda tomar en cuenta las preocupaciones y expectativas de *stakeholders* externos, ello con el propósito de continuar el desarrollo de *Responsible Care*” (ICCA, 2006: 6).

**TABLA 1.** Iniciativa suave y autorregulatoria. Algunos ejemplos.

IMPULSOR	NIVEL DE LA INICIATIVA	
	Nacional	Internacional/Supranacional
<b>Público</b>	Esquema de reporte voluntario para materiales diseñados a la nanoescala (Reino Unido) Gestión voluntaria para materiales nanoestructurados de la EPA – EUA	Código de Conducta de la Comisión Europea
<b>Privado</b>	Nanocódigo de Responsabilidad	ISO TC 229 ResponsibleCare®

## La regulación en la política, ¿qué tan suave debe ser?

Como una aproximación burda, puede decirse que la cada vez más importante regulación suave es consecuencia de tres procesos que se intersectan. Primero, la transformación fundamental inducida por la globalización provee un marco general para establecer la relevancia de la regulación suave. Afectando el rol previamente no disputado del Estado nación para establecer regulaciones a nivel doméstico (a través de mecanismos tradicionales de comando y control) e internacional (mediante las formas de la ley pública internacional) (Ferrarese, 2000; Malsch, 2013, con respecto a la ciencia y la tecnología), la globalización abre espacio para la regulación por parte de actores no estatales. Segundo, la regulación suave es útil para los reguladores en tanto que constituye una herramienta para aprovechar las ventajas de acceder a información por parte de aquellos actores que han de ser regulados. Esto es considerado un activo importante en el campo de las tecnologías emergentes, caracterizadas por un alto grado de incertidumbre y ante las cuales los reguladores carecen de recursos o de información necesaria para desarrollar reglas mandatorias apropiadas “de limitación-discreta” (Dorbeck-Jung y Shelley-Egan, 2013). Tercero, en situaciones inciertas, los tomadores de decisiones buscan mejorar la legitimidad y sustentabilidad de las decisiones cuya incertidumbre empuja “la toma de decisiones regulatorias hacia una dirección más política” (Falkner y Jaspers, 2012). Una alta incertidumbre científica hace que las opciones regulatorias sean más ‘políticas’ en tanto que “[requieren] sopesar algunas veces valores en competencia, tales como la promoción de la tecnología *versus* la prevención del daño. Los criterios de la evaluación científica del riesgo por sí mismos no pueden guiar a los reguladores y a los tomadores de decisiones en tales situaciones. En cambio, un amplio rango de factores entran en los cálculos que informan la acción regulatoria, desde la ideología política y las actitudes sociales ante el riesgo, hasta los intereses nacionales o de sectores económicos” (Falkner y Jaspers, 2012). En este contexto, la regulación suave es usada en procesos en los que

“se necesita construir un consenso participativo en torno a decisiones legales y políticas” (Pariotti, 2011: 516) y cuando las configuraciones institucionales y organizacionales de las acciones regulatorias “proveen poco espacio para la articulación de intereses diferentes y conflictivos. Esto no significa que los conflictos desaparezcan sino que podrían tomar otras rutas o podrían quedar en ‘espera’” (Garsten y Jacobson, 2013: 422). Este “nuevo modo de gobernanza” (Scott y Trubeck, 2002; Pariotti, 2011) tiene algunas características distintivas aceptablemente traducidas a la regulación suave: participación y distribución de poder, integración de diferentes niveles de gobernanza, diversidad y descentralización, expansión del espacio para la deliberación entre las partes interesadas, flexibilidad y revisabilidad, experimentación y naturaleza tentativa. Bowman y Hodge (2007) hablan provocativamente de una gobernanza para la nanotecnología “sin gobierno” en torno a su opinión sobre los esfuerzos del sector privado para desarrollar instrumentos innovadores de regulación. “Estos desarrollos han llevado a nuevas relaciones y alianzas cambiando la atención de la regulación estatal tradicional hacia una regulación de estructuras policéntricas en las que el gobierno no es la única fuente de autoridad para la toma de decisiones.” (Kika y Bowman, 2012). En este contexto, la regulación suave ha sido vista con particular interés como una herramienta para la armonización internacional y la coordinación de marcos regulatorios (Bowman y Hodge, 2007; Marchant *et al.*, 2009).

A pesar de la difusión sobre la regulación suave, las opiniones no son unánimes en lo que respecta a la evaluación de los resultados, tanto en términos de eficacia como de efectividad. Esto es cierto para la literatura académica y en las opiniones de los *stakeholders* (estas últimas son el aspecto más importante para nuestra discusión). Por tanto Maynard y Rejeski (2009) reconocen la falla del reporte voluntario de nanomateriales por parte de la industria y afirman que las medidas mandatorias serían un paso en la dirección correcta. Marchant y Abbott (2013) dan cuenta de que la implementación e impactos de las iniciativas de regulación suave de la nanotecnología existentes a nivel internacional han sido inconsistentes y limitadas hasta la fecha. Sokes (2013) argumenta que ante las considerables incertezas, los *stakeholders* regulatorios prefieren métodos de regulación de comando usualmente convencionales. En Europa, la Confederación Europea de Uniones de Comercio (ETUC, por sus siglas en inglés) ha pedido provisiones más estrictas y la aplicación más extensiva de las reglas de reporte mandatorio existente para los químicos bajo la denominada regulación REACH (ETUC, 2008 y 2010; Ponce del Castillo, 2013).<sup>2</sup>

Un giro significativo gradualmente sucedió en la regulación también. En 2009, el Parlamento Europeo hizo un llamado para la adopción de una

---

2 Nota del traductor: la regulación REACH relativa a químicos puede consultarse en: <<http://echa.europa.eu/regulations/reach>>.

regulación específica que aplica el principio precautorio, el principio de responsabilidad del productor y el principio “el que contamina paga”, pidiendo, además, que se consideren las nanotecnologías en la legislación de químicos (REACH), alimentos, condiciones de los trabajadores, calidad del aire y residuos.<sup>3</sup> Inmediatamente después de esta resolución parlamentaria, se adoptó una regulación sobre cosméticos que contenía diversas provisiones, especialmente en lo referente a nanomateriales.<sup>4</sup> En 2011, la Comisión Europea dio a conocer la primera definición de nanomateriales en la legislación de la Unión Europea<sup>5</sup> y una nueva regulación sobre el etiquetado de alimentos explícitamente consideró los nanomateriales.<sup>6</sup> Finalmente, a principios de 2012, otra resolución del Parlamento Europeo sobre productos biocidas, que explícitamente consideró los nanomateriales, comenzó un proceso de revisión sobre el tema (esta reconstrucción se basa en Ruggiu, 2013). En EUA, a principios de 2013, la EPA propuso bajo la Ley de Control de Sustancias Tóxicas, un programa obligatorio de reporte para diversos nanomateriales (EPA, n.d.)

Es importante mencionar que ninguna de estas posiciones rechaza del todo la regulación suave. En cambio, se disputa qué combinación de instrumentos regulatorios puede constituir una mezcla integral efectiva de participación pública y privada, medidas duras y suaves, para asegurar un desarrollo sustentable y seguro del sector.

## Diseño de la investigación e implicaciones para el estudio del vínculo entre identidades percibidas y opciones regulatorias

Como consecuencia del rápido aumento en la importancia de los *stakeholders* en la modulación del marco de gobernanza de la nanotecnología, la construcción de un conocimiento basado en actitudes socialmente distribuidas y de opiniones de la regulación de la nanotecnología han ganado interés tanto por parte de los investigadores (por ejemplo, Helland *et al.*, 2006; Cormick, 2009; Corley, 2013; Meili, 2006; van Broekhuizen y Schwarz, 2010; Moore,

---

3 Resolución del Parlamento Europeo del 24 de abril de 2009 sobre aspectos de regulación sobre nanomateriales (2008/2208(INI)).

4 Regulación (EC) No 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo del 30 de noviembre de 2009 sobre productos cosméticos OJ L349/59.

5 Recomendación de la Comisión Europea del 18 de octubre de 2011 sobre la definición de nanomaterial 2011/696/EU, 2011 OJ L275/38.

6 Regulación (EC) No 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo del 25 de octubre de 2011 sobre la provisión de información al consumidor sobre alimentos, enmienda las Regulaciones (EC) No 1924/2006 y (EC) No 1925/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, y revocando la Directiva de la Comisión 87/250/EEC, la Directiva del Consejo 90/496/EEC, la Directiva de la Comisión 1999/10/EC, la Directiva 2000/13/EC del Parlamento Europeo y la del Consejo, y las Directivas de la Comisión 2002/67/EC y 2008/5/EC, y la Regulación de la Comisión (EC) No 608/2004, OJ L304/18.

2010; Mantovani y Porcari, 2010; Weil, 2013; Sahoo, 2013) como de los intereses de la política (Comisión Europea, 2007 y 2009).

Este trabajo pone atención en una investigación de pequeña escala basada en el análisis cualitativo de entrevistas semiestructuradas a 14 *stakeholders* italianos trabajando en el campo de la nanotecnología para explorar sus opiniones sobre la regulación suave. Las entrevistas fueron realizadas en 2010 como parte de un proyecto que buscaba obtener una idea sobre las opiniones de las relaciones entre nanotecnología y regulación, explorando tres grandes dimensiones relacionadas con la regulación (Arnaldi *et al.*, 2010a, 2010b): las opiniones de la consistencia de las regulaciones existentes y la necesidad de definir nuevos marcos regulatorios; el momento en que esos cambios deberían ser implementados; los modos de implementación de un nuevo marco regulatorio o de ajuste del actual con una mirada más cercana a la comercialización de nanoproductos (véase, en el Apéndice, el modelo de entrevista). Siguiendo una orientación consolidada en la literatura y en las iniciativas de consulta pública, los *stakeholders* entrevistados pertenecen a cuatro grandes grupos sociales: académicos investigadores, empresas privadas (investigadores y otros representantes de las empresas), organizaciones de la sociedad civil (asociaciones de consumidores, ONG ambientalistas), reguladores públicos y políticos.

Es importante aclarar que este texto no es una reproducción de los resultados que ya han sido presentados, ni las opiniones de la regulación (suave), como tal, son objeto del presente análisis. Por tanto, la meta de este artículo no es proveer una visión general del posicionamiento de los *stakeholders* en el debate regulatorio actual (aunque muchas de las principales cuestiones siguen siendo pertinentes y están abiertas), sino contribuir a una cuestión más general. La información recogida en este proyecto es examinada para ilustrar cómo las consideraciones de la identidad percibida de los actores sociales involucrados en el desarrollo de la nanotecnología se incorporan en los razonamientos de los actores para justificar su selección, apoyo o rechazo de diferentes soluciones e instrumentos regulatorios, dígame la alternativa entre la regulación suave y las reglas mandatorias.

Esta pregunta de investigación se basa en la comprensión consolidada de que la recepción del conocimiento científico, los desarrollos tecnológicos y sus consecuencias “nunca es, y nunca será, puramente un proceso intelectual sobre la recepción del conocimiento *per se*. La gente experimentó esto en la forma de relaciones sociales materiales, interacciones e intereses y, por tanto, ellas, lógicamente, definen y juzgan el riesgo, la información sobre el riesgo u otras formas de conocimiento científico como juez y parte de ese “paquete social” (Wynne, 1992: 281-282). Mientras esta perspectiva ha caracterizado los esfuerzos de investigación en la asimilación de la ciencia por el público en general (para una revisión panorámica de los apuntes e implicaciones de este punto de vista sobre las relaciones ciencia-sociedad en el contexto Europeo, véase Felt y Wynne, 2007) este trabajo amplía esta

perspectiva para explorar cómo las identidades sociales de los actores (Wynne, 1992 y Limoges, 1993) influyen la aptitud percibida en torno a diferentes alternativas regulatorias en un dominio tecnológico, dígame la alternativa entre regulación suave y reglas mandatorias (para un antecedente, véase MacCoubrie, 2006). Dos dimensiones cruciales de estas identidades son aquí consideradas: (1) las motivaciones e intereses (percibidos) de los actores involucrados en el desarrollo del campo nano; (2) el rol que juegan en el proceso regulatorio. En ese esfuerzo, el trabajo adopta una postura en la regulación consistente con el creciente reconocimiento de que los intereses, valores y motivaciones en la toma de decisiones en contextos de incertidumbre son relevantes y que, por tanto, no pueden ser guiados sólo por evaluaciones científicas de riesgo (véase Falkner y Jaspers, 2012).

## Explorando los empalmes de la regulación y de las identidades sociales

Esta sección examina las entrevistas realizadas para subrayar dos temas relevantes para nuestra pregunta de investigación: (1) los rasgos de las identidades de los actores en términos de sus motivaciones, intereses y roles en los procesos regulatorios tal y como son percibidos por los entrevistados; (2) el vínculo entre esas percepciones de los actores a ser regulados y las opiniones sobre las alternativas de regulación, dígame la alternativa entre reglas mandatorias y de regulación suave. El propósito es proveer un soporte inicial empírico a la hipótesis desarrollada anteriormente.

### Mostrando las identidades: motivaciones y roles

Nuestra breve discusión comienza desde el protagonista de la ola nanotecnológica, los científicos y su autorrepresentación. La mayoría de los investigadores entrevistados aceptaron que los científicos comparten un código convincente de conducta y que, por tanto, ningún investigador lastimaría a la sociedad bajo su conocimiento.

*Ninguno de nosotros aprobaría una aplicación nanotecnológica sin una suficiente base de conocimiento [a cerca de sus efectos]. (Investigador)*

Mientras sólo una pequeña minoría reta el punto de vista de los científicos (“lo que podría pasar es que alguien pudiera pensar que: ‘porque no tengo resultados, intento todo’”. [Investigador]), su integridad y su fuerte compromiso ético hacia la profesión hace que los científicos sean de confianza.

*Yo confío en mis colegas de laboratorio en química. Confío en mis colegas, nosotros sabemos qué es peligroso para la salud humana y qué no lo es, ellos lo han estudiado mucho. No hay un científico loco. Hacemos todo lo que podemos con conciencia. (Investigador)*

Mientras los científicos y sus roles son por lo general incuestionables, el punto de vista de la industria es en cambio muy confrontado. Por un lado, se reconoce el rol pivote de la industria en el desarrollo de la nanotecnología en tanto que tiene un papel crucial e incluso exclusivo, en la transferencia de beneficios de la investigación nanotecnológica a la sociedad a través del desarrollo y comercialización de productos industriales. Por otro lado, el conocimiento de la industria es considerado igualmente tan necesario para delinear un panorama regulatorio efectivo: los científicos y la industria alimentan la regulación y la producción colaborativa de conocimiento científico; esto es una condición necesaria para la toma de decisiones entre estos dos actores.

*El rol de la industria es importante, la investigación [científica-académica] tiene una visión parcial de la realidad. (Investigador)*

*Nosotros, los investigadores, experimentamos grandes dificultades para entender qué problemas reales existen. (Investigador)*

*Un desarrollo responsable y sustentable de las nanotecnologías requiere el intercambio de información y la cooperación con las compañías manufactureras. (Autoridades públicas)*

Mientras la autorrepresentación de las empresas, según las entrevistas, está generalmente libre de problemas en lo que respecta tanto a la IyD como a las actividades de comercialización, otros actores expresan opiniones contrarias. En general, las empresas son percibidas como actores que persiguen exclusivamente ganancias económicas, aspecto que previene que éstas abracen compromisos sociales más amplios.

*Desafortunadamente, [...] las empresas tienen la meta de [...] maximizar las ganancias. (Investigador)*

Por tanto, la confianza en las empresas es baja.

*No hay una compañía justa si la justicia no es un requisito para la ganancia o una obligación. (Investigador)*

Las autoridades públicas son vistas como un tercer e imparcial actor ubicado entre la autointeresada industria y los científicos estimulados por la curiosidad. Suficientemente interesante, los entrevistados caracterizan a las autoridades públicas en términos de la protección de los ciudadanos ante los riesgos relacionados con el avance tecnológico y al comportamiento injusto por parte de otros actores sociales (especialmente de las empresas), en lugar de enfatizar su rol para dirigir la innovación y estimular los negocios.

*La cooperación voluntaria sería mejor, pero la falta de un marco institucional podría obstaculizar, de hecho, la posibilidad de alcanzar un resultado. Debe haber de algún modo una entidad a cargo de definir normas y regulaciones. Esto es, una tarea política.* (Investigador)

*El rol de las autoridades públicas es indispensable para regular, no sólo [porque pueden definir] estándares obligatorios, sino [también porque deciden] los criterios de validación de los métodos de medición, de equipos, cuestiones de definiciones y materiales de referencia, todo con el objeto de armonizar comportamientos y hacer los datos comparables.* (Autoridades públicas)

En lo que concierne a las Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC), las entrevistas (ver apéndice) enfatizan el rol de las Asociaciones de Consumidores, como un tipo específico de organizaciones de la sociedad civil, y a todos los entrevistados se les pidió que apreciaran su actividad en el proceso de regulación. De acuerdo con las entrevistas, las asociaciones de consumidores parecen tener un rol importante pero indirecto en tanto que son vistas como mediadores de los flujos de comunicación de los expertos hacia el público. Los entrevistados se consideraron como actores clave para la disseminación de información básica en nanotecnología hacia el público en general, expandiendo así un entendimiento racional de los aspectos relacionados con la nanotecnología, evitando la difusión de miedos irracionales entre los ciudadanos e, indirectamente, la solicitud de soluciones regulatorias injustificadas derivadas de una respuesta a “falsas y peligrosas alarmas”. (Autoridades públicas)

*[Las asociaciones de consumidores] son esenciales en este país [Italia] [...] deberían ser valoradas y culturalmente equipadas e informadas acerca de los resultados [de investigación] de tal suerte que se les pueda hacer entender si alguna cosa es realmente peligrosa o no. Debemos tenerlas en una alta estima.* (Investigador)

*[Las asociaciones de consumidores] son muy útiles. Colaborar con ellas es importante.* (Empresa)

*Las asociaciones de consumidores deben tener un papel en este campo [el de la nanotecnología] con institución de investigación y agencia ambiental, etcétera [...] El proceso de creación de la esfera pública puede influir el desarrollo de la nanotecnología y sus aplicaciones para hacerlas más sustentables y responsables.* (Autoridades públicas)

Las relaciones mutuas entre estos actores y sus roles son enmarcadas por una visión un tanto tradicional de la *expertise* científica y la regulación política: a la primera se le asigna el rol de solucionar problemas regulatorios y discernir racionalmente opciones alternativas de política; a la última, el de cuidadosamente traducir la asesoría científica en acción subsecuente. En

suma, más ciencia significa mejores decisiones y esta percepción no es limitada a la autorrepresentación de los científicos.

*Sociedades expertas. Especialmente las internacionales porque representan mejor el mundo de la ciencia. (Investigador)*

*Los nanomateriales no deben ser descritos en la comunicación pública como potencialmente peligrosos porque aún no hay evidencia científica, aunque alguna evidencia está ya disponible para nanoproductos específicos. (Autoridades públicas)*

*Una cuestión permanece sin respuesta: quién informa a los reguladores? [...] por un lado, la expertise científica es una condición básica. Por el otro lado, los cuerpos públicos competentes adoptan la legislación. (Investigador)*

Por tanto, los entrevistados concuerdan en que el conocimiento científico es indispensable para alimentar las opciones regulatorias y de política pública. Los expertos científicos tienen por tanto un papel primario en la toma de decisiones.

*Son los expertos científicos quienes deben evaluar [la nanotecnología]. (Investigador)*

*Los científicos deben hacer la primera revisión. Los tomadores de decisiones políticas deben estar preparados. (Investigador)*

*Los clústers [de investigación] deberían tener un rol integral. En un clúster hay la expertise científica y nanotecnológica [que es necesaria] para definir los lineamientos. (Empresa)*

Dado el rol que los entrevistados asignan a las asociaciones de consumidores para disseminar información balanceada sobre nanotecnología entre el público en general, la recolección de pruebas científicas sólidas es también una condición preliminar para sus actividades. Ellas necesitan de expertos que puedan guiar sus acciones gracias a su entendimiento científico sobre los temas por ser debatidos.

*Si [las asociaciones de consumidores] tienen expertos que aclaran la información, entonces los contrastes dejan de ser ideológicos y, en cambio, reflejan la divergencia de intereses de diferentes grupos focales. Si [estos grupos focales] son correctamente informados, entonces [el debate público] es bueno. (Investigador)*

*[Las asociaciones de consumidores] podrían [ayudar] a evitar guerras de religiones [...]. Las asociaciones de consumidores podrían tener una importante participación en informar y aumentar la conciencia de los consumidores. Sin embargo, tienen que colaborar con los expertos y no confrontarlos. (Investigador)*

*La información [por parte de las asociaciones públicas] debería tener validez científica para poder rechazar alarmas falsas y peligrosas. (Autoridades públicas)*

## Identidades y opiniones regulatorias

¿Qué soluciones regulatorias apoyan los entrevistados? Como hemos propuesto arriba, las identidades percibidas de los diversos actores sociales a ser regulados, por ejemplo, sus motivaciones, intereses, roles, son referidos como justificaciones para seleccionar, apoyar o desechar diferentes opciones regulatorias. Ejemplificando, los reguladores están exentos de citar investigación e investigadores; como autorregulación por parte de la comunidad investigadora se considera altamente efectivo gobernar un campo tecnocientífico que, pese a ser proclamado una novedad, se enmarca en términos bastante tradicionales, esto es, como resultado del impulso de la curiosidad y de la presencia de la empresa sin valores.

*La seguridad es ciertamente importante [...] pero no puedes establecer límites que sean muy rígidos pues eso detendría la investigación experimental. (Investigador)*

*Mis colegas de química se autorregulan en tanto que son los que van a menudo al laboratorio. (Investigador)*

Los problemas empiezan cuando la nanotecnología sale de los laboratorios. Mientras la observancia voluntaria y competente de los científicos en las actividades de investigación es asumida como suficiente para el exitoso manejo de riesgos potenciales en la investigación y desarrollo, en la comercialización de nanoproductos surgen las más serias preocupaciones entre los *stakeholders*.

*Las medidas regulatorias y legislativas son mucho más importantes para la comercialización de los productos de la nanotecnología que para la investigación. Yo creo que las autorrestricciones [de los científicos] nos permitiría dejar al laboratorio con mayor libertad mientras que en cambio enfocamos nuestra atención a lo que sucede en los supermercados. (Investigador)*

Por tanto, la intervención pública es solicitada para implementar constricciones efectivas al comportamiento de la industria para así poder proteger a la sociedad como un todo. En relación con el interés de las empresas de servir el “interés general”, una nota de escepticismo y desilusión es aparente en las entrevistas a los investigadores.

*Desafortunadamente [...] las empresas tienen la meta de [...] maximizar las ganancias. La comunidad de investigadores puede ofrecer una contribución pues en mi opinión, es peligroso asignar la responsabilidad de delinear la regulación sólo a las empresas. Debe haber*

*alguien imparcial. [...] Y no dejaría a las empresas decidir. [...] Algunas veces, la salud de la gente no es una prioridad para las empresas industriales. [...] Las empresas podrían ofrecer una contribución, pero su rol no debe ser muy importante. [...] La regulación debería ser definida por una entidad sin intereses en juego. [Por tanto] debe ser un cuerpo público objetivo. (Investigador)*

En consecuencia, la efectividad de una regulación suave [o autorregulación] como principal solución es cuestionable. Las reglas mandatorias acordadas por reguladores públicos son necesarias para fijar estándares de seguridad y de pruebas, así como para crear un marco convincente para la colaboración y transparencia.

*[Las empresas] deberían estar deseosas de adoptar sus propios códigos de conducta [...] las autoridades públicas deberían actuar como organismos de control imparciales, [y] las iniciativas de la industria privada deberían ser estimuladas e incentivadas [...]. Yo he experimentado que la participación voluntaria no existe. (Investigador)*

*Sólo las constricciones regulatorias pueden hacer que empiece la colaboración [entre la industria y la investigación académica], de otro modo no habrá ninguna colaboración. (Investigador)*

*Sentarse en la mesa para diseñar medidas regulatorias es útil para las empresas pero ellas las asumirán sólo cuando sean obligadas por regulación de arriba-abajo. [...] Una marco de referencia de arriba-abajo es necesario. Por el contrario, es improbable que emerjan arreglos regulatorios de abajo-arriba, voluntarios. Yo pienso que es un tanto difícil. (Investigador)*

No sorprende que las organizaciones de la sociedad civil apoyen regulaciones públicas mandatorias en lugar de arreglos suaves o iniciativas privadas de autorregulación. Es en cambio más interesante notar que, pese a que son menos propensas a detener iniciativas regulatorias antes del laboratorio (“la investigación debe ser suficientemente libre, pero debe ser orientada. [...] Las constricciones deberían establecerse a través de la regulación”. [Organización de la sociedad civil]), las organizaciones de la sociedad civil se adhieren a la distinción que es hecha a lo largo de las entrevistas entre investigación y experimentación por un lado, y el desarrollo y comercialización, por el otro.

*La investigación y las aplicaciones son diferentes, éste es el punto. No hay, ahora nosotros, la gente, somos como conejillos de Indias!. (Organización de la sociedad civil)*

Esta perspectiva de los investigadores y la sociedad civil es solamente contrastada por las empresas. Las siguientes citas corresponden a las entrevistas realizadas a los representantes industriales y son ejemplos de un tema

sobre regulación que emerge en estas contribuciones y que expresan un sentimiento básico con las formas mandatorias de regulación.

*Yo la veo [la regulación] como un freno.* (Empresa)

*Ya hay demasiadas etiquetas. La CE hace suficiente.*<sup>7</sup> (Empresa)

*Yo no veo cómo algo pueda ser hecho. [...] Una regulación de la nanotecnología es imposible de implementar.* (Empresa)

## Conclusiones: ¿viejos vinos en una nueva regulación?

Como se ha dicho, el objetivo de este trabajo es demostrar cómo las consideraciones de la identidad (percibida) de los actores sociales involucrados en el desarrollo de la nanotecnología —por ejemplo, motivaciones, intereses y roles—, se insertan en los razonamientos de los actores para justificar la selección, apoyo o rechazo de diferentes soluciones e instrumentos regulatorios, dígase la alternativa entre la regulación suave y las reglas mandatorias.

La relevancia de explorar esta cuestión se justifica por dos características paralelas de los arreglos de gobernanza en el campo de la nanotecnología: (1) el importante rol de los instrumentos de regulación suave y (2) la creciente importancia del involucramiento de los *stakeholders*. Hemos notado que estas dos características se refuerzan mutuamente en tanto que un mayor espacio a la regulación suave otorga más relevancia a los *stakeholders* que a su vez ganan más influencia para modelar la gobernanza en un sistema regulatorio “más suave”.

Desde un punto de vista teórico, la investigación aquí presentada se basa en el entendimiento consolidado de que la recepción del conocimiento científico, los desarrollos tecnológicos, y sus consecuencias son parte de un “paquete social”, incluyendo identidades sociales más amplias de actores que son asociados a esos desarrollos y conocimientos. Mientras este punto de vista ha caracterizado los esfuerzos de investigación en la asimilación de la ciencia por el público en general, este trabajo ha extendido esas perspectivas para explorar cómo las identidades sociales (percibidas) de los actores, que son consideradas aquí desde las perspectivas de sus propias motivaciones y sus roles en el proceso regulatorio, influyen en las opiniones de la pertinencia de diferentes opciones regulatorias, dígase la alternativa entre la regulación suave y las reglas mandatorias. Este acercamiento parece consistente con el contexto en el que las iniciativas regulatorias son desplegadas —un contexto donde la incertidumbre y el pluralismo empuja un proceso

---

7 El etiquetado CE certifica que los productos cumplen con la legislación de la Unión Europea.

regulatorio de toma de decisiones hacia una “dirección más política” y donde los criterios de evaluación científica del riesgo no pueden por sí solos guiar a los reguladores y a los políticos.

Con respecto a los resultados, la visión que emana de las entrevistas sobre la regulación suave es ambivalente. Dos temas centrales y diferentes pueden ser identificados. Por un lado, (la falta de) confianza caracteriza la visión de la empresa: a las compañías paradójicamente se les asigna un rol central en la entrega de innovación pero no se les da el crédito de un comportamiento justo y, por tanto, son vistas como organizaciones que buscan su propia ganancia sin importar las consecuencias. De este modo, los entrevistados comparten una actitud escéptica sobre la autorregulación y la regulación suave como medidas regulatorias efectivas cuando se trata de lidiar con empresas que desarrollan y comercializan nanoproductos. Así, las intervenciones públicas mandatorias son recomendadas. Por otro lado, las representaciones de los científicos se observan relativamente sin problema. En resumen, los científicos se asumen como protagonistas que investigan siguiendo su curiosidad, capaces de manejar exitosamente los riesgos potenciales de la nanotecnología gracias a sus competencias de supervisión y a su integridad.

Si observamos el proceso regulatorio, a los científicos y su *expertise* se les asigna el rol para resolver problemas regulatorios y para discernir racionalmente entre opciones alternativas de política. Como se pudo leer en uno de los fragmentos de las entrevistas, las autoridades públicas “tienen que estar preparadas” para seguir las recomendaciones de los expertos y para intervenir como un organismo de control imparcial de modo que se puedan imponer constricciones mandatorias y estándares para proteger a los consumidores y al medio ambiente. A las asociaciones de consumidores, cuyo rol solicitado fue explícitamente apreciado por los entrevistados, se les asigna un rol importante pero indirecto en tanto que son vistas como mediadores de los flujos de comunicación entre los expertos y el público. Los entrevistados las consideran como un actor clave para diseminar información balanceada de la nanotecnología entre el público en general, y, por tanto, en diseminar un entendimiento racional de los aspectos relacionados con la nanotecnología y así evitar la difusión de miedos irracionales entre los ciudadanos.

Esta última cuestión se relaciona con una visión más amplia de las relaciones ciencia-sociedad emergente de las entrevistas. Los resultados sugieren que tales relaciones enmarcan de un modo un tanto tradicional y tecnocrático. Esta forma de enmarcar es consistente con la representación de los científicos y su relación con las autoridades públicas, así como con la representación de las asociaciones de consumidores cuyas actividades se enmarcan en el contexto de una visión de las relaciones ciencia-sociedad que

está en deuda con el modelo de déficit.<sup>8</sup> Mientras este resultado no es sorprendente (hay repetida evidencia del dominio de este paradigma en las representaciones sociales de la nanotecnología en Italia; Arnaldi, 2010 y 2014), dicho aspecto es, sin embargo, importante, pues puede sugerir que nuevas formas de regulación operan en una amplia y, en gran medida, implícita y no confrontada división del trabajo tecnocientífico. Reflexionando en la “naturaleza post-política” de la regulación, Garsten y Jacobsson (2013) dan cuenta de que muchas formas contemporáneas de regulación son pactadas bajo relaciones consensuales como fundamento de la actividad regulatoria y que el precio de ese consenso es que las relaciones asimétricamente arraigadas tienden a ser invisibilizadas y que los conflictos son puestos ‘en espera’. Este trabajo sugiere que parte de estas bases consensuales pueden referirse a una amplia división estructural del trabajo tecnocientífico en la sociedad. Si esto es cierto, el protagonismo de los *stakeholders*, que involucra nuevas formas de regulación, puede reproducir fronteras y relaciones atrincheradas en lugar de superarlas.

## Apéndice

El propósito de esta entrevista es explorar las opiniones de la regulación de la nanotecnología en relación con tres dimensiones principales: (1) lo adecuado de las actuales regulaciones y la necesidad de posiblemente definir nuevas reglas; (2) los caminos por los cuales el nuevo marco regulatorio o las modificaciones al existente pueden ser implementadas; (3) el mejor momento temporal para implementar tales posibles modificaciones a la regulación.

### *Preguntas introductorias*

- ¿Cuándo usted por primera vez se interesó en la nanotecnología?
- ¿Cuál es su área de actividad en este campo científico y tecnológico?

### *Parte I: Necesidad de regulación*

- Discutamos ahora la regulación de la nanotecnología y de los posibles riesgos relacionados.
- En su experiencia, cuáles son las áreas de investigación y aplicación en las que el debate sobre la regulación es más relevante? (al entrevistado se le pide que identifique al menos tres áreas o aplicaciones específicas que han encendido el debate).
- Con respecto a los sectores que ha referido, ¿cuál es su opinión del marco regulatorio existente?

---

8 Nota del traductor: el modelo de déficit atribuye el escepticismo o el rechazo del público en general a la falta de entendimiento derivada de la ausencia de información o de información de mala calidad (no experta).

- ¿Tiene en mente algunos posibles cambios o correcciones? Si es así, ¿cuáles son?
- ¿Cómo el entrevistado considera las cuestiones del riesgo en la nanotecnología?
- ¿El entrevistado percibe los sistemas regulatorios sea como un límite o como un fuente para el desarrollo de la nanotecnología?

### *Parte 2: Formas de regulación*

- En su experiencia, ¿cuáles son los actores u organizaciones que pueden intervenir con mayor efectividad en el proceso regulatorio para el caso de los sectores de las aplicaciones que ha mencionado?
- ¿Cuál es el rol de la cooperación voluntaria entre la investigación y la industria en definir normas y reglas legales?
- ¿Cómo es que esta actividad voluntaria de las empresas se relaciona con sus programas de responsabilidad social?
- ¿Puede este tipo de negociaciones de algún modo remplazar las intervenciones de regulación mandatoria, una figura propia de las autoridades públicas?
- ¿Puede justificar su opinión sobre el asunto y también con respecto a sus actividades en el campo de la NyN?
- ¿Podría mencionar alguna aplicación potencial de la nanotecnología en la que el debate sobre la regulación deba enfocarse en el futuro?

### *Parte 3: Tiempo de regulación*

- De acuerdo con muchos observadores, el progreso actual de la nanotecnología requiere de una regulación inmediata. ¿Usted comparte tal opinión? En su caso, ¿por qué razones?
- De acuerdo con otros observadores, la falta de resultados decisivos en el estudio sobre los efectos de la nanotecnología justifica el llamado a la aplicación del principio precautorio. ¿Estaría usted de acuerdo con esta estrategia? ¿Por qué razones?
- En qué estado del desarrollo o comercialización de los nanoprodutos usted cree que la acción regulatoria pueda ser útil o necesaria?
- ¿Estaría usted a favor del etiquetado de los productos nano? Si es afirmativa o negativa su respuesta, indique por qué. Además del etiquetado, ¿usted cree que sería necesario implementar mayores actividades de comunicación e información de los riesgos?
- ¿Cree usted que las organizaciones de consumidores puedan jugar un rol en la comunicación del riesgo de la nanotecnología? Si es afirmativa o negativa su respuesta, indique por qué.

## Bibliografía

- Arnaldi, S. (2014) Exploring imaginative geographies of nanotechnologies in news media images of Italian nanoscientists. *Technology in Society*, vol. 37: 49-58.
- Arnaldi, S. (2010) Ordering technology, excluding society: The division of labour and sociotechnical order in images of converging technologies. *International Journal of Nanotechnology*, vol. 7, no. 2/3, 137-154.
- Arnaldi, S. Pariotti, E., Piccinni, M., Scarcelli, C.M. y Guerra, G. (2010a) Regulatory policies and the production of nanotechnology. A comparison of stakeholders' opinions. Artículo presentado en la *EASST010 Conference - Practicing Science and Technology, Performing the Social* (Trento, Italia, Universidad de Trento, sept. 2-4, 2010).
- Arnaldi, S., Piccinni, M., Scarcelli, C.M., Guerra, G. y Ruggiu, D. (2010b) Regulating nanotechnology: Preliminary results of a transnational comparison of stakeholders' opinions'. Artículo presentado en la *Third Biennial Conference of the European Consortium on Political Research, Standing Group on Regulatory Governance - Regulation in an Age of Crisis* (Dublín, Irlanda, University College Dublin, junio 17-19, 2010).
- BASF (n.d.) Nanotechnology code of conduct. <<http://www.basf.com/group/corporate/nanotechnology/en/microsites/nanotechnology/safety/code-of-conduct>>. [Diciembre 30, 2013].
- Bowman, D.M. y Hodge, G.A. (2007) 'Governing' nanotechnology without government? *Science and Public Policy*, vol. 35, no. 7: 475-487.
- Comisión Europea (2004b) *Communication from the Commission. Towards a European strategy for nanotechnology*. Brussels: COM(2004) 338 final.
- Comisión Europea (2008) *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. Regulatory aspects of nanomaterials*. Brussels: COM(2008) 366.
- Comisión Europea (2004a) *La nanotecnología. Innovazione per il mondo di domani*. <[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_brochure\\_it.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_it.pdf)>. [Diciembre 30, 2013].
- Comisión Europea (2007) *Towards a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research—consultation paper*. <[http://ec.europa.eu/research/consultations/pdf/nano-consultation\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/consultations/pdf/nano-consultation_en.pdf)>. [Diciembre 30, 2013].
- Comisión Europea (2009) *Recommendation on a Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research, 1st Revision: Analysis of results from the Public Consultation of the Public Consultation*. <[http://ec.europa.eu/research/consultations/nano-code/consultation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/consultations/nano-code/consultation_en.htm)>. [Diciembre 30, 2013].
- Corley, E.A., Kim, Y., Scheufele, D.A. (2013) The current status and future direction of nanotechnology regulations: A view from nano-scientists. *Review of Policy Research*, vol. 30, no. 5: 488-511.
- Cormick, C. (2009) Why do we need to know what the public thinks about nanotechnology? *NanoEthics*, vol. 3, no. 2: 167-173.
- DEFRA - Department of Environment, Food and Rural Affairs (2008a) *The voluntary*

- reporting Scheme*. <<http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/nanotech/documents/vrs-nanoscale.pdf>>. [Diciembre 30, 2013].
- DEFRA - Department of Environment, Food and Rural Affairs (2008b) *A supplementary guide for the UK voluntary reporting scheme*. <<http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/nanotech/documents/nano-hazards.pdf>>. [Diciembre 30, 2013].
- Dorbeck-Jung y Shelley-Egan (2013) Meta-Regulation and nanotechnologies: The challenge of responsabilisation within the European Commission's Code of Conduct for Responsible Nanosciences and Nanotechnologies Research. *Nano-Ethics*, vol. 7, no. 1: 55-68.
- DuPont (2012) DuPont position statement on nanotechnology. <<http://www.dupont.com/corporate-functions/news-and-events/insights/articles/position-statements/articles/nanotechnology.html>>. [Diciembre 30, 2013].
- EPA - Environmental Protection Agency (n.d.) *Control of nanoscale materials under the toxic substances control act*. <<http://www.epa.gov/oppt/nano/>>. [Diciembre 30, 2013].
- EPA - Environmental Protection Agency (n.d.) *Nanoscale materials stewardship program*. <<http://epa.gov/oppt/nano/stewardship.htm>>. [Diciembre 30, 2013].
- ETC Group (2004) *Down on the farm. The impact of nano-scale technologies on food and agriculture*. Winnipeg ETC Group.
- ETUC - European Trade Unions Confederation (2008) *ETUC Resolution on nanotechnologies and nanomaterials*. <<http://www.etuc.org/a/5163>>. [Diciembre 30, 2013].
- ETUC - European Trade Unions Confederation (2010) *ETUC 2nd resolution on nanotechnologies and nanomaterials*. <<http://www.etuc.org/a/8047>>. [Diciembre 30, 2013].
- Falkner, R. y Jaspers, N. (2012) Regulating nanotechnologies: Risk, uncertainty and the global governance gap. *Global Environmental Politics*, vol. 12, no. 1: 30-55.
- Felt, U. y Wynne, B. (2007) *Taking European Knowledge Society Seriously. Report of the Expert Group on Science and Governance to the Science, Economy and Society Directorate, Directorate-General for Research*. Comisión Europea, Bruselas.
- Ferrarese, M.R. (2000) *Le istituzioni della globalizzazione*. Boloña: Il Mulino.
- Forloni, G. (2012) Responsible nanotechnology development. *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 14, no. 8, art. no. 1007.
- Garsten, C. y Jacobsson, K. (2012) Post-political regulation: Soft power and post-political visions in global governance. *Critical Sociology*, vol. 39, no. 3: 421-438.
- Heinemann, M. y Schäfer, H. (2009) Guidance for handling and use of nanomaterials at the workplace. *Human and Experimental Toxicology*, vol. 28, no. 6-7: 407-411.
- Helland, A., Kastenholz, H., Thidell, A., Arnfalk, P. y Deppert, K. (2006) Nanoparticulate materials and regulatory policy in Europe: An analysis of stakeholder perspectives. *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 8, no. 5, 709-719.
- ICCA - International Council of Chemical Associations (2006) *Responsible Care® Global Charter in English*. <[http://www.icca-chem.org/ICCADocs/09\\_RCGC\\_](http://www.icca-chem.org/ICCADocs/09_RCGC_)

- EN\_Feb2006.pdf>. [Diciembre 30, 2013].
- ISO - International Organization for Standardization (n.d.) ISO/TC 229 Nanotechnologies. <[http://www.iso.org/iso/iso\\_technical\\_committee?commid=381983](http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=381983)>. [Diciembre 30, 2013].
- Kica, E. y Bowman, D.M. (2012) Regulation by means of standardization: Key legitimacy issues of health and safety nanotechnology standards. *Jurimetrics*, vol. 53: 11-56.
- Kurath, M. (2009) Nanotechnology governance accountability and democracy in new modes of regulation and deliberation. *Science, Technology & Innovation Studies*. 5, 2: 87-110.
- Limoges, C. (1993) Expert knowledge and decision-making in controversy contexts. *Public Understanding of Science*, vol. 2, no. 4: 417-426.
- Macnaghten, P., Kearns, M. y Wynne, B. (2005) Nanotechnology, governance, and public deliberation: What role for the social sciences? *Science Communication*, vol 27, no. 2: 268-291.
- Malsch, I. (2013) Governing nanotechnology in a multi-stakeholder world. *Nanoethics*, vol. 7, no. 3: 161-172.
- Mantovani, E. y Porcari, A. (2010) A governance platform to secure the responsible development of nanotechnologies: The framingnano project'. En Von Schomberg, R. y Davies, S. (eds.), *Understanding public debate on nanotechnologies options for framing public policy*. European Commission, Bruselas, 39-52.
- Marchant, G.E. y Abbott, K.W. (2013) International harmonization of nanotechnology governance through "soft law" approaches. *Nanotechnology Law and Business*, vol. 9, no. 4: 393-410.
- Marchant, G.E. Sylvester, D.J., Abbott, K.W. y Danforth, T.L. (2009) International harmonization of regulation of nanomedicine. *Studies in Ethics, Law, and Technology*, vol. 3, no. 3: art. no. 6.
- Maynard, A. y Rejeski, D. (2009) Too small to overlook. *Nature*, vol. 460, no. 7252: 174.
- Macoubrie, J. (2006) Nanotechnology. Public concerns, reasoning and trust in government. *Public Understanding of Science*, vol. 15: 221-241.
- Mehta, M.D. (2004) From biotechnology to nanotechnology: What can we learn from earlier technologies? *Bulletin of Science, Technology & Society*, vol. 24, no. 1: 34-39.
- Meili, C. (2006) *Report on a multi-stakeholder-dialogue-approach towards a sustainable regulatory framework for nanotechnologies and nanosciences*. The Innovation Society, St.Gallen.
- Moore, R. (2010) *Report on the framingnano delphi consultation amongst involved stakeholders regarding the future regulation and governance needs for nanotechnologies*. <<http://www.framingnano.eu/images/stories/framingnanostakeholder-consultationreport-final-march2010.pdf>>. [Diciembre 30, 2013].
- Neresini, F. (2006) Starting off on the wrong foot: The public perception of nanotechnologies and the deficit model. *Nanotechnology Perceptions*, vol. 2, no. 2: 189-195.

- NIA - Nanotechnology Industries Association (n.d.) *Responsible Nano-Code*. <<http://www.nanotechia.org/activities/responsible-nano-code>>. [Diciembre 30, 2013].
- NSTC - National Science and Technology Council (1999) *Nanotechnology. Shaping the world atom by atom*. <<http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/>>. [Diciembre 30, 2013].
- Pariotti, E. (2011) Normatività giuridica e *governance* delle tecnologie emergente. En Guerra, G., Moratorio, A., Pariotti, E., Piccini, M. y Ruggii, D. (eds.), *Forme di responsabilità, regolazione e nanotecnologie*. Il Mulino, Boloña, 509-549.
- Ponce del Castillo, A.M. (2013) The european and member states' approaches to regulating nanomaterials: Two levels of governance. *NanoEthics*, vol. 7, no. 3: 189-199.
- Ruggii, D. (2013) Temporal perspectives of the nanotechnological challenge to regulation: How human rights can contribute to the present and future of nanotechnologies. *NanoEthics*, vol. 7, no. 3: 201-215.
- Russel, A.W. (2013) Improving legitimacy in nanotechnology policy development through stakeholder and community engagement: Forging new pathways. *Review of policy research*, vol. 30, no. 5: 566-587.
- Sahoo, S. (2013) Would you mind, if we record this? Perceptions on regulation and responsibility among indian nanoscientists. *NanoEthics*, vol. 7, no. 3: 231-249.
- Scott, J.E. y Trubeck, D.M. (2002) Mind the gap: Law and new approaches to governance in the European Union. *European Law Journal*, vol. 8, no. 1: 1-18.
- Stokes, E. (2013) Demand for command: Responding to technological risks and scientific uncertainties. *Medical Law Review*, vol. 21, no. 1: 11-38.
- Van Broekhuizen, P. y Schwarz, A. (2010) European trade union and environmental NGO positions in the debate on nanotechnologies. En Von Schomberg, R. y Davies, S. (eds.), *Understanding public debate on nanotechnologies options for framing public policy*. Comisión Europea. Bruselas, Bélgica, 81-108.
- Von Schomberg, R. (2010) 'Introduction'. En Von Schomberg, R. y Davies, S. (eds.), *Understanding Public Debate on Nanotechnologies Options for Framing Public Policy*. Comisión Europea, Bruselas, Bélgica, 5-12.
- Weil, V. (2013) Responsible management in private sector nano enterprises: Conversations with lead technologists and managers. *NanoEthics*, vol. 7, no. 3: 217-229.
- Wynne, B. (1992) Misunderstood misunderstanding. Social identities and public uptake of science. *Public Understanding of Science*, vol. 1, no. 3: 281-304.

# Nanomáquinas biológicas: los sistemas de secreción bacterianos

Pablo Vladimir Cabañas-Romero,\* Alejandro Huerta-Saquero\*\*

**RESUMEN:** Los sistemas de secreción que poseen las bacterias son nanomáquinas especializadas en enviar proteínas y otras moléculas biológicas al exterior, permiten a las bacterias interactuar con el medio en el que se encuentran así como con otros organismos que forman parte de su hábitat, principalmente con aquellas bacterias que mantienen una relación estrecha con células eucariotas. Dicha relación puede ser simbiótica, es decir, una en la que ambos organismos obtienen beneficios, o puede ser una de parasitismo o de patogenicidad, donde las bacterias afectan la función normal de su célula hospedadora o de todo el organismo al cual infectan. Existen descritos siete sistemas de secreción diferentes. Las bacterias Gram-negativas poseen el sistema de secreción tipo III, el cual permite translocar proteínas efectoras dentro del citoplasma del enterocito (célula eucariote). Los genes que codifican a las proteínas que integran los SST3 se encuentran en islas de patogenicidad, cuyo conocimiento respecto a su composición, organización y regulación de su expresión nos permite manipular dichos sistemas de secreción como vehículos para la entrega de proteínas de interés terapéutico en terapias dirigidas a células específicas.

**PALABRAS CLAVE:** sistemas de secreción, bacterias, inyectisomas, patogénesis, simbiosis, interacción bacteria-célula eucariota.

**ABSTRACT:** Bacterial secretion systems are specialized nanomachines for delivery of proteins and other biological molecules outside the cell, allowing bacteria interact with their environment as well as with other organisms sharing their habitat, particularly those bacteria which have a close relationship with eukaryotic cells. This relationship can be symbiotic, i.e., one in which both organisms derive benefit, or parasitism or host-pathogen interactions, where bacteria affect the normal function of the host cell or whole organism which infects. To date there are seven secretion systems described. Gram-negative bacteria possess the type III secretion system (T3SS), which enables translocation of effector proteins into enterocyte cell (eukaryotic). Genes encoding proteins that integrate the T3SS are found in pathogenicity islands, whose knowledge about their composition, organization and gene expression regulation allows us to use it as vehicles for protein delivery in therapies targeting specific cells.

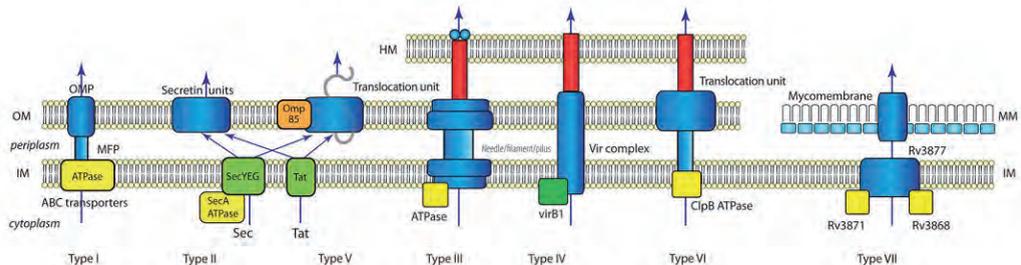
**KEYWORDS:** secretion systems, bacteria, inyectisomes, pathogenesis, symbiosis, bacteria-eukaryotic cell interaction.

Las bacterias expresan sistemas de secreción indispensables para transportar proteínas, como, por ejemplo, toxinas o enzimas, y otras macromoléculas hacia el espacio extracelular (González-Pedrajo y Dreyfus, 2003). Existen siete sistemas de secreción descritos que se pueden encontrar en

\* Departamento de Biotecnología Marina. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. Correspondencia: (pcabanas@cicese.edu.mx).

\*\* Centro de Nanociencias y Nanotecnología. UNAM. Correspondencia: (saquero@cnyn.unam.mx).

**FIGURA 1.** Sistemas de secreción bacterianos. Esquema simplificado de los 7 sistemas de secreción descritos. HM: membrana de la célula hospedadora; OM: membrana externa; IM: membrana interna; MM: micromembrana; OMP: Proteína de membrana externa; MPF: Proteína de fusión de membrana. Las ATPasas y chaperonas se muestran en amarillo.



Fuente: Tomada de: Tsai-Tien, *et al.*; *BMC Microbiology*, 2009.

bacterias Gram-positivas y bacterias Gram-negativas (figura 1). La diferencia que puede ser más notable entre estos complejos multiproteicos es que las bacterias Gram-positivas necesitan realizar un simple proceso de secreción a través de una sola membrana mientras que las bacterias Gram-negativas transportan la molécula biológica a través de la doble membrana que las rodea hacia el medio extracelular, mediante un mecanismo más complejo. Sin embargo, los genes que codifican para proteínas que participan en el proceso de secreción de bacterias Gram-positivas muestran un alto grado de similitud con los genes identificados originalmente en *Escherichia coli* (*Ibidem*). Debido a esto, el criterio que se utiliza para diferenciar los sistemas de secreción radica en el tipo de transporte realizado por la bacteria, independientemente de si se trata de una bacteria Gram-positiva o Gram-negativa.

El tipo de transporte se puede realizar mediante dos vías, la vía Sec-dependiente y la vía Sec-independiente. En la vía Sec-dependiente la secreción de sustratos depende de la secuencia señal ubicada en el extremo amino terminal que posee la proteína a secretar, pues por medio de esta secuencia, la proteína es reconocida y transportada por el sistema de secreción Sec. La vía Sec-independiente se caracteriza por la translocación de la proteína sin la presencia de la secuencia señal en el amino terminal o de un intermediario periplasmático (Koster *et al.*, 2000). La vía Sec-independiente engloba los sistemas de secreción tipo I, III y IV, los cuales forman complejos multiproteicos que evitan la presencia del efector en el periplasma por lo que los sustratos son secretados desde el citoplasma hasta el medio extracelular (Kanonenberg *et al.*, 2013; González-Pedrajo y Dreyfus, 2003). El sistema de secreción tipo I (SST1) es capaz de transportar polipéptidos de más de 800 kDa que ostentan una señal de secreción incluida en los últimos 53 residuos del extremo carboxilo terminal, la cual les permite ser reconocidas por el translocador (compuesto de un transportador ABC, una proteína de fusión a membrana MFP y una proteína trimérica de membrana externa), y ser translocadas mediante el aporte de energía de la hidrólisis de ATP mediada

por el ATP-*binding cassette* (conocido como transportador ABC) (Holland *et al.*, 2005) (figura 1). El SST1 exporta péptidos y factores de virulencia, tales como metaloproteasas, glicanasas (Delepelaire, 2004) y proteínas relacionadas a la formación de biofilms (Russo *et al.*, 2006). El sistema de secreción tipo II (SST2) sólo se encuentra en proteobacterias, en especies simbiotes obligadas, bacterias patógenas y especies de vida libre, sin necesariamente pertenecer a un grupo particular (Cianciotto, 2005). El SST2 es necesario como agente virulento de *Vibrio cholerae*, *Legionella pneumophila*, *E. coli* enterotoxigénica, *Ralstonia solanacearum*, *Pectobacterium atrosepticum*, y *Xanthomonas campestris* (Filloux, 2004). El sistema de secreción tipo III (SST3) se encuentra en bacterias Gram-negativas que interactúan con plantas y animales como agentes patógenos o mutualistas (Grant *et al.*, 2006). La función principal de este sistema de secreción es transportar proteínas efectoras del citosol bacteriano a la célula hospedera que, una vez translocadas, intervienen en la alteración del metabolismo celular (Mota y Cornelis, 2005). El sistema de secreción tipo IV (SST4) es el único sistema de secreción que, además de transportar proteínas, es capaz de secretar ácidos nucleicos en plantas, animales, levaduras y otras bacterias (Christie y Cascales, 2005). El SST4 está presente en varios organismos patógenos como *Agrobacterium tumefaciens*, *Helicobacter pylori*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bordetella pertussis*, *Legionella pneumophila* y *Mesorhizobium loti* (*Ibidem*). El sistema de secreción tipo V (SST5) secreta proteínas de 40 a 400 kDa de tamaño que poseen un péptido señal en el dominio amino terminal conservado. Las proteínas son autotransportadas al periplasma bacteriano. Posteriormente, la translocación hacia el espacio extracelular de la proteína es mediada por la inserción del dominio barril beta de su extremo C-terminal conservado en la membrana externa, con lo cual se forma un poro a través del cual se permite su translocación (Henderson *et al.*, 2004; Jacob-Dubuisson *et al.*, 2004). El SST5 permite la secreción de adhesinas en *E. coli*, *Haemophilus influenzae*, *Yersinia enterocolitica*, *Bordetella pertussis*; toxinas en *Helicobacter pylori*; proteasas en *Neisseria meningitidis*, *Shigella flexneri* y *Serratia marcescens* (Tseng *et al.*, 2009). El sistema de secreción tipo VI (SST6) al igual que el SST3, se asemeja a un inyectisoma y es capaz de translocar proteínas efectoras directamente al citosol de la célula hospedera (Bingle *et al.*, 2008). El modelo propuesto del inyectisoma del SST6 incluye una proteína chaperona con actividad ATPasa, un canal que comunica la membrana interna con la membrana externa y una aguja que tiene una proteína que forma un poro (Shrivastava y Mande, 2008). Requerido para la virulencia, el SST6 es utilizado por *Vibrio cholerae*, *Edwardsiella tarda*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Francisella tularensis*, y *Burkholderia mallei* para infectar humanos y plantas por igual, así como sólo en plantas por *Agrobacterium tumefaciens*, *Pectobacterium atrosepticum* y *Xanthomonas oryzae* (Bingle *et al.*, 2008). El sistema de secreción tipo VII (SST7) se encuentra codificado en cinco grupos de genes de las bacterias Gram-positivas del genero *Mycobacterium*, y, además,

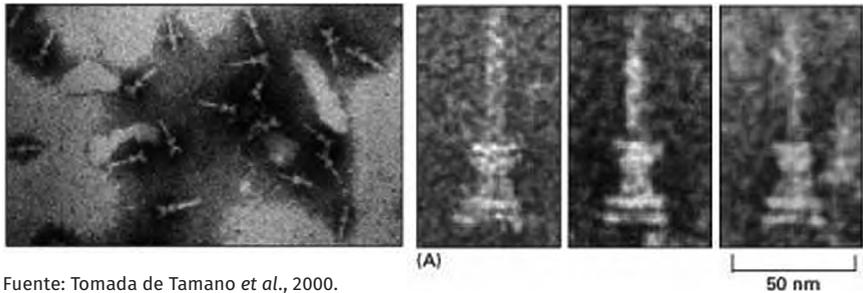
se encuentra estrechamente relacionado con los patógenos *Corynebacterium diphtheriae* y *Nocardia* (Abdallah *et al.*, 2007) (figura 1).

## Los sistemas de secreción tipo III

Las bacterias Gram-negativas son ampliamente estudiadas para conocer con mayor especificidad los procesos celulares que modifican en organismos eucariotas, principalmente las bacterias que provocan enfermedades en animales y plantas de interés económico, y, sobre todo, de bacterias que alteran procesos celulares en el humano mediante los mecanismos de secreción. Los sistemas de secreción tipo tres (SST3) son “nanojeringas” o “inyectisomas” de origen proteico y escala nanométrica que se ensamblan en las membranas celulares de las bacterias que las producen, y que permiten la entrega de proteínas de virulencia bacteriana a las células eucariotas que infectan (figura 2). El SST3 está compuesto por más de 20 proteínas diferentes. El inyectisoma se ha identificado en especies de *Bordetella*, *Chlamydia*, *Erwinia*, *E. coli*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Rhizobia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Xanthomonas* y *Yersinia*, (González-Pedrajo y Dreyfus 2003), y originalmente identificado en *Salmonella typhimurium* (Kubori *et al.*, 1998), es un complejo que se encuentra parcialmente conservado en *Salmonella enterica*, *Shigella flexneri* y *E. coli* enteropatógena, por lo que el SST3 no difiere en su estructura en los géneros antes mencionados. Los componentes estructurales del SST3 y el cuerpo basal del flagelo bacteriano muestran bajo microscopía electrónica gran similitud, esto podría significar que existe una relación evolutiva entre ambos sistemas y un mecanismo común de reconocimiento y de exportación de sustratos (González-Pedrajo y Dreyfus 2003). Sin embargo, las proteínas efectoras que alteran el metabolismo celular hospedero son únicas para cada sistema (Galán y Wolf-Watz, 2006).

La estructura o cuerpo basal de este sistema de secreción se extiende desde la membrana interna (MI) a la membrana externa (ME) y tiene un diámetro aproximado de 50 nm (Tamano *et al.*, 2000) (figura 2). La constitución básica de la estructura del sistema se compone por dos anillos transmembranales anclados a las membranas interna (MI) y externa (ME), respectivamente, comunicados a través de proteínas que forman un tubo que se extiende desde el primer anillo multiproteico (MI) a lo largo del periplasma microbiano hasta el segundo anillo ubicado en la ME de la bacteria. El cuerpo basal de los inyectisomas se conecta con una aguja hueca en *Yersinia*; con un filamento, como en *Salmonella*; o bien, mediante un pilus, en *P. syringe*. Cada una de estas estructuras mide en promedio 60 nm de longitud y se conecta con proteínas que forman un poro de translocación en la membrana plasmática de las células del hospedero (Cornelis, 2006). El complejo multiproteico del SST3 alcanza en su conjunto una longitud aproximada de 60-80 nm (Blocker *et al.*, 1999).

**FIGURA 2.** Micrografía electrónica de transmisión (TEM) de inyectisomas bacterianos. Nano-jeringas moleculares cuya base está formada de anillos proteicos que se ensamblan sobre las membranas interna y externa de la bacteria. La aguja se prolonga de dicha base hacia el exterior para hacer contacto con la célula hospedera.

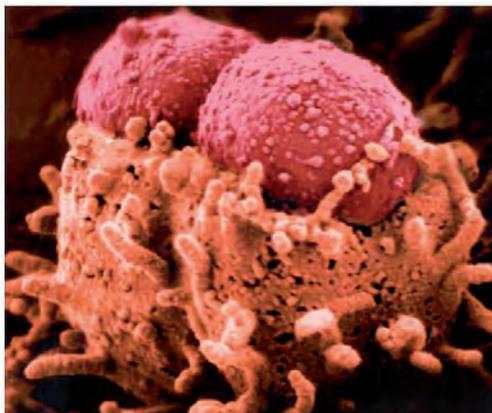


Fuente: Tomada de Tamano *et al.*, 2000.

## La familia de patógenos A/E

*Escherichia coli* enteropatógena (EPEC), enterohemorrágica (EHEC) y *Citrobacter rodentium* (un patógeno de ratón) provocan en el epitelio intestinal una lesión histopatológica A/E (*attaching and effacing*) o de adherencia y destrucción que se caracteriza por la pérdida de microvellosidades intestinales y la formación de una estructura en forma de copa o pedestal, donde la bacteria se une íntimamente a la célula hospedera (figura 3). La isla de patogenicidad LEE (*Locus of Enterocyte Effacement*) (Rocha-Gracia *et al.*, 2005), además de contener los genes que codifican para el SST3, cuenta con genes que codifican proteínas que son secretadas y translocadas mediante este sistema y

**FIGURA 3.** Lesión de adherencia y destrucción provocada por EPEC y EHEC. Micrografía electrónica donde se observa la adherencia íntima de la bacteria al epitelio intestinal y la formación de una estructura semejante a una copa o pedestal.



Fuente: Cortesía de Jorge Girón.

proteínas que regulan su propia expresión (Garmendia *et al.*, 2005; Lara-Ochoa *et al.*, 2010). El SST3 transloca proteínas efectoras que modifican diferentes estructuras y procesos celulares como la interrupción de la función de la barrera intestinal, el incremento en la permeabilidad de uniones estrechas acompañadas de la disminución de la resistencia transepitelial, pérdida del potencial de membrana mitocondrial, la inhibición de la transición del ciclo celular G2/M y la inducción de apoptosis (Medrano-López, *et al.*, 2012).

## Modificación del SST3 de EPEC para su uso con fines terapéuticos

La eficiente translocación de proteínas a través de los SST3 ha motivado su estudio y utilización con fines médicos y biotecnológicos. Los SST3 de diferentes bacterias (*Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas syringe*) han sido utilizados con éxito como nanoinyectores para la translocación de antígenos hacia células epiteliales, tales como nucleoproteínas de la cápside del virus de la influenza (Russmann *et al.*, 1998), de ovoalbúmina (Epaulard *et al.*, 2006 y 2008), con la finalidad de estimular la respuesta inmune y generar protección. También se ha logrado la translocación de TNF $\alpha$ , anticuerpos y nanoanticuerpos para la inactivación de proteínas blanco en el interior de la célula eucariote o para inmunoterapia antitumoral con resultados alentadores (Nishikawa *et al.*, 2006; Yoon *et al.*, 2011; Blanco-Toribio *et al.*, 2010). Éstos y otros ejemplos de la utilización de estas nanomáquinas biológicas, si bien han tenido éxito, presentan ciertas limitaciones y retos: a) Se han utilizado bacterias atenuadas, es decir, bacterias patógenas con ciertas modificaciones genéticas que reducen su patogenicidad, lo cual tiene un riesgo intrínseco de reversión (que dichas bacterias patógenas recuperen su patogenicidad y causen daño al huésped); b) las proteínas efectoras, sustrato de estos SST3, son entregadas a la célula blanco, provocando las modificaciones en las vías de señalización y las modificaciones estructurales del citoesqueleto, ampliamente documentadas; c) la generación de respuesta inmune contra estas bacterias, lo que limita su utilidad a largo plazo, y, d) algunas bacterias utilizadas, como *S. typhimurium*, tienen la capacidad de internalizarse en el organismo, lo que complica su control.

Tomando ventaja de la posibilidad de expresar de manera funcional al SST3 de EPEC en una bacteria *Escherichia coli* comensal, podemos evitar el riesgo de la reversión presente en los casos en que se utilizan bacterias patógenas atenuadas; además, es posible evitar la translocación de proteínas efectoras de dichas bacterias patógenas. Por otro lado, mediante la eliminación de los genes que codifican para proteínas efectoras dentro de la isla de patogenicidad LEE, se puede prevenir la secreción y translocación de dichas proteínas. Aunado a lo anterior, mediante la construcción de proteínas quiméricas, a las que se les adiciona un péptido señal para su reconocimiento y secreción a través del SST3, es posible translocar proteínas específicas con

fines terapéuticos. Por ejemplo, para terapias anti-cancerígenas, algunas variedades de las citocromo oxidadas (CYP's), que se ha demostrado que se expresan en *E. coli* y que participan en la biotransformación de fármacos anti-cancerígenos (Rodríguez-Antona e Ingelman-Sundberg, 2006). Si logramos enviar directamente a células de cáncer de colon citocromo oxidadas producidas en bacterias comensales, podremos eliminar dichas células. Otra posibilidad, es la expresión y el envío de asparaginidas, cuyo efecto anticancerígeno ha sido demostrado sobre células de leucemia linfocítica aguda infantil (Moreno-Enríquez *et al.*, 2012; Huerta-Saquero *et al.*, 2013; Labrou *et al.*, 2010). El uso controlado de los SST3 bacterianos es un campo muy prometedor para la entrega dirigida de medicamentos o biomoléculas con fines terapéuticos.

## Bibliografía

- Abdallah, A., Gey van Pittius, N., Champion, P., Cox, J., Luirink, J., Vandenbroucke-Grauls, C., Appelmelk, B. y Bitter, W. (2007) Type VII secretion-mycobacteria show the way. *Nat. Rev. Microbiology*, 5(11): 883-891.
- Bingle, L., Bailey, C. y Pallen, M. (2008) Type VI secretion: A beginner's guide. *Curr. Opin. Microbiology* 11(1): 3-8.
- Blanco-Toribio, A., Muyldermans, S., Frankel, G., Fernández, L.A. (2010) Direct injection of functional single-domain antibodies from *E. coli* into human cells. *PLOS One*, 5(12): e15227. doi:10.1371/journal.pone.0015227
- Blocker, A. J., Gounon, P., Larquet, E., Niebuhr, K., Cabiaux, V., Parsot, C. y Sansonetti, P. J. (1999) The tripartite Type III secretin of *Shigella flexneri* inserts IpaB and IpaC into host membranes. *J. Cell. Biol.*, 147, p. 683-693.
- Christie, P. y Cascales, E. (2005) Structural and dynamic properties of bacterial type IV secretion systems (review). *Mol. Membr. Biol.*, 22(1-2): 51-61
- Cianciotto, N. (2005) Type II secretion: a protein secretion system for all seasons. *Trends in Microbiology* 13(12): 581-588.
- Cornelis, G.R. (2006) The Type III secretion injectisome. *Nat. Rev. Microbiol.*, 4(11): 811-825.
- Delepelaire, P. (2004) Type I secretion in gram-negative bacteria. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1694(1-3): 149-161.
- Epaulard, O., Derouazi, M., Margerit, C., Marlu, R., Filopon, D., Polack, B., Toussaint, B. (2008) Optimization of a type III secretion system-based *Pseudomonas aeruginosa* live vector for antigen delivery. *Clin Vacc Immunol*, 15: 308-313.
- Epaulard, O., Toussaint, B., Quenee, L., Derouazi, M., Bosco, M., Villiers, C., Le Berre, R., Guery, B., Filopon, D., Crombez, L., Marche, P., Polack, B. (2006) Anti-tumor immunotherapy via antigen delivery from a live attenuated genetically engineered *Pseudomonas aeruginosa* Type III secretion system-based vector. *Molecular Therapy*, (14)5: 656-661.
- Filloux, A. (2004) The underlying mechanisms of type II protein secretion. *Biochimica et Biophysica Acta* 1694(1-3): 163-179.

- Galán, J. y Wolf-Watz, H. (2006) Protein delivery into eukaryotic cells by Type III secretion machines. *Nature*, vol. 444: 30.
- Garmendia J., Frankel G. y Crepin V. F. (2005) Enteropathogenic and enterohemorrhagic *Escherichia coli* infections: Translocation, translocation, translocation. *Infection and Immunity*, 73(5): 2573-2585.
- González-Pedrajo, B. y Dreyfus, G. (2003) Sistemas de secreción de proteínas en las bacterias Gram-negativas: Biogénesis flagelar y translocación de factores de virulencia. *Mensaje Bioquímico*, vol. XXVII. Depto. Bioquímica, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Universitaria, México, D.F.
- Grant, S., Fisher, E.J., Chang, J., Mole, B. y Dangl, J. (2006) Subterfuge and manipulation: Type III effector proteins of phytopathogenic bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 60: 425-449.
- Henderson, I., Navarro-García, F., Desvaux, M., Fernández, R. y Ala'Aldeen, D. (2004) Type V protein secretion pathway: The autotransporter story. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 68(4): 692-744.
- Holland, I., Schmitt, L. y Young, J. (2005) Type 1 protein secretion in bacteria, the ABC-transporter dependent pathway (review). *Molecular Membrane Biology*, 22(1-2): 29-39.
- Huerta-Saquero, A., Evangelista-Martínez, Z., Moreno-Enríquez, A., Pérez-Rueda, E. (2013) Rhizobium etli asparaginase ii: An alternative for acute lymphoblastic leukemia (all) treatment. *Bioengineered*, 4: 1, 1-7.
- Jacob-Dubuisson, F., Fernández, R. y Coutte L. (2004) Protein secretion through autotransporter and two-partner pathways. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1694(1-3): 235-257.
- Kanonenberg, K., Schwarz, C. y Schmitt, L. (2013) Type I secretion systems - A history of appendices. *Research in Microbiology*, vol. 164, núm. 6, julio-agosto: 596-604.
- Koster, M., Bitter, W. y Tommassen, J. (2000) Protein secretion mechanisms in Gram-negative bacteria. *Int. J. Med. Microbiol*, 290: 325-331.
- Kubori, T., Matsushima, Y., Nakamura, D., Uralil, J., Lara-Tejero, M., Sukhan, A., Galán, J.†, y Aizawa, S. (1998) Supramolecular structure of the *Salmonella typhimurium* Type III protein secretion system. *Science*, 280, 602-605.
- Labrou, N.E., Papageorgiou, A.C. y Avramis, VI (2010). Structure-function relationships and clinical applications of L-asparaginases. *Curr. Med. Chem.*, 17(20): 2183-95.
- Lara-Ochoa, C., Oropeza, R., y Huerta-Saquero, A. (2010) Regulation of the LEE-pathogenicity island in attaching and effacing bacteria. En A. Mendez Vilas (ed.) *Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology*, vol. 1 ISBN (13): 978-84-614-6194-3. Formatex Research Center. Badajoz, Spain. 635-645 pp.
- Medrano López, A., Alejandro Huerta Saquero y José Luis Puente (2012) *Escherichia coli* enteropatógena, mecanismos de patogenicidad. En Ygnacio Martínez Laguna (ed.) *Modelos de la patogénesis de las enfermedades infecciosas II*. Benemérita

- Universidad Autónoma de Puebla. México. pp. 1-21. ISBN 978-607-487-476-1.
- Moreno-Enriquez, A., Evangelista-Martínez, Z., González-Mondragón, E., Calderón-Flores, A., Arreguín, R., Pérez-Rueda, E., Huerta-Saquero, A. (2012) Biochemical characterization of recombinant L-Asparaginase (AnsA) from *Rhizobium etli*, a member of an increasing rhizobial-type family of L-Asparaginases. *J. Microbiol Biotechnol*, 22(3): 292-300.
- Mota, L. y Cornelis, G. (2005) The bacterial injection kit: Type III secretion systems. *Annals of Medicine*, 37(4): 234-249.
- Nishikawa, H., Sato, E., Briones, G., Chen, L.M., Matsuo, M., Nagata, Y., Ritter, G., Jäger, E., Nomura, H., Kondo, S., Tawara, I., Kato, T., Shiku, H., Old, L., Galán, J.E., Gnjatic, S. (2006). In vivo antigen delivery by a *Salmonella typhimurium* Type III secretion system for therapeutic cancer vaccines. *J. Clin. Invest.*, 116: 1946-1954.
- Rocha-Gracia, R., Lozano-Zarain, P. y Martínez-Laguna, Y. (2005) *Modelos de la patogénesis de las enfermedades infecciosas*. Dirección de Fomento Editorial. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue., México.
- Rodríguez-Antona C. e Ingelman-Sundberg, M. (2006) Cytochrome P450 pharmacogenetics and cancer. *Oncogene*, 25(11): 1679-91.
- Russmann, H., Shams, H., Poblete, F., Fu, Y., Galan, J.E., Donis, R.O. (1998) Delivery of epitopes by the *Salmonella* Type III secretion system for vaccine development. *Science*, 281: 565-568.
- Russo, D.M., Williams, A., Edwards, A., Posadas, D.M., Finnie, C., Dankert, M., Downie, J.A., Zorreguieta, A. (2006) Proteins exported via the PrsD-PrsE type I secretion system and the acidic exopolysaccharide are involved in biofilm formation by *Rhizobium leguminosarum*. *J Bacteriol*, 188(12): 4474-4486.
- Shrivastava, S. y Mande, S. (2008) Identification and functional characterization of gene components of Type VI secretion system in bacterial genomes. *PLoS ONE*, 3(8): e2955.
- Tamano, K., Aizawa, S., Katayama, E., Nonaka, T., Imajoh-Ohmi, S., Kuwae, A., Nagai, S. y Sasakawa, C. (2000). Supramolecular structure of the Shigella Type III secretion machinery: The needle part is changeable in length and essential for delivery of effectors. *EMBO J*, 19, 3876-3887.
- Tseng, Tsai-Tien., Tyler, B. y Setubal, J. (2009) Protein secretion systems in bacterial-host associations and their description in the gene ontology (review). *BMC Microbiol*, 9(Suppl 1): S2.
- Yoon, W.S., Chae, Y.S., Hong, J. Park, Y.K. (2011) Antitumor therapeutic effects of a genetically engineered *Salmonella typhimurium* harboring TNF- $\alpha$  in mice. *Appl Microbiol Biotechnol*, 89: 1807-1819.

# Nanomateriales con actividad microbicida: una alternativa al uso de antibióticos

Roberto Vazquez-Muñoz,\* Alejandro Huerta Saquero\*

**RESUMEN:** Las enfermedades infecciosas representan un gran problema a nivel mundial, y consumen una cantidad importante de recursos públicos y privados. Las infecciones más comunes son las virales y las bacterianas, seguidas por las fúngicas. Actualmente, se utilizan agentes antibióticos o antivirales para combatir las enfermedades infecciosas, pero existen muchos problemas relacionados con su uso, tales como la aparición de microorganismos resistentes y el complicado proceso para crear nuevas sustancias. La bionanotecnología puede ayudar a resolver el problema de las enfermedades infecciosas; un ejemplo es mediante el uso de las nanopartículas de plata. Éstas tienen propiedades clínicas importantes, particularmente como antibióticos y antivirales. Por lo tanto, es necesario investigar las interacciones y efectos que existen entre las nanopartículas de plata en los microorganismos y en el ser humano, para desarrollar nuevas terapias en la medicina.

**PALABRAS CLAVE:** bionanotecnología – enfermedades infecciosas – nanopartículas de plata.

**ABSTRACT:** Infectious diseases are a major problem worldwide, and consume a significant amount of public and private resources. The most common infections are viral and bacterial, followed by fungal infections. Currently, antibiotics or antiviral agents are used to combat infectious diseases, but there are many problems associated with their use, such as the emergence of resistant organisms and highly complicated process to create new substances. Bionanotechnology can help to solve the problem of infectious diseases; an example is by using silver nanoparticles. These have important clinical properties, particularly as antibiotics and antivirals. Therefore, it is necessary to investigate the effects and interactions of the silver nanoparticles in microorganisms and in human cells, in order to develop new therapies in medicine.

**KEYWORDS:** bionanotechnology – infectious diseases – silver nanoparticles.

## Enfermedades infecciosas

Las enfermedades infecciosas se definen como la manifestación clínica consecuyente a una infección provocada por un agente patógeno, generalmente virus o microorganismos, como las bacterias y los hongos. Estas enfermedades representan uno de los problemas de salud más relevantes a nivel mundial, debido a su impacto social y económico (Scott, 2009) y se encuentran entre las principales causas de muerte en el mundo. Además, tanto su incidencia como su número (enfermedades emergentes) se incrementan con el paso del tiempo (NLM, 2013; WHO, 1997). Las primeras causas de estas enfermedades son los virus y las bacterias, seguidas por los hongos.

---

\* Departamento de Bionanotecnología, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM.

Las enfermedades infecciosas tienen un gran impacto a nivel social y económico. Su relevancia es tal, que uno de los “Objetivos del Desarrollo del Milenio” de la Organización de las Naciones Unidas, involucra el combate de estas enfermedades (WHO, 2000). En Estados Unidos, el costo para combatirlas es de 120 mil millones de dólares al año (NIAID, 2009); mientras que la tuberculosis, por sí sola, le cuesta al mundo 12 mil millones de dólares al año. Otras, como el VIH/SIDA, consumen el 12% del producto interno bruto de los países africanos subsaharianos (Fonkwo, 2008).

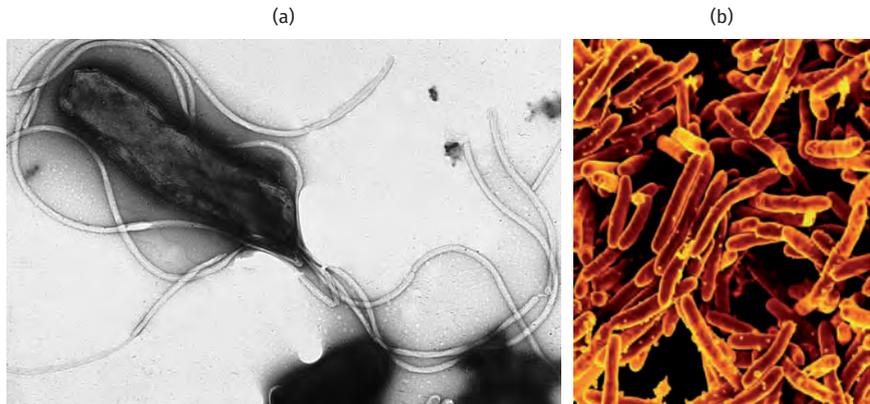
La mayoría de las muertes por enfermedades infecciosas son ocasionadas por unas pocas especies de microorganismos. Entre las enfermedades infecciosas mortales destacan la neumonía, la tuberculosis, las enfermedades diarreicas, el paludismo, el sarampión y el VIH/SIDA. En conjunto, estas provocan más de la mitad de todas las defunciones prematuras en el mundo, causando sobre todo la muerte de niños y adultos jóvenes, particularmente en países en desarrollo (UNICEF/WHO, 2009).

## Las infecciones bacterianas

Las bacterias son una de las principales causas de muerte por enfermedades infecciosas, tales como la neumonía, la tuberculosis y las enfermedades diarreicas (UNICEF/WHO, 2009). Un rasgo distintivo de estos agentes causales es el surgimiento de cepas multirresistentes a los antibióticos que tradicionalmente se emplean para su control y eliminación. En la figura 1, se muestran algunos ejemplos de bacterias patógenas.

La plasticidad genómica de los microorganismos y sus eficientes mecanismos de transmisión de información genética vía horizontal (que se transmiten de una bacteria a otra de la misma o de diferente especie) permiten la

**FIGURA 1.** Ejemplos representativos de bacterias patógenas: a) *Helicobacter pylori*, y b) *Mycobacterium tuberculosis*.



Fuente: Imágenes obtenidas de (a) Wiki commons (Tsutsumi Y.) y (b) NIAID (en flickr.com).

adquisición de nueva información genética (Ulrich *et al.*, 2004). Esta plasticidad favorece la supervivencia bacteriana, principalmente cuando se comparten genes que confieren resistencia a antibióticos, metales pesados o que favorecen el crecimiento en condiciones extremas, tales como la desecación, altas o bajas temperaturas, etc. Esto ha favorecido que resurjan enfermedades infecciosas o que aparezcan nuevas.

## Enfermedades causadas por hongos: micosis

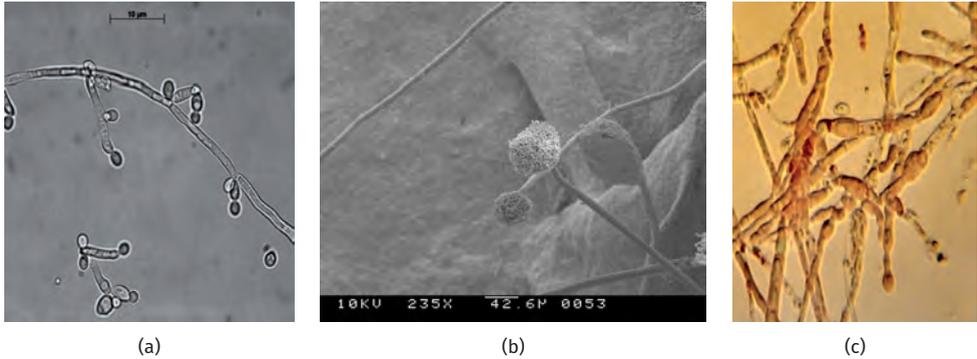
Las micosis tienen mayor incidencia en personas inmunocomprometidas, aunque también como infecciones nosocomiales (Fridkin, 2005) y en personas sanas. Desde principios de 1980, los hongos son una de las principales causas de las infecciones humanas (McNeil *et al.*, 2001), y en algunos países su incidencia se ha incrementado en más del 200% (Martin *et al.*, 2003). Los factores que han contribuido al incremento de las infecciones fúngicas son muy diversos, entre los que destacan: el incremento de la población inmunocomprometida; uso inadecuado de agentes antibióticos, quimioterapias citotóxicas, surgimiento de cepas patógenas no comunes, e, inclusive, la globalización y la migración, que ayudan a diseminar cepas patógenas exóticas (Walsh *et al.*, 2004; WHO, 2008).

El género *Candida*, agente causal de la candidiasis, es el más representativo de las micosis, y es la primera causa de las infecciones fúngicas en el mundo (Eggimann *et al.*, 2003). La especie más común del género es *C. albicans*, levadura dimórfica (cambia de forma, figura 2a), muy versátil y con una gran plasticidad genómica (Clancy y Nguyen, 2012). Otras infecciones fúngicas importantes son: aspergilosis, blastomicosis, coccidioidomicosis, histoplasmosis y esporotricosis, además de las causadas por las especies de *Cryptococcus* (NIAID, 2011). Algunas micosis han incrementado su incidencia, tales como las causadas por *C. glabrata*, *A. terreus*, y otros mohos no *Aspergillus*. Mientras que, entre las infecciones emergentes, destacan levaduras oportunistas como *Trichosporon* y *Rhodotorula*, y zigomicetos como *Fusarium* y *Scedosporium* (Pfaller *et al.*, 2006). En la figura 2 se observan algunos hongos patógenos representativos.

## Otras infecciones: virus y protozoarios

Otras enfermedades infecciosas importantes son las causadas por virus y los protozoarios. Los virus se forman a partir de material genético recubierto por una cápsula. Son muy pequeños y no son afectados por los antibióticos. Para combatirlos se requiere el uso de antivirales. Los virus causan enfermedades infecciosas conocidas como el resfriado común, la gripe y las verrugas. También causan enfermedades graves como el VIH / SIDA, la viruela y las fiebres hemorrágicas. (NLM, 2014). Según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2013), más de 530 millones de personas tienen el virus que causa el

**FIGURA 2.** Ejemplos representativos de hongos patógenos: a) *Candida albicans* (hifas, pseudohifas y blastoconidios); b) *Aspergillum* spp (conidióforo), y, c) *Fusarium* spp (conidióforos y macroconidios).



Fuente: Imágenes obtenidas de (a) Roberto Vazquez-Muñoz; (b) y (c) Wiki commons.

herpes genital (HSV-2), más de 290 millones de mujeres están infectadas por el virus del papiloma humano (VPH). Además, algunas enfermedades infecciosas de transmisión sexual pueden aumentar el riesgo de contraer el VIH.

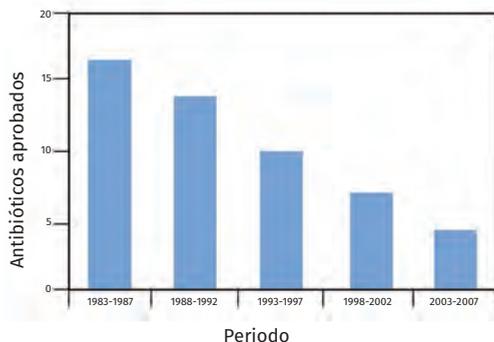
Los protozoos son organismos microscópicos eucariotas unicelulares, que pueden ser de vida libre o de naturaleza parasitaria. La transmisión de protozoos que viven en un intestino humano a otro ser humano se produce normalmente a través de una vía fecal-oral (alimentos o agua contaminados, por ejemplo), mientras que los protozoos que viven en la sangre o en los tejidos de los seres humanos se transmiten a otros seres humanos por un vector. Los protozoos que son infecciosos para los seres humanos se pueden clasificar en cuatro grupos: Sarcodina (como la ameba), Mastigóforos (*Giardia*, *Leishmania*), Cilióforos (*Balantidium*) y Sporozoa (*Plasmodium*, *Cryptosporidium*) (CDC, 2010). Entre las infecciones más comunes destacan la amibiasis, giardiasis, la enfermedad del sueño, la leishmaniasis, la toxoplasmosis y la malaria (Med-health, 2014).

## Antibióticos

Los agentes antibióticos son sustancias capaces de inhibir el crecimiento de los microorganismos o que los destruyen, y se utilizan para combatir las enfermedades infecciosas. A pesar de sus beneficios en la medicina, presentan algunos problemas importantes, tales como su limitada variedad, la interacción negativa potencial entre los diferentes tipos, etc. (Fothergill *et al.*, 2006). Además, desarrollar nuevos antibióticos es un proceso largo y costoso (Cassell y Mekalanos, 2001).

Uno de los problemas primordiales que presentan los antibióticos, es el desarrollo de cepas con multirresistencia, lo cual incrementa la dificultad para tratar las enfermedades infecciosas. Los microorganismos constantemente se

**FIGURA 3.** Aprobación de nuevos antibióticos por parte de la FDA. La cantidad de antibióticos aprobados disminuye con el tiempo.



Fuente: Adaptado de Taubes, 2008.

adaptan y evolucionan para sobrevivir en condiciones nuevas o adversas. A pesar de la investigación científica para la modificación o desarrollo de nuevas sustancias antimicrobianas, no hay seguridad de que se continúen generando nuevos antibióticos al ritmo que se requiere (Taylor *et al.*, 2002). En la figura 3, se muestra la cantidad de antibióticos aprobados por la FDA (Food and Drug Administration) por periodos de 5 años, desde 1983 hasta el 2007.

La resistencia contra antimicrobianos afecta a los países tanto industrializados como en desarrollo, provocando en los primeros un alto costo en los tratamientos, que llegan a ser prohibitivos en el caso de los países pobres. La proliferación de bacterias multirresistentes se asocia principalmente al mal manejo de los tratamientos antimicrobianos y a la alta tasa de infecciones nosocomiales (WHO, 2008). A estos problemas, se suman otros factores, tales como la aparición de focos epidémicos causados por desastres naturales o provocados por el hombre (inundaciones, guerras, hambruna, etcétera).

El resurgimiento de enfermedades infecciosas consideradas como controladas o erradicadas, conjugado con la ineficacia de los antibióticos, nos coloca en un reto científico muy importante para descubrir, diseñar o fabricar nuevas alternativas terapéuticas que nos permitan combatir las de manera eficiente.

## Bionanotecnología y bionanomedicina

La bionanotecnología es un área inherentemente interdisciplinaria. La bionanotecnología estudia los efectos y las interacciones que se presentan entre los materiales nanoestructurados y los sistemas biológicos. Investiga, por un lado, el efecto que provocan los nanomateriales en los seres vivos o sus componentes y, por otro, la influencia de los sistemas biológicos en las nanoestructuras, tales como su síntesis o modificación. La bionanotecnología

aborda áreas que tienen un impacto potencial en la vida diaria. Existen muchas investigaciones orientadas a la biomedicina, producción y manejo de alimentos, y sobre la generación y optimización de la energía.

Hay muchas ramas de investigación y aplicaciones importantes de la bionanotecnología, entre las que destacan: la mejora de alimentos, producción y almacenamiento de energía, calidad del agua, tratamiento de enfermedades infecciosas, terapia génica, transporte de fármacos, tratamiento contra el cáncer, entre muchas otras. Sin duda alguna, uno de los sectores más estudiados es el relacionado con la salud, pues en conjunto con la bioingeniería, se prevé que la bionanotecnología tendrá un gran impacto en la investigación biomédica, es decir, en la bionanomedicina.

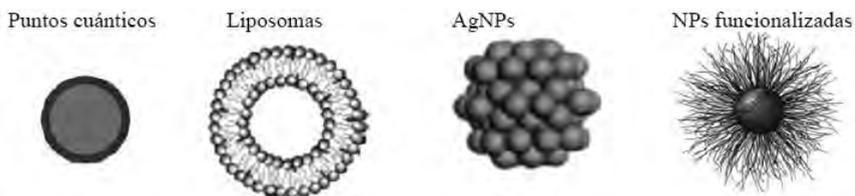
La bionanotecnología puede ayudar a mitigar el impacto de las enfermedades infecciosas. La bionanomedicina es un área de la bionanotecnología orientada a los aspectos biomédicos. En este sentido, la nanotecnología proporciona un panorama completamente nuevo, debido a la gran cantidad de materiales y procesos que se pueden generar y optimizar (Appasani, 2005).

## Nanomateriales de interés clínico

Los nanomateriales son estructuras que se encuentran en un rango de tamaño de 1 a 100 nm, aunque algunos autores incluyen a aquellos que miden incluso 1000 nm (Mohanraj y Chen, 2006; Buzea *et al.*, 2007; Re *et al.*, 2012). En estos tamaños, pueden cambiar algunas propiedades de la materia, por lo que las nanoestructuras poseen propiedades fisicoquímicas únicas (Kim *et al.*, 2007). El tamaño es un parámetro de interés, debido a su impacto a nivel biológico. Las propiedades de los nanomateriales también dependen de los elementos que los constituyen y su forma (Mohanraj y Chen, 2006). En la figura 4, se muestran algunas nanopartículas de interés clínico.

Algunos nanomateriales tienen efectos contra los microorganismos patógenos. Los “nanoantibióticos” (Huh *et al.*, 2011) son nanomateriales que muestran una actividad antimicrobiana o que elevan la efectividad y seguridad de los antibióticos. Las nanopartículas metálicas son un buen ejemplo de nanoantibióticos. En la tabla 1, aparecen diferentes nanomateriales con

**FIGURA 4.** Diferentes tipos de nanomateriales y nanopartículas. La mayoría de éstos poseen aplicaciones clínicas potenciales.



Fuente: Adaptado de “Nanoparticles for neuroimaging”, de Re *et al.*, 2012; *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 45: 3.

**Tabla 1.** Nanomateriales antimicrobianos. Se presentan diferentes nanomateriales que presentan aplicaciones potenciales relevantes.

Nano-material	Aplicaciones potenciales: clínicas e industriales
Nanopartículas de plata (AgNPs)	Revestimiento de material quirúrgico, usos clínicos y tratamiento de agua. Regeneración de quemaduras, heridas y úlceras de pie diabético.
Nanopartículas de zinc (ZnONPs)	Artículos antibacteriales (cremas, geles, etc.); revestimiento de material quirúrgico.
Nanopartículas de dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> NPs)	Agente antibacterial; purificador de agua y aire.
Nanopartículas de oro (AuNPs)	Terapia fototérmica y uso antifúngico.
Nanopartículas de óxido nítrico (NONPs)	Heridas infectadas y pie diabético.

Fuente: Adaptado de Huh *et al.*, 2011.

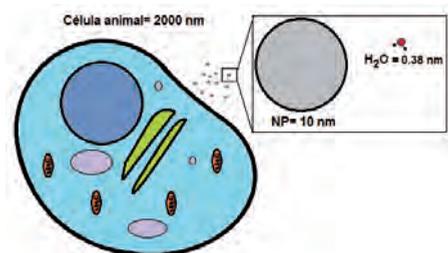
propiedades antimicrobianas y se muestran sus aplicaciones potenciales, aunque es importante destacar que faltan muchos estudios todavía.

Entre los nanomateriales más estudiados por la bionanomedicina, se encuentran las nanopartículas metálicas, tales como las de plata (AgNPs), dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>NPs) y zinc (ZnNPs). Las nanopartículas (NPs) metálicas presentan características importantes para las áreas microbiológicas y biomédicas (Sondi *et al.*, 2004), aunque también muchas de ellas presentan riesgos potenciales para la salud y el ambiente. En la figura 5, se observa una comparación entre las nanopartículas y los sistemas biológicos.

## Ventajas y desventajas de los nanoantibióticos

Los resultados de los estudios con nanoantibióticos muestran que éstos podrían ser una alternativa viable para combatir a los microorganismos patógenos. Las distintas nanopartículas tienen características variables que proporcionan diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas, que pueden

**FIGURA 5.** Comparación de AgNPs de 10 nm y diferentes sistemas biológicos. Relación representativa de los tamaños entre una célula animal de 2  $\mu\text{m}$ , una nanopartícula de 10 nm y una molécula de agua (H<sub>2</sub>O, 0.38 nm).



Fuente: Imágenes proporcionadas por Roberto Vazquez-Muñoz.

ser aprovechadas en las áreas biomédicas. Algunas ventajas de las NPs son: baja citotoxicidad, menores costos de producción y la posibilidad de sobrepasar los mecanismos de resistencia (Allaker *et al.*, 2000; Baker *et al.*, 2005). Se ha reportado que algunos nanoantibióticos, como las nanopartículas de plata (AgNPs), tienen propiedades deseables en la clínica, tales como su capacidad antiinflamatoria (Nadworny *et al.*, 2008), la promoción de la regeneración de tejidos con quemaduras (Klansen, 2000) y su capacidad antiviral (Rogers *et al.*, 2008).

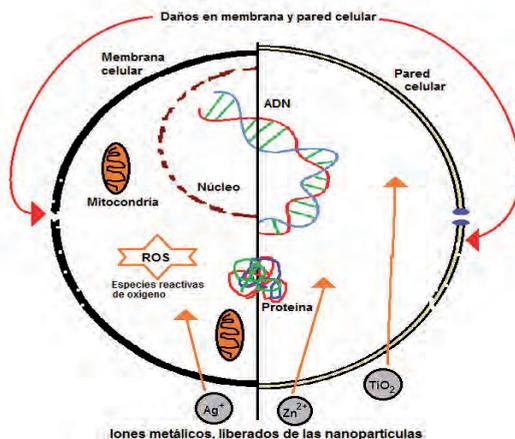
Por otro lado, los nanomateriales presentan riesgos potenciales a la salud y al entorno. La exposición a los nanomateriales es inevitable, debido a que éstos son cada vez más comunes en la vida diaria. Así, la investigación en nanotoxicología busca evaluar los efectos de tales interacciones, pues se han reportado efectos tóxicos en la escala individual y ambiental (Ray *et al.*, 2009). Entre los riesgos asociados a los nanomateriales, destacan las interacciones celulares y la toxicidad, el transporte y destino de las nanopartículas, su deposición y su movilidad, transformaciones redox, entre otros (Wiesner *et al.*, 2006). En el caso de las nanopartículas metálicas, éstas podrían dañar las membranas bacterianas a través de la posible liberación de iones metálicos, como la plata. Por lo que las células eucariotas (incluyendo las humanas) podrían verse afectadas de manera similar (Marambio-Jones y Hoek, 2010; Huh y Kwon, 2011). En la figura 6, se muestran posibles efectos de las nanopartículas metálicas sobre las células.

Es fundamental evaluar los parámetros de relevancia clínica, como la concentración inhibitoria, la concentración microbicida, el tiempo de exposición requerido, su estabilidad, los excipientes, posibles vías de aplicación, biocompatibilidad, índice de permeabilidad, entre otros. Por otro lado, se conocen de manera general los efectos de diferentes nanopartículas en los sistemas biológicos, se sabe muy poco acerca de sus mecanismos de acción. Se han propuesto diferentes mecanismos de acción para algunas NPs, tales como: la plasmólisis, la disrupción de los enlaces tiol y la liberación de iones metálicos (Feng *et al.*, 2000).

Actualmente, se siguen desarrollando métodos de síntesis y aplicación de los nanomateriales, tema prioritario desde la perspectiva médica, económica y ambiental. También es primordial la evaluación del uso de nanomateriales en el contexto ecológico, incluyendo sus posibles efectos sobre la flora y la fauna del entorno, su biodisponibilidad y su deposición final.

## Consideraciones finales

Considerando los aspectos generales sobre la importancia, impacto y aplicaciones potenciales de las nanopartículas metálicas, es fundamental estudiar las interacciones de los materiales nanoestructurados con los sistemas biológicos y el entorno. En el caso de la bionanomedicina, si se toman en cuenta los parámetros de producción y manejo, y estableciendo medidas de control,

**Figura 6.** Diferentes efectos de las NPs metálicas más comunes: AgNPs, ZnONPs y TiO<sub>2</sub>NPs.

Fuente: Modificado de Huh *et al.*, 2011.

estaremos en posibilidad de utilizar de una manera más amplia estos nanomateriales. Así, los nanoantibióticos podrían ser una alternativa al uso de los antibióticos en diversos campos o áreas de interés médico y socioeconómico, tales como la clínica, la veterinaria, la agricultura y la ganadería.

## Bibliografía

- Ahamed, M. (2011) Toxic response of nickel nanoparticles in human lung epithelial A549 cells. *Toxicology in Vitro*, 25: 930-936.
- Allaker, R. Ren, G. (2008) Potential impact of nanotechnology on the control of infectious disease. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 102(1): 1-2.
- Appasani, K. (2005) BioNanoMedicine: A nanotechnology platform for the 21st century. *Expert Rev. Mol. Diagn.*, 5(6): 839-40.
- Baker, C. Pradhan, A., Pakstis, L., Pochan, D., Shah, S. (2005) Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles. *J Nanosci Nanotechnol*, 5: 244-249. DOI:10.1166/jnn.2005.034.
- Buzea, C., Pacheco, I. y Robbie, K. (2007). Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4): MR17-MR172.
- Cassell, G. y Mekalanos, J. (2001) Development of antimicrobial agents in the era of new and reemerging infectious diseases and increasing antibiotic resistance. *JAMA*, 285(5): 601-605. DOI:10.1001/jama.285.5.601.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2010). Recuperado: 10 de febrero del 2014 <<http://www.cdc.gov/parasites/about.html>>.
- Clancy, C. y Nguyen, M. (2012) Systemic candidiasis: Candidemia and deep-organ infections. En Calderone, R.A. y Clancy, C.J. (eds.) *Candida y candidiasis* (pp. 387-401). Washington DC, ASM Press.
- Eggimann, P. Garbino, J. y Pittet, D. (2003) Epidemiology of *Candida* species

- infections in critically ill non-immunosuppressed patients. *Lancet Infect., Dis.*, 3: 685-702.
- Feng, Q. Wu, J., Chen, G., Cui, F., Kim, y Kim, J. (2000) A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *E. coli* and *Staphylococcus aureus*. *J Biomed Mater Res*, 52: 662-8.
- Fonkwo, P. (2008) Pricing infectious disease. The economic and health implications of infectious diseases. *EMBO Rep.*, 9(1): S13-S17. doi: 10.1038/embor.2008.110.
- Fothergill, A.W. Rinaldi, M.G. y Sutton, D.A. (2006) Antifungal susceptibility testing. *Infect Dis Clin N Am*, 20: 699-709.
- Fridkin, S.K. (2005) The changing face of fungal infections in health care settings. *Clin. Infect. Dis.* 41: 1455-1460.
- Huh y Kwon, Y. (2011) Nanoantibiotics: A new paradigm for treating infectious diseases using nanomaterials in the antibiotics resistant era. *J. Control Release*, 156: 128-145. DOI: 10.1016/j.jconrel.2011.07.002.
- IBNAM: Institute of Bionanotechnology in Medicine. Recuperado: 10 de febrero del 2014, de <<http://www.ibnam.northwestern.edu/about.html>>.
- Klasen, H. (2000) (a). Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses. *Burns*, 26: 117-138.
- Marambio-Jones, C. y Hoek, E.M.V. (2010) A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J Nanopart Res.* 12: 1531-1551. DOI 10.1007/s11051-010-9900-y.
- Martin, G.S., Mannino, D.M., Eaton, S., y Moss, M. (2003) The epidemiology of sepsis in the United States from 1979 through 2000. *N. Engl. J. Med.*, 348: 1546-1554.
- Mcneil, M., Nash, S., Hajjeh, R., Phelan, M., Conn. L., Plikaytis, B., y Warnock, D. (2001) Trends in mortality due to invasive mycotic diseases in the United States, 1980-1997. *Clin. Infect. Dis.* 33: 641-647.
- Med-health (2014) Recuperado: 10 de febrero del 2014, de <<http://www.med-health.net/Protozoan-Diseases.html>>.
- Mohanraj, V. y Chen, Y. (2006) Nanoparticles – A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 5(1): 561-573
- Nadworny, P., Wang, J., Tredget, E. y Burrell, R. (2008) Anti-inflammatory activity of nanocrystalline silver in a porcine contact dermatitis model. *Nanomedicine*, 4: 241-251.
- National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID) (2009) *Understanding microbes in sickness and in health*. NIH Publication No. 09-4914, p 12. Recuperado: 10 de febrero de 2014, de <<http://www.niaid.nih.gov/topics/microbes/documents/microbesbook.pdf>>.
- National Library of Medicine, National Institutes of Health (NLM) (2013) *Infectious diseases*. Recuperado: 10 de febrero, de <<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/infectiousdiseases.html>>.
- National Library of Medicine, National Institutes of Health (NLM) (2014) Recuperado: 10 de febrero, de <<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/viralinfections.html>>.

- NIAID: National Institute of Allergy and Infectious Diseases. *Understanding Microbes in Sickness and in Health*. NIH Publication No. 09-4914, p. 12. Recuperado: 10 de febrero del 2014, de <<http://www.niaid.nih.gov/topics/microbes/documents/microbesbook.pdf>>.
- Pfaller, M. y Diekema, D. (2006) Epidemiology of invasive candidiasis: A persistent public health problem. *Clinical Microbiology Reviews*, 20: 133-63.
- Ray, P.C., Yu, H. y Fu, P.P. (2009) Toxicity and environmental risks of nanomaterials: Challenges and future needs. *J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev.*, 27(1): 1-35. doi: 10.1080/10590500802708267.
- Re, F., Moresco, R. y Masserini, M. (2012) Nanoparticles for neuroimaging. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 45 073001.
- Rogers, J., Parkinson, C., Choi, Y., Speshock, J. y Hussain, S. (2008) A preliminary assessment of silver nanoparticle inhibition of monkeypox virus plaque formation. *Nanoscale Res Lett*, 3: 129-133.
- Scott, D. (2009) *The direct medical costs of healthcare-associated infections in U.S. hospitals and the benefits of prevention*. National Center for Preparedness, Detection, and Control of Infectious Diseases. Recuperado: 3 de julio de 2013, de <[http://www.cdc.gov/hai/pdfs/hai/scott\\_costpaper.pdf](http://www.cdc.gov/hai/pdfs/hai/scott_costpaper.pdf)>.
- Sondi, I. y Salopek-Sondi, B. (2004) Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J Colloid Interface Sci*, 275: 177-182. DOI:10.1016/j.jcis.2004.02.012.
- Talyor P., Stapleton P. y Luzio J. (2002) New ways to treat bacterial infections. *Drug Discov. Today*, 7(21): 1086-1091.
- Ulrich, D. y Hacker, J. (2001) Whole genome plasticity in pathogenic bacteria. *Current Opinion in Microbiology*, 4: 550-557.
- UNICEF/WHO (2009) *Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done*. The United Nations Children's Fund (UNICEF)/World Health Organization (WHO), ISBN 978-92-806-4462-3 (UNICEF).
- Walsh, T., Groll, A., Hiemenz, J., Flemming, R., Roilides, E. y Anaissie, E. (2004) Infections due to emerging and uncommon medically important fungal pathogens. *Clin. Microbiol. Infect.*, 10(1): 48-66.
- WHO (2013) <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs110/en/>>.
- Wiesner, M., Lowry, G., Álvarez, P., Dionysiou, D., Biswas, P. (2006) Assessing the risks of manufactured nanomaterials. *Environmental Science y Technology*. <<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es062726m>>.
- World Health Organization (WHO) (1997) *The world health report 1997 - conquering suffering, enriching humanity*. Recuperado: 10 de febrero de 2014, de <[http://www.who.int/whr/1997/media\\_centre/50facts/en/](http://www.who.int/whr/1997/media_centre/50facts/en/)>.
- World Health Organization, WHO (2000) *Millennium Development Goals (MDGs)*. Recuperado 16 de julio del 2013, de: <[http://www.who.int/topics/millennium\\_development\\_goals/en/](http://www.who.int/topics/millennium_development_goals/en/)>.
- World Health Organization (WHO) (2008) *What are the International Health Regulations?* Recuperado: 10 de febrero de 2014, de <<http://www.who.int/features/qa/39/en/index.html>>.

# Partículas tipo virus y su potencial aplicación en bionanotecnología

Rubén Darío Cadena Nava\*

**RESUMEN:** Los virus son nanopartículas que existen en la naturaleza y pueden causar desastres agrícolas, grandes pérdidas económicas e incluso la muerte de seres humanos, sin embargo, también pueden ser usados en aplicaciones tecnológicas y médicas. Las partículas tipo virus están constituidas por una cápsula de proteínas virales ordenadas simétricamente sin su material genético, éstas pueden contener como cargo algún fármaco o información genética en forma de ADN o ARN, enzimas o nanopartículas metálicas. Estas nanopartículas al carecer de su material genético infeccioso pueden ser usadas potencialmente en nanomedicina para el desarrollo de nuevas terapias. Las terapias a base de partículas tipo virus pueden permitir el envío dirigido de fármacos donde sea requerido de una manera segura y eficiente y, por consiguiente, habría una disminución en las dosis requeridas y en los efectos secundarios.

**PALABRAS CLAVE:** partículas tipo virus, cápsula de proteínas virales, nanomedicina.

**ABSTRACT:** The viruses are nanoparticles that exist in the nature; they can cause agricultural disasters and large economic losses, and even death of humans. However, they can be used in technological and medical applications. The virus-like particles are constituted by a capsule of viral proteins symmetrically arranged, without his genetic material, containing a drug as cargo or genetic information in the form of DNA or RNA, enzymes or metallic nanoparticles. These nanoparticles lacking off its infectious genetic material can be potentially used in nanomedicine to improve the efficiency of drug delivery and can help to develop new therapies. Therapies based on virus-like particles may allow targeted drug delivery where it is required in a safety and efficient way, and therefore would be a decrease in the required dose and side effects.

**KEYWORDS:** virus-like particles, capsule of viral proteins, nanomedicine.

## Introducción

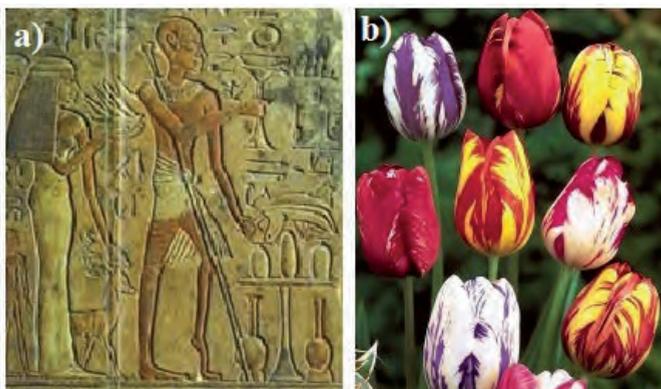
La palabra virus proviene del latín que significa toxina o veneno. Podemos definir un virus como un agente infeccioso nanoscópico que sólo puede multiplicarse dentro de una célula, y si se encuentra aislado de su célula huésped es inofensivo o inerte, por lo cual se le ha considerado como la frontera entre la vida y lo inerte. Los virus pueden ocasionar grandes desastres, por ejemplo la muerte de aves en granjas avícolas debido a la gripe aviar, la muerte de

---

\* Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Nanociencias y Nanotecnología. Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada. CP. 22800. Ensenada, B.C. México. Correspondencia: (rcadena@cny.n.unam.mx).

El autor agradece el financiamiento otorgado por el Proyecto PAPIIT- IA100314, UNAM, para el uso del microscopio electrónico de transmisión (TEM). Por el excelente apoyo de Francisco Ruiz para la obtención de las imágenes del virus CCMV y VLPs por medio del JEOL JEM-2010 (TEM).

**FIGURA 1.** a) Grabado egipcio en donde se muestra el sacerdote Remsi con la pierna izquierda afectada por el virus de la polio; b) Tulipanes holandeses infectados por el virus TBV que produce efectos multicolores en las flores.



Fuente: Figuras modificadas a partir de las referencias (Remsi y Tulipomanía).

personas debido a virus como el de la hepatitis B, el de la inmunodeficiencia adquirida (VIH) o el del papiloma humano (HPV) por mencionar algunos. Sin embargo, podemos utilizarlos a nuestro favor mediante el entendimiento de sus propiedades fisicoquímicas y estructurales; de tal manera, es posible construir nanopartículas que conservan algunas de las propiedades y características del virus original pudiendo ser utilizadas en diversas aplicaciones en bionanotecnología.

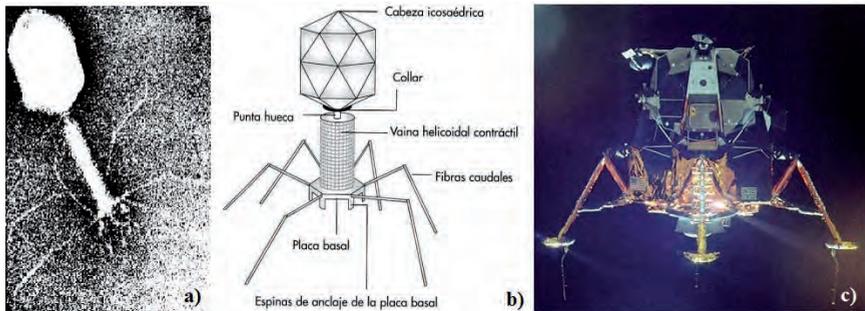
## Los virus

La virología es una rama de la biología que se encarga del estudio de los virus. La historia nos muestra registros de los estragos ocasionados por los virus a través del tiempo, por ejemplo en los grabados egipcios se puede observar la imagen del sacerdote Remsi con la pierna izquierda deforme debido al virus de la polio (figura 1a). Por otra parte, durante el siglo XVII, Holanda sufrió una crisis económica debido a la "tulipomanía", euforia y posterior decaimiento por comprar tulipanes holandeses afectados por el virus del mosaico del tulipán (TBV), que cambia la apariencia de los tulipanes produciendo líneas o bandas multicolores en sus pétalos (figura 1b).

Los virus están presentes en todos los reinos de la naturaleza, hay virus que infectan animales, plantas, hongos, y bacterias. Los virus que infectan bacterias se llaman bacteriófagos. Es importante mencionar que el origen y avance de la biología molecular se debe a los bacteriófagos pues estas nanopartículas han servido para entender la célula a nivel molecular.

Básicamente, un virus está constituido por una cápside que contiene en su interior el material genético (ácidos nucleicos). La cápside está formada por proteínas simétricamente ordenadas, para el caso más simple se trata de

FIGURA 2. a) Micrografía electrónica del fago T4; b) estructura del fago T4; c) cápsula espacial Apolo.



Fuente: Imágenes modificadas a partir de las referencias (T4 y Apolo).

un solo tipo de proteína y de material genético que puede ser ADN o ARN. Los virus pueden tomar formas esféricas o de rodillo, o más complejas. Típicamente, el tamaño de los virus está en el rango de 17 a 400 nm, por lo cual no pueden ser observados por el ojo humano o con un microscopio óptico, sólo pueden ser visualizados con la ayuda de microscopios electrónicos o de fuerza atómica.

Un ejemplo de un virus en forma de rodillo o barra es el virus de mojado del tabaco (TMV, por sus singlas en inglés); los bromovirus son un ejemplo típico de virus esféricos que infectan algunos tipos de frijol como el caupí. También, existen virus con estructuras complejas como algunos bacteriófagos, un caso especial es el fago T4 cuya morfología es muy parecida a la cápsula espacial Apolo que llegó a la luna en 1966 (figura 2).

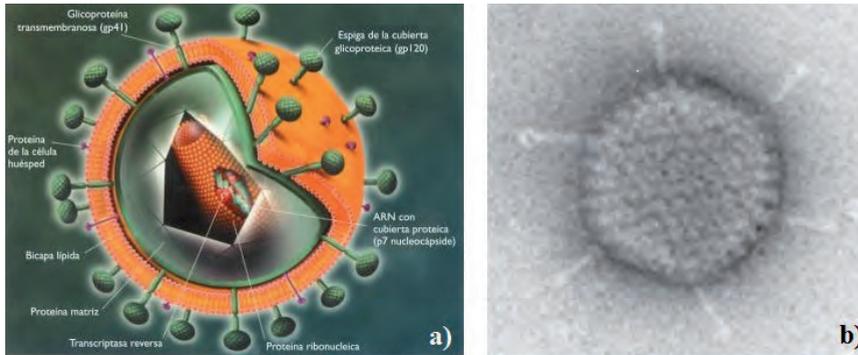
La mayoría de los virus que infectan a los animales poseen una envoltura formada por lípidos y proteínas que sobresalen desde la cápside viral y atraviesan la membrana de lípidos, semejante a un erizo de mar, a estas proteínas en forma de filamentos se les llama espículas. Ejemplos típicos de estos tipos de virus los constituyen el virus del VIH (figura 3a), y los adenovirus (figura 3b); estos últimos no poseen envoltura. A los virus que no poseen envoltura se les denomina virus desnudos.

Recientemente, los virus y partículas tipo virus (VLPs) han recibido gran atención en el área de la bionanotecnología, que es la aplicación de la tecnología y biología a escalas moleculares que van de 1 a 100 nm. Las proteínas virales pueden estar organizadas formando estructuras simétricamente ordenadas a escala nanométrica, llamadas cápsides, por lo cual, recientemente han sido de gran interés en nanotecnología y nanomedicina.

## Partículas tipo virus

Lo interesante de algunos virus es que éstos pueden ser reconstituídos en laboratorio a partir de sus componentes, es decir, al mezclar el material genético y proteínas del virus en un tubo de ensayo, podemos formar

**FIGURA 3.** a) Virus del VIH en donde se muestra su estructura; b) micrografía electrónica de un adenovirus.

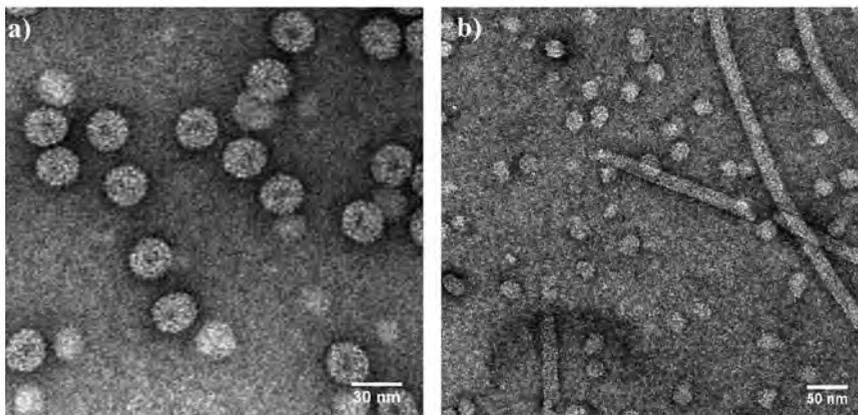


Fuente: Imágenes modificadas a partir de las referencias (VIH y adenovirus).

nuevamente nanopartículas infecciosas idénticas al virus original. Un buen ejemplo es el virus del moteado amarillo del caupí (CCMV).

Las proteínas que forman la cápside de un virus pueden tener la capacidad de autoensamblarse en diferentes estructuras; por ejemplo, las proteínas de las cápside del CCMV en diferentes condiciones de pH y concentración de sal pueden autoensamblarse en diferentes estructuras, tales como cápsides vacías, similares al virus original pero sin su genoma, y nanotubos (figura 4) (Lavelle *et al.*, 2009). Es importante definir que una partícula tipo virus es una estructura formada por proteínas virales simétricamente ordenadas en ausencia de su material genético, es decir, las cápsides pueden estar

**Figura 4.** Micrografías electrónicas del virus CCMV y de VLPs en forma de tubos y cápsides obtenidas al ensamblar las proteínas del cápside del virus CCMV.



Fuente: Imágenes obtenidas por el autor.

vacías o encapsidando algún tipo de molécula o material genético diferente al del virus original.

## VLPs en nanotecnología y nanomedicina

Las partículas tipo virus (VLPs) pueden ser usadas como moldes o andamios para la síntesis de nanomateriales, por ejemplo, la afinidad de las proteínas virales hacia moléculas metálicas nos puede permitir la fabricación de nanopartículas metálicas, magnéticas, o para encapsidar y estabilizar nanopartículas (Evans *et al.*, 2008). Por mencionar un caso, se ha reportado el encapsulamiento de nanopartículas de oro funcionalizadas, usando proteínas de la cápside de un virus de planta, llamado virus mosaico del bromo (BMV) (Aniagyei *et al.*, 2008).

En el campo de la medicina, los virus tienen gran potencial en el área de la nanomedicina. La nanomedicina es la aplicación de la nanotecnología en la medicina haciendo uso de novedosas propiedades de los materiales desde el punto de vista físico, químico y biológico a escala nanométrica. El uso potencial de las VLPs en nanomedicina se está enfocando en la detección, prevención, diagnóstico y para mejorar las terapias de tratamiento de enfermedades como el cáncer.

La aplicación potencial de las VLPs como vacunas es atractiva, debido a considerarlas un sistema seguro a diferencia de las vacunas basadas en virus atenuados o inactivados, no hay riesgo de desarrollar enfermedades en individuos vacunados porque estas nanopartículas carecen del material genómico necesario para producir una infección viral. Además, estudios en laboratorio han demostrado que algunos tipos de VLPs pueden ser utilizados para generar respuestas antitumorales (McKee *et al.*, 2012), y contra el cáncer de piel (Avogadri *et al.*, 2010)

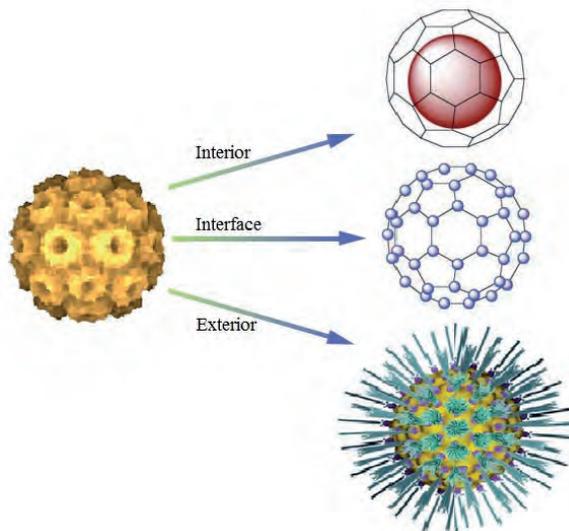
Es importante mencionar que las dos primeras vacunas preventivas contra el cáncer están basadas en VLPs, una es para prevenir el virus de la hepatitis B (VHB) asociada con el carcinoma hepatocelular (Buonaguro *et al.*, 2011) y la segunda, para prevenir el virus del papiloma humano VPH asociado con el carcinoma cervical (No *et al.*, 2011). Actualmente, estas vacunas basadas en VLPs están comercializadas en todo el mundo por Merck and Co., Inc. Recombivax HB (VHB) y Gardasil (VPH) y Engerix de GlaxoSmithKline (VHB) y de Cervarix (VPH).

También se ha demostrado que las VLPs pueden servir para proteger su carga, por ejemplo ácidos nucleicos, en particular las cápsides del virus de planta CCMV son capaces de proteger ARN heterólogo (Cadena-Nava *et al.*, 2012) y, además, pueden ser utilizadas para el envío de genes en células mamarias (Azizgolshani *et al.*, 2013), por lo cual éste sería un buen sistema para la protección y transporte de genes. Adicionalmente, las partículas derivadas de virus de plantas presentan la ventaja de ser biocompatibles al no generar una respuesta inmune (Kaiser *et al.*, 2007).

## Diseño de cápsides virales para el envío dirigido

El conocimiento fisicoquímico de los virus, su estructura y composición, en particular de las proteínas que forman las cápsides, puede permitir la capacidad de manipular las proteínas estructurales de algunos virus para sintetizar VLPs con las características requeridas. Por medio de la ingeniería de proteínas, a través de mutaciones sitio dirigidas, es posible llevar a cabo la bioconjugación química de la cápside. La modificación de las VLPs se puede realizar en el exterior de la cápside del virus, en el interior de ésta y en la interfase, tal y como se muestra en la imagen de la figura 5, esta capacidad y versatilidad de poder manipular las VLPs es de gran interés para realizar el envío dirigido hacia la célula que presenta el problema, y de esta manera sólo poder entrar a la célula deseada y liberar en su interior el material genético, fármaco, nanopartícula o molécula requerida, permitiendo que la terapia sea más eficiente sin provocar efectos secundarios o nocivos. Otro aspecto importante en el desarrollo de las VLPs, es la interacción de las proteínas que forman la cápside con las moléculas que se desean encapsidar, por caso, se ha demostrado que las interacciones electrostáticas juegan un papel primordial en el autoensamble de algunos virus (Cadena-Nava *et al.*, 2012), por lo cual es indispensable tomar en cuenta las interacciones electrostáticas entre el cargo y las proteínas virales para la síntesis de VLPs con potencial terapéutico.

**Figura 5.** Esquema de la versatilidad de las VLPs en su modificación exterior, en la interfase y en el interior de la cápside.



Fuente: Imagen modificada a partir de Douglas *et al.*, (2006).

## Conclusiones

Los virus son nanopartículas de las cuales podemos aprovechar su modo de acción para el desarrollo de materiales novedosos con aplicaciones en nanotecnología. El conocimiento de la estructura de los virus, la constitución de su cápside, el entendimiento de su autoensamble, la caracterización de sus proteínas estructurales, y el uso de técnicas de biología molecular abren el camino para la síntesis de novedosas partículas tipo virus VLPs, y sus aplicaciones en nanomedicina permitirán el desarrollo de nuevas terapias en beneficio de nuestra sociedad.

## Bibliografía

- Aniagyei, S.E., C. DuFort, C. Cheng Kao, B. Dragnea (2008) Self-assembly approaches to nanomaterial encapsulation in viral protein cages, *J. Mater. Chem.*, 18, 3763-3774.
- Avogadri, F., T. Merghoub, M.F. Maughan, D. Hirschhorn-Cymerman, J. Morris, E. Ritter, R. Olmsted, A.N. Houghton, J.D. Wolchok (2010) Alphavirus replicon particles expressing TRP-2 provide potent therapeutic effect on melanoma through activation of humoral and cellular immunity. *PLoS ONE* 5, e12670.
- Azizgolshani, O., R.F. Garmann, R.D. Cadena-Nava, C.M. Knobler, W.M. Gelbart (2013) Reconstituted plant viral capsids can release genes to mammalian cells. *Virology*, 441(1): 12-17.
- Buonaguro L., A. Petrizzo, M.L. Tornesello, F.M. Buonaguro (2011) Translating tumor antigens into cancer vaccines. *Clin. Vaccine Immunol.*, 18: 23-34.
- Cadena-Nava, R.D., M. Comas-García, R.F. Garmann, A.L.N. Rao, C.M. Knobler, W.M. Gelbart (2012) Self-assembly of viral capsid protein and RNA molecules of different sizes: requirement for a specific high protein/RNA mass ratio. *Journal of Virology*, 86(6): 3318-3326.
- Douglas, T., M. Young (2006) Viruses: Making friends with old foes. *Sciences*, 312, 873-875.
- Evans, D.J. (2008) The bionanoscience of plant viruses: templates and synthons for new materials. *J. Mater. Chem.*, 18: 3746-3754.
- Kaiser, C.R., M.L. F.E. Gillitzer, Ann L. Harmsen, Allen G. Harmsen, Mark A. Jutila, Trevor Douglas, Mark J. Young (2007) Biodistribution studies of protein cage nanoparticles demonstrate broad tissue distribution and rapid clearance in vivo. *International Journal of Nanomedicine*, 2(4): 715-733.
- Lavelle, L., M. Gingery, M. Phillips, W.M. Gelbart, C.M. Knobler, R.D. Cadena-Nava, J. Ruiz-García (2009) Phase diagram of self-assembled viral capsid protein polymorphs. *The Journal of Physical Chemistry B.*, 113(12): 3813-3819.
- McKee, S.J., V.L. Young, F. Clow, C.M. Hayman, M.A. Baird, I.F. Hermans, S.L. Young, V.K. Ward (2012) Viruslike particles and  $\alpha$ -galactosylceramide form a selfadjuvanting composite particle that elicits antitumor responses. *J. Control. Rel.* 159, 338-345.

No, J.H., M.K. Kim, Y.T. Jeon, Y.B. Kim YB, Y.S. Song Y.S. (2011) Human papilloma-virus vaccine: Widening the scope for cancer prevention. *Mol. Carcinog.*, 50: 244-253.

## Páginas electrónicas

Adenovirus. <[http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp\\_imagepages/9500.htm](http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/esp_imagepages/9500.htm)>.

Apollo. <[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/apollo/#.Uq8xyeIlhSI](http://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/#.Uq8xyeIlhSI)>.

Remsi. <<http://microscopiadas.blogspot.mx/2009/03/la-enfermedad-reflejada-en-la-piedra-ii.html>>.

T4. <<http://textbookofbacteriology.net/phage.html>>.

Tulipomanía. <<http://gardenofeaden.blogspot.mx/2012/04/tulip.html>>.

VIH. <<http://www.aids-sida.org/sobrevivir.html>>.

# Biosíntesis de nanomateriales: hacia el avance de la nanotecnología verde

Ángela B. Sifontes\*

**RESUMEN:** La creciente necesidad de desarrollar tecnologías ambientalmente amigables para la síntesis de nanomateriales ha dado lugar a un beneficioso proceso en las áreas de investigación y desarrollo: la nanotecnología verde. Un nuevo enfoque para la fabricación de estos productos, con viabilidad comercial sostenible, plantea nuevas rutas en su preparación, donde se establezca una conexión entre la biotecnología y la nanotecnología. El presente documento discute algunos de los últimos avances en la biosíntesis de nanomateriales, destacando aspectos relevantes en las metodologías de preparación de óxidos metálicos.

**PALABRAS CLAVE:** nanopartículas, plantillas biológicas, biomoléculas, química verde.

**ABSTRACT:** The growing need to develop environmentally friendly technologies for nanomaterials synthesis, has given rise to a beneficial process in the areas of research and development: green nanotechnology. A new approach to improve product manufacturing, with sustainable commercial viability, develops new routes for its preparation, where they establish a connection between biotechnology and nanotechnology. This document discusses some recent developments in the biosynthesis of nanomaterials, emphasizing important aspects in preparation methodologies.

**KEYWORDS:** nanoparticles, biological template, biomolecules, green chemistry.

## Introducción

Con el advenimiento de la nanotecnología, se ha alimentado la visión de obtener una tecnología lo suficientemente avanzada para hacerla indistinguible de la ficción, la cual ha encontrado su desarrollo en cientos de productos de aplicaciones industriales, incluyendo los “chips” de computadoras, automóviles, implementos deportivos, ropa, medicinas, cosméticos y suplementos dietéticos, entre muchos otros. Sin embargo, algunos científicos ya han empezado a cuestionar el balance ecológico de la naciente nanorrevolución. Estamos todavía en el umbral de lo posible, una llamada a la “nanoescala” ambientalmente segura. En este sentido, la preocupación por el medio ambiente y la salud pública ha dado lugar a un beneficioso proceso en las áreas de investigación y desarrollo: *la nanotecnología verde*. Un nuevo enfoque para la fabricación de estos productos, encontrando metodologías respetuosas del ambiente y más seguras para todos los seres vivos, con viabilidad comercial sostenible.

---

\* Centro de Química, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apartado 20632, Caracas 1020-A Venezuela. Correspondencia: (angelasifontes@gmail.com)

En general, la síntesis de materiales a escala nanométrica comienza mediante la preparación de suspensiones precursoras, con un exceso de aditivos orgánicos y diferentes solventes que se requieren para dirigir el proceso de cristalización bajo condiciones hidrotérmicas (Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008; Sifontes *et al.*, 2013; Talavera *et al.*, 2013; Paraschiv *et al.*, 2010; Visinescu *et al.*, 2012). Desafortunadamente, estas condiciones de formulación para la síntesis de los materiales nanocristalinos requieren de reactivos costosos y gran consumo de energía. Usualmente, las sustancias químicas sin reaccionar, provenientes de las soluciones precursoras, son desechadas, dando como resultado la eliminación de materiales con efectos ambientales negativos. Es por ello que, debido a la creciente necesidad de desarrollar tecnologías ambientalmente amigables para las síntesis de materiales, hoy en día se plantean nuevas rutas en su preparación, donde se establezca una conexión entre la biotecnología y la nanotecnología. A través de muchos diferentes métodos sintéticos, continúa la búsqueda de biomateriales adecuados para la biosíntesis de las nanopartículas. En esta revisión se mencionan algunos avances interesantes.

## Síntesis de nanopartículas empleando polisacáridos: empleo de quitosano como plantilla biológica

El uso de materiales obtenidos de la naturaleza ha permitido el aprovechamiento de diferentes biomoléculas formadas por los organismos vivos, que han sido el resultado de millones de años de evolución (Plascencia-Villa *et al.*, 2011). Mediante el empleo de algunas de ellas, particularmente las de tipo polisacárido, como celulosa, quitosano, alginato y almidón, se logran sintetizar partículas altamente cristalinas, de diferentes morfologías y composición, cuyos tamaños de cristal suelen ser inferiores a los 100 nm (Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008; Ramimoghdam *et al.*, 2013; Visinescu *et al.*, 2012; Paraschiv *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2012). La incorporación de estas moléculas en las metodologías verdes, frecuentemente ha sido dirigida como agente “estabilizador o protector”, que evita la aglomeración durante el proceso de formación, o para modificar las características superficiales de las nanopartículas (Pompe *et al.*, 2013). En general, en el mecanismo de formación de las nanopartículas, los precursores actúan como centros de nucleación dando lugar a la formación de *clusters* cuyo crecimiento continuará a medida que se sigan agregando los átomos, formándose así, partículas de mayor tamaño y formas poliédricas más complejas (Sifontes *et al.*, 2010). No obstante, es necesario estabilizar las partículas mediante la envoltura de moléculas o “agentes” estabilizadores (polímeros, generalmente) que se adsorben en su superficie, inhibiendo, de esta manera, el proceso de aglomeración o sinterización (Sifontes *et al.*, 2010).

Un caso interesante, en referencia a la utilización de estos polisacáridos,

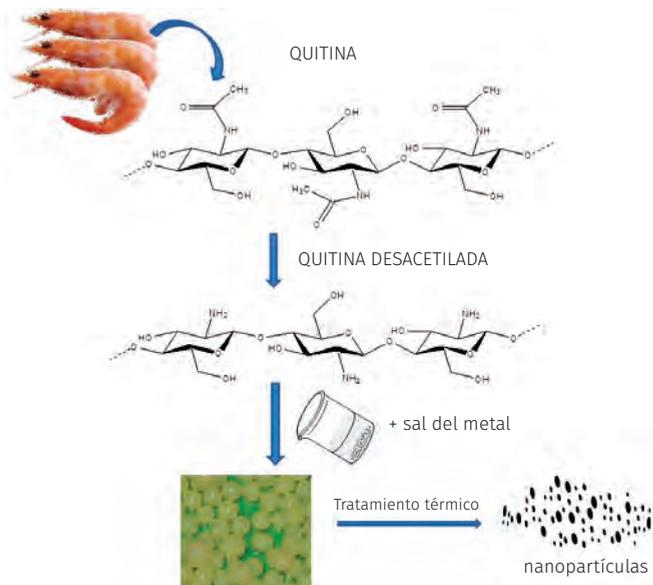
es descrito por el quitosano, polielectrolito, que puede utilizarse en condiciones similares a la de los tensoactivos catiónicos. Las propiedades fisicoquímicas del quitosano ofrecen una fuente de diferentes estructuras químicas en solución, las cuales pueden facilitar el diseño de nuevos materiales porosos a escala nanométrica (Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008). El quitosano se obtiene por desacetilación de la quitina. El segundo polisacárido natural más abundante en la tierra, después de la celulosa, se encuentra presente en el exoesqueleto de artrópodos y zooplancton marino, formando parte de la pared celular de algunas familias de hongos y levaduras, además en las alas de algunos insectos (Pompe *et al.*, 2013; Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008). El quitosano se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable. Entre sus aplicaciones se destacan la biomedicina, biotecnología, medicina, tratamiento de aguas industriales, floculación y coagulación de proteínas y aminoácidos; además, posee propiedades antifúngicas y antibacteriales (Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008; Caldera *et al.*, 2009).

La propiedades químicas del quitosano, como el contenido de grupos amino e hidroxilo reactivos y la capacidad de formar complejos quelato con muchos iones de metales de transición, hacen muy provechosa su utilización en la preparación de óxidos metálicos a escala nanométrica (Sifontes *et al.*, 2011; Kalarical *et al.*, 2008), facilitando así la síntesis de partículas altamente cristalinas en órdenes de magnitud inferiores a los 100 nm (Sifontes *et al.*, 2011). De particular interés, se puede mencionar la síntesis de óxido de cerio nanocristalino (figura 1), en la cual se han obtenido partículas cuyos diámetros son inferiores a los 10 nm (Sifontes *et al.*, 2011) (figura 2), colocándolo como un interesante material inorgánico con potenciales aplicaciones biológicas. Aunque las nanopartículas de cerio han sido estudiadas para numerosas aplicaciones en ciencia e ingeniería, recientemente se ha demostrado que poseen propiedades antioxidantes, las cuales le permiten actuar contra el daño celular inducido por radiación, el estrés oxidativo e inflamación (Asati *et al.*, 2009). Adicionalmente, se puede mencionar que los compuestos híbridos de óxidos de metales y quitosano (NPs- Qui) han atraído mucho interés para el desarrollo de biosensores, agentes de contraste para las imágenes magneto resonantes (MRI) y agentes antibacterianos (Kumar *et al.*, 2004; Caldera *et al.*, 2009).

## Síntesis de nanomateriales empleando microorganismos: pared celular de levaduras

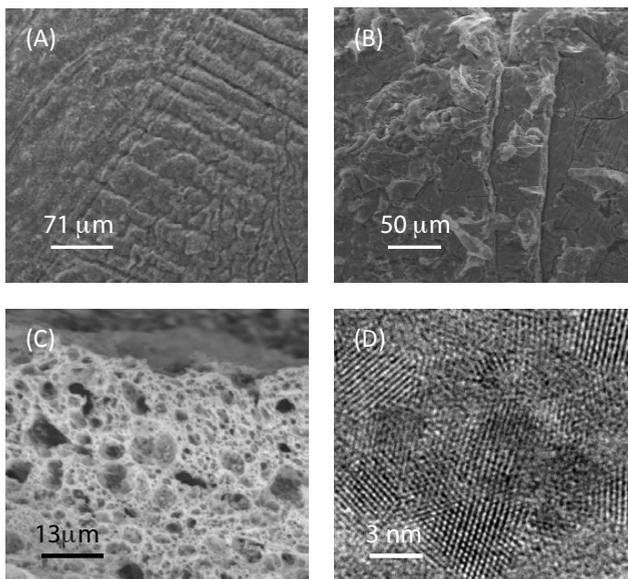
Recientemente, las células microbianas han sido propuestas como un medio económico, ambientalmente amigable, para dirigir la deposición y ensamblaje de nanopartículas inorgánicas y nanoestructuras (Sifontes *et al.*, 2013). Sus versátiles funciones biológicas, alta biodegradabilidad y baja toxicidad,

**FIGURA 1.** Esquema sobre la utilización de quitosano en la síntesis de nanopartículas de cerio.



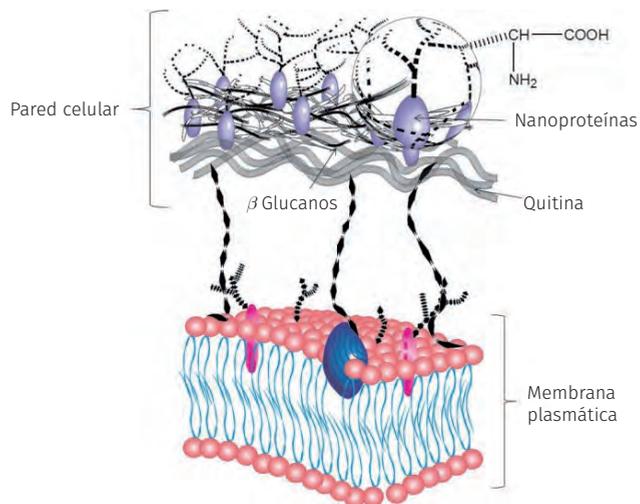
Fuente: Elaboración de la autora.

**FIGURA 2.** Micrografía SEM (a,b) del material híbrido preparado con quitosano y sales de óxido de cerio; c) micrografía SEM del óxido sintetizado, obtenido mediante tratamiento térmico; d) imagen de las nanopartículas de óxido de cerio obtenidas por HRTEM (microscopía de transmisión de alta resolución).



Fuente: Imágenes obtenidas por la autora y su grupo de investigación.

FIGURA 3. Modelo de la estructura de la pared celular de las levaduras.



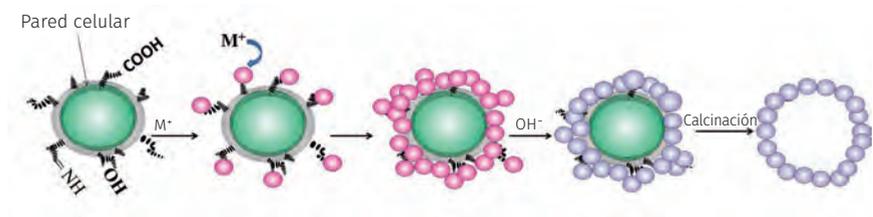
Fuente: Elaboración de la autora.

en comparación con los surfactantes sintetizados químicamente, ofrecen hoy en día una importante alternativa en el campo de la síntesis de nanomateriales.

Las células de los microorganismos, vivas o muertas, son capaces de dirigir la síntesis y montaje de materiales inorgánicos cristalinos a partir de las biomoléculas activas presentes en sus membranas celulares. Los méritos específicos de esta ruta de síntesis son atribuidos en gran parte a la existencia de grupos funcionales ( $OH^-$ ,  $CHO^-$  y  $COO^-$ , entre otros) presentes en la pared celular de las células microbianas (Sifontes *et al.*, 2013) (figura 3).

Estos simples procedimientos de síntesis se basan en la interacción entre el grupo funcional de la pared celular y los precursores metálicos (figura 4). La superficie de los microorganismos adquiere una carga eléctrica en el ambiente acuoso, debido a la ionización de los grupos químicos superficiales, tales como grupos amino y carboxilato (Sifontes *et al.*, 2013; Pompe

FIGURA 4. Modelo esquemático de una biosíntesis de óxidos metálicos empleando células de levadura.



Fuente: Elaboración de la autora, modificado de Bai *et al.*, 2011.

*et al.*, 2013). Generalmente, la carga negativa predomina, sobre todo en superficies de la célula bacteriana y la levadura. Subsecuentemente, la superficie de la célula, en contacto directo con el ambiente o lecho de síntesis, permite a estos grupos cargados interactuar con los iones o moléculas del respectivo precursor metálico presente en el medio exterior (Sifontes *et al.*, 2013; Pompe *et al.*, 2013) (figura 4).

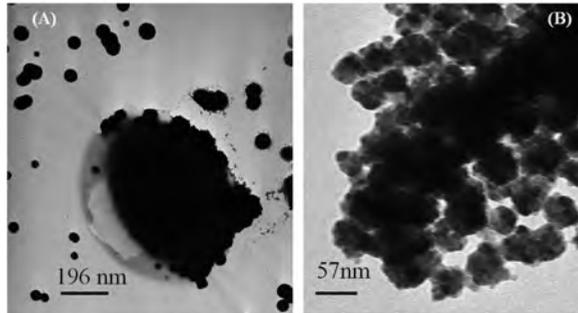
Posteriormente, estas interacciones facilitarán la formación de estructuras inorgánicas que eventualmente serán obtenidas mediante la aplicación de un tratamiento térmico para eliminar el material biológico (figura 4). Bajo este esquema, en todo este proceso, la levadura puede actuar como una plantilla para dirigir la síntesis de estructuras inorgánicas con una morfología de *microesferas huecas* (Bai *et al.*, 2011). No obstante, también otros procesos pueden ocurrir en el ambiente químico, los cuales sí permitirían la obtención de materiales a la escala nanométrica. Como referencia, se puede mencionar la precipitación de compuestos inorgánicos sobre estructuras orgánicas presentes en la pared celular, tales como proteínas y polisacáridos. Es importante destacar, que las rutas para una mineralización inducida biológicamente pueden implicar el empleo del espacio intracelular o el espacio epitelar cercano a la pared celular. También pudiera ocurrir mediante la interacción con sustancias poliméricas extracelulares. En algunas ocasiones, la reacción química para la formación del mineral puede ser activada mediante la presencia de una enzima (Pompe *et al.*, 2013). A diferencia de ello, en otros productos de investigación, es mencionado con frecuencia el uso de la biomasa de las levaduras, sólo como una fuente de proteínas, la cuales actúan en la formación y estabilización de las nanopartículas metálicas (Mourato *et al.*, 2011).

Son numerosos los artículos científicos que refieren la formación de nanopartículas, basándose en la capacidad que posee la pared celular de las levaduras para enlazar *cationes metálicos*, dirigidos a través de coordinación o puntos de atracción electrostática (Sifontes *et al.*, 2013). Sin embargo, recientemente se demostró que este fenómeno no es exclusivo para ciertas especies inorgánicas. Estos sistemas también poseen la capacidad de lograr atraer *aniones metálicos* y dirigir la formación de nanoestructuras (Talavera *et al.*, 2013; Sifontes *et al.*, 2013).

## ¿Cuál es la explicación?

Se le atribuye al cultivo y tratamiento de secado empleados en la preparación del microorganismo utilizado en la biosíntesis. Generalmente, las células de levadura para la venta comercial son sometidas a un fuerte proceso de deshidratación, el cual puede generar cambios temporales y reversibles en su metabolismo, acompañado de modificaciones de las estructuras de la superficie celular, incluyendo la pared celular (Talavera *et al.*, 2013; Sifontes *et al.*, 2013). Esto incluye alteraciones en la carga de la superficie celular y la

**FIGURA 5.** Imagen TEM: a) vanadio-células de levadura; b) agregado de nanopartículas de pentóxido de vanadio, obtenidos a 500°C.



Fuente: Imágenes obtenidas por la autora y su grupo de investigación.

formación de conglomerados de células grandes, conduciendo a un aumento de su afinidad por especies químicas con carga negativa, esto como respuesta a las diferentes tensiones externas. Un ejemplo de ello, es el trabajo de Vergnault *et al.* (2007), quienes demuestran que la levadura comercial *Saccharomyces cerevisiae* puede presentar diferencias en sus características y propiedades, en función de los distintos tratamientos de secado y otras condiciones de procesamiento al que están sometidas. La levadura instantánea, por ejemplo, presenta un carácter hidrofílico y propiedades que le permiten desempeñarse como donador de electrones. Por el contrario, la levadura no instantánea, exhibe un comportamiento aceptor de electrones con una naturaleza fuertemente hidrofóbica. En este sentido, la síntesis de pentóxido de vanadio a escala nanométrica (figura 5), atribuida al producto de las interacciones de los iones  $(V_2O_7)^{4-}$  y los grupos funcionales de la pared celular de la *S. cerevisiae*, es un claro ejemplo de la interesante complejidad de estos sistemas (Talavera *et al.*, 2013). Los parámetros que controlan la precipitación, tales como pH y fuerza iónica, son determinados no sólo por las condiciones del ambiente químico del lecho de síntesis, sino también por los procesos metabólicos de la célula, vinculados con el transporte activo de agua, iones y electrones a través de la pared celular (Pompe *et al.*, 2013).

En adición a lo mencionado anteriormente, es importante señalar que la pared celular bacteriana posee una cantidad de estructuras superficiales las cuales pueden actuar diferentemente, favoreciendo la fijación de precursores y actuando como centros de nucleación (Merroun *et al.*, 2005). Un ejemplo de ello ha sido observado en las células de *Bacillus sphaericus* JG-A1 y su sorprendente capacidad para enlazar metales pesados. Esta propiedad es atribuida a la presencia de una capa superficial proteínica ordenada y altamente cristalina conocida como capa S (*S-layer*). Se compone de proteínas idénticas o subunidades de las glicoproteínas, y cubren completamente la superficie de la célula durante todas las etapas de crecimiento y división bacteriana (Merroun *et al.*, 2005).

## Síntesis de nanomateriales empleando extractos vegetales: el caso de la *Stevia rebaudiana*

Generalmente, la utilización de los métodos químicos para la producción de nanopartículas suelen ser altamente contaminantes y peligrosos para el ambiente. Frecuentemente, se produce la aglomeración de las nanopartículas generadas conduciendo a la formación de cúmulos de grandes tamaños y baja monodispersidad. Algunas de estas metodologías recurren a la utilización de agentes específicos que evitan la agregación, estabilizando el tamaño de las partículas coloidales del metal. El uso de tales agentes hace que estos sistemas sean complicados y poco amigables con el ambiente. Muchos de los procesos biológicos empleados como síntesis alternativas se efectúan usando microorganismos por vías intracelulares, lo cual hace que en ocasiones, el aislamiento de las nanopartículas sea difícil. El cultivo de cepas puras de estas especies es costoso, tedioso y requiere de un mantenimiento cuidadoso de las condiciones de esterilidad.

Actualmente, el método biosintético utilizando extractos de plantas ha recibido más atención que los métodos físicos, químicos y aquellos que implican el uso de bacterias u hongos, donde se requiere mantener un ambiente aséptico. La posibilidad de utilizar extractos de plantas para la síntesis de metales en estado cerivalente, a escala nanométrica, fue reportado inicialmente por *Gardea-Torresdey et al. (2002)*. Más tarde, se estudió ampliamente la biorreducción de varios metales a nanomateriales de diferentes morfologías capaces de satisfacer las necesidades de diversas aplicaciones industriales, sin el requerimiento de ningún aditivo o agente protector que evite la agregación o el uso de plantillas de tipo surfactantes. Estos procesos son fácilmente escalables y pueden ser menos costosos en comparación con los métodos basados en procesos microbianos. Es importante mencionar que estas metodologías de síntesis “verde”, son útiles, no sólo debido a su reducido impacto sobre el ambiente, en comparación con algunos otros métodos de producción, sino también porque pueden ser utilizadas para producir grandes cantidades de nanopartículas libres de contaminación, con una morfología y tamaño definido. Las nanopartículas sintetizadas por estos métodos son muy estables y generalmente no hay necesidad de utilizar ningún agente externo que las estabilice (*Sastry et al., 2004*). Es conocido que la fuente del extracto de la planta influye en las características de las nanopartículas (*Kumar et al., 2009*). Diferentes extractos contienen combinaciones y concentraciones de diversos agentes reductores orgánicos como compuestos fenólicos, terpenos, polisacáridos y flavonas (*Kumar et al., 2012; Mukunthan et al., 2012*). Por lo general, una biorreducción mediada por extractos de plantas en solución acuosa, bajo la presencia de la sal metálica precursora, se produce a temperatura y presión ambiental, en tiempos cortos de reacción (figura 6).

Más recientemente, se menciona un caso interesante, la biosíntesis de

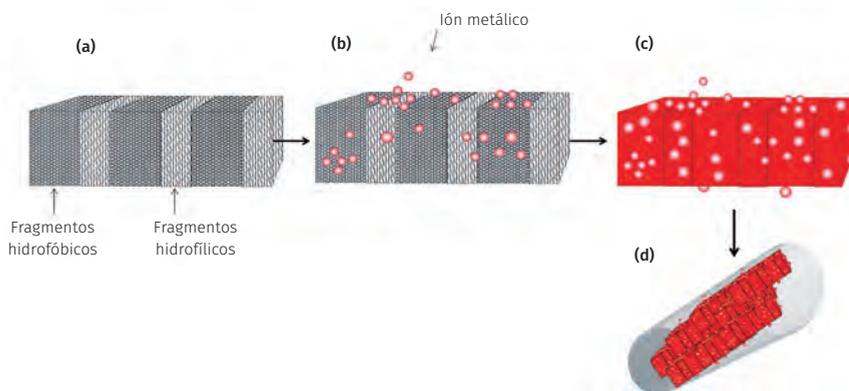
**FIGURA 6.** Esquema general de la biorreducción mediada por extractos de plantas.



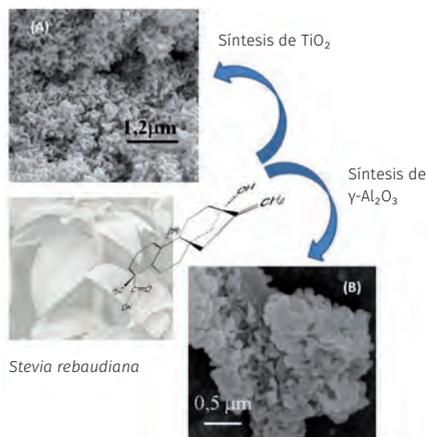
Fuente: Elaboración de la autora.

“óxidos metálicos porosos” empleando el extracto acuoso de la *Stevia rebaudiana Bertoni*. Los glicósidos de esteviol, principales constituyentes de la *S. rebaudiana* (planta nativa de ciertas regiones de Paraguay y Brasil), han demostrado actuar como auténticas plantillas biológicas en la síntesis de nanomateriales. Estas moléculas poseen la particularidad de interactuar entre ellas mediante sus porciones hidrofílicas y los fragmentos hidrofóbicos, logrando formar estructuras supramoleculares (figura 7a) (Rodríguez *et al.*, 2013). Estas estructuras poseen la particularidad de ensamblarse con las especies inorgánicas (figura 7b y c), agregarse y formar unidades tubulares (nanovarillas o nanofibras) (figura 7d). La obtención del sólido nanométrico finalmente logra ser completada mediante la eliminación de la fracción orgánica o “plantilla” a través de la aplicación de un tratamiento térmico a altas temperaturas. Esta nueva metodología verde ha permitido la preparación de nanomateriales (figuras 8 y 9) con una porosidad elevada cuyas potenciales aplicaciones en el área de catálisis y afines resulta ser prometedora.

**FIGURA 7.** Esquema de la biosíntesis de “óxidos metálicos porosos” empleando el extracto acuoso de la *S. rebaudiana*.



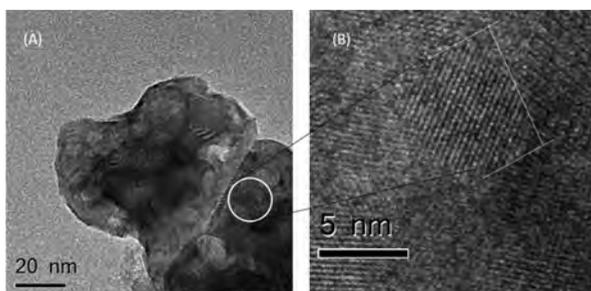
Fuente: Elaboración de la autora.



**FIGURA 8.** Micrografías FE-SEM de óxido de titanio fase anatasa a) y óxido de aluminio fase gamma b), sintetizados empleando el extracto acuoso de la *S. rebaudiana*.

Fuente: Imágenes obtenidas por la autora y su grupo de investigación.

**FIGURA 9.** Imagen TEM: a) de óxido de titanio fase anatasa, sintetizado empleando el extracto acuoso de la *S. rebaudiana*; b) imagen HRTEM ampliada de nanopartículas de óxido de titanio.



Fuente: Imágenes obtenidas por la autora y su grupo de investigación.

## Síntesis de materiales cerámicos y el empleo de plantillas biológicas

Los actuales avances en la utilización de plantillas biológicas para procesos aplicados a la síntesis de materiales demuestran la ventaja de la especificidad estructural o actividad catalítica de los sistemas biológicos para crear nuevos tipos de materiales inorgánicos. La riqueza de muchas estructuras jerarquizadas halladas en las plantas celulares abre grandes perspectivas respecto a su obtención y aplicación en el área industrial, especialmente para aquellos materiales que se generan a escala nanométrica.

Un ejemplo interesante sobre la *biosíntesis* de materiales es la formación reproducible de zeolitas usando como “semillas” los esqueletos de algas diatomeas (Wang *et al.*, 2001). Las diatomeas marinas son algas microscópicas conocidas por su amplia variedad de estructuras tridimensionales. Ellas están recubiertas por una pared celular única, constituida de sílice amorfa hidratada, conocida con el nombre de frústula. Estas intrincadas estructuras

muestran patrones característicos, reproducibles en el rango de microescala a nanoescala. Además, poseen un ensamblaje de nanopartículas de sílice que podrían ser utilizadas en una amplia gama de aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, máscaras para litografías, en sistemas de filtración y como soportes catalíticos (De Stefano *et al.*, 2011; Schröfel *et al.*, 2011). Finalmente, el mecanismo de formación de la *frústula* de diatomea es investigado hoy en día como modelo para la síntesis biomimética de nanoestructuras de sílice (Schröfel *et al.*, 2011).

En síntesis, la riqueza de las estructuras biomoleculares nos ofrece un campo ilimitado para la creación de materiales nanoestructurados y nanopartículas, con nuevas funcionalidades. Los procesos naturales y la evolución, han dado como resultado materiales biológicos y rutas de síntesis, en esencia, superiores a las técnicas convencionales de procesamiento de materiales inorgánicos. Es por ello que, aprender de lo que ofrece la naturaleza, nos permitirá sentar las bases para un futuro desarrollo tecnológico, pero de una manera consciente y equilibrada, respetando el ambiente.

## Bibliografía

- Asati, A., Santra, S. Kaittanis, C., Nath, S., Perez, J. M. (2009) Oxidase-like activity of polymer-coated cerium oxide nanoparticles. *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 48: 2308.
- Bai, B., Guan, W., Li, Z., Li Puma, G. (2011) Bio-template route for facile fabrication of Cd(OH)<sub>2</sub>@yeast hybrid microspheres and their subsequent conversion to mesoporous CdO hollow microspheres. *Materials Research Bulletin*, vol. 46: 26.
- Caldera, Y., Clavel, N., Briceño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., Mármol Z. (2009) Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo. *Boletín Centro de Investigaciones Biológicas*, vol. 43, núm. 4: 541.
- Gardea Torresdey, J.L., Parsons, J.G., Dokken, K., Peralta Videa, J.R., Troiani, H., Santiago, P., Jose Yacaman, M. (2002) Formation and growth of Au nanoparticles inside live alfalfa plants. *Nano Letters*, vol. 2: 397.
- Kalarical Janardhanan, S., Ramasamy, I., Unni Nair, B. (2008) Synthesis of iron oxide nanoparticles using chitosan and starch templates. *Transition Metal Chemistry*, vol. 33, núm. 1: 127.
- Kumar Dutta, P., Dutta J., Tripathi V.S. (2004) Chitin and Chitosan: Chemistry, properties and applications. *Journal and Scientific & Industrial Research*, vol. 63: 20.
- Kumar, V., Yadav, S.K. (2009) Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 84: 151.
- Kumar Mittal, A., Chisti, Y., Chand Banerjee, U. (2012) Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, vol. 31: 346.
- Liu, S., Tao, D., Zhang, L. (2012) Cellulose scaffold: A green template for the controlling synthesis of magnetic inorganic nanoparticles. *Powder Technology*, vol. 217: 502.

- Merroun, M.L., Raff, J., Rossberg, A., Hennig, C., Reich, T., Selenska-Pobell, S. (2005) Complexation of uranium by cells and S-layer sheets of bacillus sphaericus JG-A12. *Appl. Environ. Microbiol*, vol. 71: 5532. <doi:10.1128/AEM.71.9.5532-5543.2005>.
- Mourato, A., Gadanho, M., Lino, A.R., Tenreiro, R. (2011) Biosynthesis of crystalline silver and gold nanoparticles by extremophilic yeasts. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, article ID 546074, 8 pp., <doi:10.1155/2011/546074>.
- Mukunthan, K. S., Balaji, S. (2012) Silver nanoparticles shoot up from the root of *Daucus carota* (L.). *International Journal of Green Nanotechnology*, vol. 4, núm. 1: 54.
- Paraschiv, C., Tudose, M. (2010) Green synthetic strategies of oxide materials: Polysaccharides-assisted synthesis. *Revue Roumaine de Chimie*, vol. 55: 1017.
- Plascencia-Villa, G., Palomares, L. A., y Tonatiuh Ramírez, O. (2011) Síntesis y ensamblaje de nanomateriales usando proteínas virales como templados. *BioTecnología*, vol. 15, núm. 3: 50.
- Pompe, W., Rödel, G. Weiss H-J, Mertig M. (2013) *Bio-Nanomaterials, designing materials inspired by nature*. Alemania: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Ramimoghadam, D., Bin Hussein, M.Z., Taufiq-Yap, Y.H. (2013) Hydrothermal synthesis of zinc oxide nanoparticles using rice as soft biotemplate. *Chemistry Central Journal*, vol. 7, núm. 136: 1752.
- Rodríguez M., Sifontes, A.B., Méndez, F.J., Díaz, Y., Cañizales, E., Brito, J.L. (2013) Template synthesis and characterization of mesoporous  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hollow nanorods using *Stevia rebaudiana* leaf aqueous extract. *Ceramics International*, vol. 39, núm. 4: 4499.
- Sastry, M., Ahmad, A. Shankar, S.S. (2004) *A process for the synthesis of mono and bimetallic nanoparticles using plant extract*. Patent WO 2005095031 A1.
- Schröfel, A., Kratošová, G., Krautová, M., Dobročka, E., Vávra, I. (2011) Biosynthesis of gold nanoparticles using diatoms–silica-gold and EPS-gold bionanocomposite formation. *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 13, núm. 8: 3207.
- Sifontes, A.B., González, G., Ochoa, J.L., Tovar, L.M., Zoltan, T., Cañizales, E., (2011) Chitosan as template for the synthesis of ceria nanoparticles. *Materials Research Bulletin*, vol. 46, núm. 11, 1794.
- Sifontes, A.B., Melo, L., Maza, C., Mendes, J., Mediavilla, M., Brito, J.L., Zoltan, T., Albornoz, A. (2010) Preparación de nanopartículas de plata en ausencia de polímeros estabilizantes. *Quím. Nova*, vol. 33, núm. 6: 1266.
- Sifontes, A.B., González, G., Tovar, L.M., Méndez, F.J., Gomes, M., Cañizales, E., Niño-Vega, G., Villalobos, H., Brito, J.L. (2013) Biosynthesis of amorphous mesoporous aluminophosphates using yeast cells as templates. *Materials Research Bulletin*, vol. 48: 730.
- De Stefano, L., De Stefano, M., De Tommasi, E., Rea, I., Rendina, I. (2011) A natural source of porous biosilica for nanotech applications: The diatoms microalgae. *Physica Status Solidi (c)*, vol. 6: 1820.
- Talavera, N., Navarro, M., Sifontes, A., Díaz, Y., Villalobos, H., Niño-Vega, G., Boada-Sucre, A., González, I. (2013) Green synthesis of nanosized vanadium pentoxide

- using *Saccharomyces cerevisiae* as biotemplate. *Recent Research Developments in Materials Science*, vol. 10: 89.
- Vergnault, H., Willemot, R-M., Mercier-Bonin, M. (2007) Non-electrostatic interactions between cultured *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells and adsorbent beads in expanded bed adsorption: Influence of cell wall properties. *Process Biochemistry*, vol. 42: 244.
- Vijayaraghavan, K., Nalini, K. (2010). Biotemplates in the green synthesis of silver nanoparticles. *Biotechnology Journal*, vol. 5, núm. 10: 1098.
- Visinescu, D., Patrinoiu, G., Tirsoaga, A., Carp, O. (2012) Polysaccharides route: a new green strategy for metal oxides synthesis. En *Environmental chemistry for a sustainable world. vol. 1: Nanotechnology and health risk*. Lichtfouse E. Netherlands: Springer.
- Wang, Y.J., Tang, X., Wang, A.D., Dong, W.G., Shan, Z., Gao, Z. (2001) Fabrication of hierarchically structured zeolites through layer-by-layer assembly of zeolite nanocrystals on diatom templates, *Chemistry Letters*, vol. 30: 1118-1119.

# Efecto teratogénico de nanopartículas de oro de 20 nm durante la septación cardiaca

Roberto Lazzarini Lechuga,\* Omar Alcántar Ramírez,\*\*  
Ricardo Jaime Cruz,\*\*\* Luis Enrique Gómez Quiroz\*\*\*\*

**RESUMEN:** La venta libre de productos cosméticos con nanopartículas de oro se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Adicionalmente, las nanopartículas de oro se posicionan como opciones terapéuticas principalmente contra el cáncer. Sin embargo, no se conoce a fondo los posibles efectos tóxicos de estas nanopartículas en células ni organismos sanos, tampoco los posibles efectos teratogénicos durante el desarrollo. El proceso de septación cardiaca, tanto en aves como mamíferos, consiste en pasar de una circulación unidireccional a una bidireccional, evento altamente sensible al estrés oxidante. Razón por la cual nos propusimos conocer los posibles efectos teratogénicos de las nanopartículas de oro durante el desarrollo cardiaco en el embrión de pollo, modelo muy usado que permite la manipulación directa del embrión. En el estudio encontramos: 1. Un incremento de 7.9 veces la tasa de mortalidad por exposición a las nanopartículas de oro contra el grupo control. 2. Defectos en la cardiogénesis, principalmente “doble salida del ventrículo derecho”, siempre acompañada de comunicación interventricular. Los datos presentados muestran efectos adversos de nanoAu durante el desarrollo embrionario.

**PALABRAS CLAVE:** nanopartículas de oro, septación cardiaca, teratogénesis.

**ABSTRACT:** Gold nanoparticles enriched products has considerable increased in the last years. Beside their cosmetic use nanoAu therapy is now considered as a novel alternative to treat a diversity of diseases, including cancer. Nonetheless there are no sufficient research about the possible toxic effects of these nanoAu particles over cells or the whole organism to be safely use as anticancer-drugs or about it teratogenic effects during development. Cardiac septation is a very important and controlled process during development in humans and birds which basically consist in shifting unidirectional blood flow into bidirectional. This event is highly susceptible to stress. The aim of this work was to test the possible gold nanoparticles teratogenic effects during the cardiac development on chicken embryos as this model is very well accepted because it allows direct embryonic manipulation. Our results showed: 1. A 7.9-fold increase in the mortality rate due to gold nanoparticles exposure when compared with the control groups. 2. Cardiogenetic defects after gold nanoparticles exposure as double outlet right ventricle that was always accompanied with interventricular communication. The data presented show the adverse effects of nanoAu exposure during embryonic development.

**KEYWORDS:** gold nanoparticles, cardiac septation, teratogenesis.

\* Departamento Biología de la Reproducción. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I). San Rafael Atlixco No. 186. Col. Vicentina, Iztapalapa, C.P. 09340, México D.F. Correspondencia: (lazzarini@xanum.uam.mx). Tel. (55) 5804 4706. Fax. (55) 5804 4702. Autor para correspondencia.

\*\* Departamento Ciencias de la Salud. UAM-I. Correspondencia: (cbs209220683@titlani.uam.mx).

\*\*\* Departamento de Biología. UAM-I. Correspondencia: (ricardo.jaime.cruz@gmail.com).

\*\*\*\* Departamento Ciencias de la Salud. UAM-I. Correspondencia: (legq@xanum.uam.mx).

## Introducción

En los últimos años se ha incrementado el uso de nanopartículas metálicas principalmente de oro (nanoAu) y plata (nanoAg) en productos cosméticos de aplicación tópica. NanoAu también se pueden encontrar en productos etiquetados como “complementos alimenticios” (oro coloidal bebible), en ambos casos prometen efectos rejuvenecedores y están disponibles a la población general por ser productos de libre venta. Sin embargo, una de las principales aplicaciones propuestas para las nanoAu es el uso biomédico, actuando como transportadores selectivos de fármacos principalmente contra cánceres humanos, perspectiva fundada en: estudios *in vitro*, donde se describe que las nanoAu elevan las especies reactivas de oxígeno (Mateo *et al.*, 2014), se transportan selectivamente al núcleo de células malignas, causando deformaciones en su morfología (Dam *et al.*, 2012); daño al material genético, detención de la citocinesis, así como muerte celular por apoptosis (Kang *et al.*, 2010; Selim y Hendi, 2012; Tsai *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014). Sin embargo, se conoce poco sobre los efectos tóxicos tanto en células como en organismos sanos. Algunos efectos adversos reportados en modelos *in vivo* indican que las nanoAu pueden bioacumularse principalmente en hígado, corazón y cerebro; hasta por más de un mes después de una dosis intravenosa única (Fraga *et al.*, 2014), causando respuesta inflamatoria crónica, congestión y dilatación de vasos sanguíneos en corazón e hígado (Abdelhalim, 2011; Abdelhalim y Jarra, 2012;). Respecto a los efectos de las nanoAu durante el desarrollo, se presentan resultados controversiales. Asharani y cols. (2011) describen defectos del desarrollo en crías de pez cebra expuestos a las nanoAu, entre otros cambios, funciones fisiológicas alteradas, principalmente bradicardia (función anómala del corazón). Sin embargo, recientemente se afirma que las nanoAu y las nanoAg son biocompatibles durante el desarrollo preimplantacional de los mamíferos (Taylor *et al.*, 2014). A pesar de que las nanoAu menores a 50 nm de diámetro tienen la capacidad de atravesar la barrera hemato-placentaria y biodistribuirse en embriones de ratón (Yang *et al.*, 2012).

Por otro lado, durante la cardiogénesis en aves y mamíferos, el proceso de septación consiste en pasar de circulación unidireccional a bidireccional mediante la formación de tres septos a todo lo largo del corazón (Cruz *et al.*, 1989; Webb *et al.*, 2003), proceso altamente sensible a estrés oxidante (Fisher *et al.*, 2007). El corazón es el primer órgano en adquirir capacidad funcional aunque anatómicamente se encuentra incompleto. Inicialmente, el corazón se compone de un tubo de miocardio con capacidad contráctil, en humanos aparece al inicio de la tercera semana después de la fertilización (Davis, 1927) y en pollo en estadio 9HH (Stalberg y DeHaan, 1969) de la clasificación de Hamburger y Hamilton (1951). Posteriormente, sufre cambios morfológicos, se curva y tuerce debido a la adición de nuevas poblaciones celulares desde el “segundo campo cardiogénico” (Kelly *et al.*, 2001;

Waldo *et al.*, 2001), estas células se internan al corazón desde su extremo cefálico (cono-tronco), y del extremo caudal (Cruz *et al.*, 1989; 1991), en esta etapa la región del cono-tronco emerge sólo del primordio del ventrículo derecho (VD). Más tarde en el desarrollo se adiciona otra población celular que va migrando desde la cresta neural, finalmente, invaden la gelatina cardíaca de la porción cono-tronco y forman el septo aorticopulmonar, estructura temporal que causara la separación del cono-tronco, en los tractos de salida ventriculares así como tronco de las grandes arterias (Kirby *et al.*, 1983). Posteriormente, el miocardio del cono-tronco debe acortarse mediante apoptosis, para la correcta alineación ventrículo arterial (Watanabe *et al.*, 2001); en conjunto, la migración celular desde la cresta neural y la apoptosis del cono-tronco permiten que el ventrículo izquierdo (VI) adquiera su propio tracto de salida, dividiendo así la circulación en sistémica y pulmonar (circulación dual). Afectaciones en alguno de los eventos antes descritos producen defectos del desarrollo conocidos como cardiopatías congénitas “tronco-conales”, siendo la “doble salida del ventrículo derecho” (DsVD) una de las variantes de mayor incidencia en humanos (Hoffman y Kaplan, 2002). Por lo anterior, nos propusimos evaluar el efecto de nanoAu de 20nm, durante la septación cardíaca en el embrión de pollo. Encontramos que la exposición de nanoAu, puede causar interrupción del desarrollo embrionario así como cardiopatías congénitas tronco-conales del tipo DsVD acompañada de comunicación interventricular (CiV).

## Materiales y métodos

Se utilizaron huevos fértiles de gallina (*Gallus domesticus*) libres de patógenos específicos adquiridos de la granja ALPES S.A. (Tehuacán, México), se incubaron a 37.8 °C y 60% de humedad hasta estadio 22HH. Posteriormente, se perforó una ventana de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> en los cascarones y se disecó la membrana vitelina. El grupo experimental estuvo formado por 30 embriones con características normales del desarrollo para el tiempo de incubación, se inyectó vía intra-pericárdica 5µl de nanoAu de 20 nm, solución coloidal en búfer de fosfatos [6.54 × 10<sup>9</sup> nanoAu/ml] (Sigma-Aldrich No. 753610); posteriormente, se reincubaron los huevos en las mismas condiciones iniciales hasta estadio 36HH (corazón maduro). En otros 30 embriones (grupo control), se administró por la misma vía y dosis, solución de búfer de fosfatos. Los embriones, sin las características anatómicas para el tiempo de incubación, no fueron considerados para el experimento. Una vez transcurrido el periodo de incubación, se calculó el índice de mortalidad entre grupos, posteriormente se disecaron los corazones, se fijaron en formalina neutra y se almacenaron a 4 °C hasta ser procesados. Se analizó mediante microscopio estereoscópico acoplado a cámara fotográfica (Carl Zeiss, Stereo Discovery V.12): la silueta cardíaca, las relaciones anatómicas entre segmentos cardíacos y se realizó microcirugía de la pared libre del VD

de todos los corazones del experimento. Las relaciones anatómicas se analizaron mediante el empleo del “análisis secuencial segmentario” (ASS), método ampliamente aceptado sobre el abordaje anatómico que revela cardiopatías congénitas o adquiridas (Anderson *et al.*, 1984).

## Resultados y discusión

Con el propósito de conocer el efecto que tienen las nanoAu de 20 nm en la interrupción del desarrollo embrionario, medimos la tasa de mortalidad de los embriones en ambos grupos, encontramos en el grupo experimental 17 embriones muertos, correspondientes al 56.6% del total de embriones expuestos. Por el contrario en el grupo control, sólo encontramos 2 decesos 7.1%. La relación entre ambos grupos arrojó un incremento de 7.9 veces la mortalidad en el grupo experimental (tabla 1). Acceder directamente al embrión implica por sí mismo, un posible riesgo de muerte embrionaria principalmente por contaminación; sin embargo, al tener un grupo control “tipo Sham”, en el cual se realizan los mismos procedimientos del grupo experimental con excepción de la administración de nanoAu, pudimos comparar ambos grupos y evidenciar sólo el efecto de las nanoAu. Todos los embriones se monitorearon cada 12 horas, los embriones muertos fueron retirados de inmediato de la incubadora, ningún cadáver fue analizado para ASS debido a que en algunos casos ya presentaban estado de necrosis.

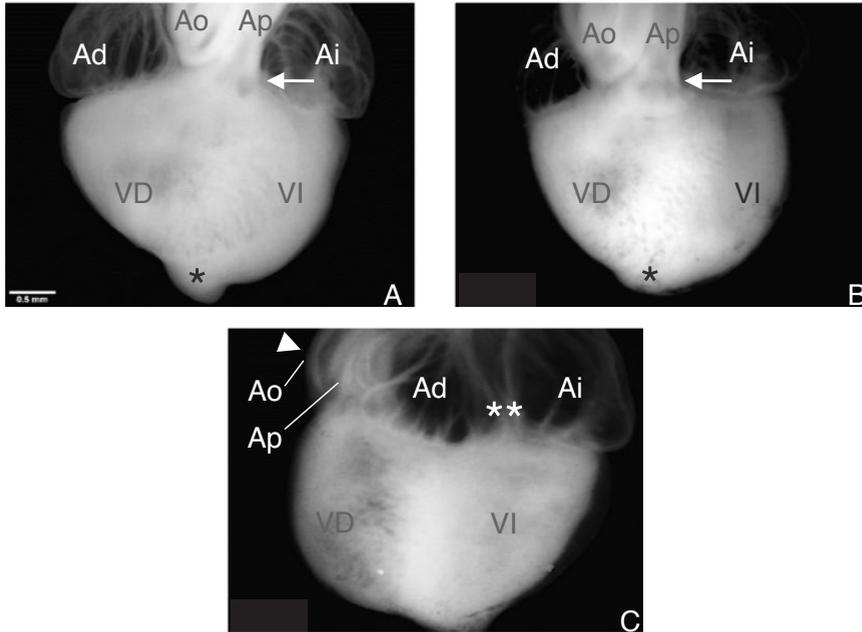
A fin de censar cambios morfológicos durante el desarrollo cardiaco por exposición de nanoAu, disecamos los corazones embrionarios de ambos grupos en estadio 36HH. Mediante microscopio estereoscópico medimos en primera instancia las relaciones de la silueta cardiaca, encontramos en el grupo experimental, cuatro piezas anatómicas con distorsión del ángulo de

**TABLA 1.** Efecto de NanoAu de 20 nm sobre el desarrollo en embrión de pollo.

	<b>GRUPO CONTROL</b> n = 30 100 µl bufer de fosfatos	<b>GRUPO EXPERIMENTAL</b> n = 30 100 µl nanoAu de 20 nm
Embriones muertos durante el experimento (22-36HH)	2	17
Corazones con análisis secuencial segmentario (36HH)	28	13
Embriones con defectos cardiacos	0	4
Corazones con doble salida del ventrículo derecho y comunicación interventricular	0	3
Corazones con comunicación interventricular	0	1

Fuente: Elaboración de los autores.

**FIGURA 1.** Análisis de la silueta cardiaca. (A) Corazón representativo del grupo control, anatomía normal n = 28. (B) Corazón con distorsión del ángulo característico de la arteria pulmonar (flecha), con distorsión del ápice (\*), comparar con A. (C) Translocación de los grandes vasos (cabeza de flecha) y segmento atrial en posición anterior con drenaje hacia el VI, (\*\*). AP = arteria pulmonar. Ao = aorta. Ad = atrio derecho. Ai = atrio izquierdo. VD = ventrículo derecho. VI = ventrículo izquierdo.

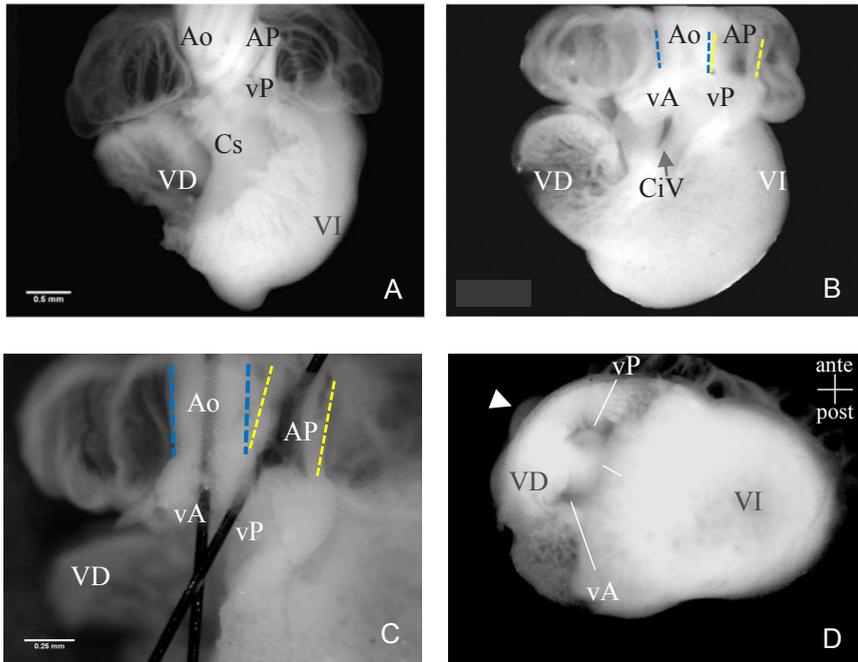


Fuente: Imágenes obtenidas por los autores.

inclinación del tronco de la arteria pulmonar, así como modificación del ápice cardiaco, indicio de posible cardiopatía congénita (figuras 1a, b y c). En uno de los corazones encontramos también, evidente translocación de las grandes arterias así como presencia del segmento atrial fuera de su situación anatómica (figura 1c).

A fin de evidenciar el efecto teratogénico de las nanoAu en el corazón, realizamos microcirugía la pared libre del VD en todos los corazones del experimento. Utilizamos el ASS y confirmamos cuatro corazones con cardiopatía congénita inducida en el grupo experimental, incidencia del 30.77%. En tres de ellos DsVD acompañada de CiV, en el corazón restante sólo encontramos CiV (tabla 1). Algunas características de los corazones malformados fueron: A) Relación del segmento arterial: en dos corazones el tronco de la arteria pulmonar se encontró anterior a la aorta, característica de las relaciones normales entre grandes arterias (comparar figura 2a con 2d); otro con las grandes arterias “lado a lado” (figuras 2b y c) y, en el tercer corazón, las arterias no se encontraban en su ubicación anatómica; sin embargo, con la arteria pulmonar anterior a la aorta (figuras 1c y 2d). B) Relación

**FIGURA 2.** Análisis anatómico interno del ventrículo derecho. (A) Corazón representativo del grupo control, con anatomía normal n = 28. La válvula pulmonar se aloja en el VD, la cresta supraventricular divide los tractos de salida ventriculares. (B) Corazón representativo del grupo experimental con DsVD n = 3, acompañada de CiVn = 4. (C) Magnificación del segmento arterial de la imagen B, se insertaron filamentos por los troncos arteriales para evidenciar la DsVD del tipo grandes arterias “lado a lado”. (D) Corazón con DsVD “arteria pulmonar anterior y aorta posterior”, los pisos valvulares emergen exclusivamente del VD, se observan parcialmente las grandes arterias (cabeza de flecha), vista inferior. Abreviaturas: Cs = cresta supraventricular; vA = válvula aórtica; vP = válvula pulmonar; VD = ventrículo derecho; VI = válvula pulmonar; ante = anterior; post = posterior.



Fuente: Imágenes obtenidas por los autores.

atrio-ventricular: tres de los corazones malformados mostraron concordancia atrio-ventricular, es decir, los atrios conectaron con sus correspondientes ventrículos, en un corazón se encontró que ambos atrios drenaban sólo al VI (figuras 1c y 2d). C) Tabique interventricular: en cuatro corazones se evidenció CiV, defecto septal del tabique interventricular, consecuente con cortocircuito sanguíneo (figura 2b). D) Tracto de salida ventricular: en tres corazones los pisos valvulares de las grandes arterias (pulmonar y aorta) emergieron exclusivamente del VD (figuras 2b, c y d); en los tres corazones con DsVD no fue posible distinguir la cresta supraventricular. Respecto al grupo control, en los 28 corazones analizados se encontraron las relaciones anatómicas del corazón normal, con tasa de cardiopatías congénitas del 0% (figuras 1a y 2a). Los defectos antes descritos afectan mayoritariamente los

tractos de salida ventriculares así como el tronco de las grandes arterias, patologías que en conjunto se conocen como cardiopatías congénitas tronco-conales. Es posible que las nanoAu eleven las especies reactivas de oxígeno en células que intervienen en dos procesos morfogenéticos de la cardiogénesis: la migración desde la cresta neural hacia el corazón en desarrollo o interfieran en el patrón apoptótico normal del cono-tronco. Finalmente, hacemos énfasis en las virtudes del modelo de embrión de pollo, que permite la manipulación directa del embrión, en nuestro caso, la exposición de nanoAu dentro de la cavidad pericárdica, nuestro modelo es ampliamente aceptado para interpretar el desarrollo normal y patológico en humanos (Harvey 1847; Stalberg y DeHaan 1969; de la Cruz *et al.*, 1989, 1991; Kirby *et al.*, 1983; Watanabe *et al.*, 2001; Schroeder 2003; Webb *et al.*, 2003; Fisher *et al.*, 2007; Red-Horse *et al.*, 2010).

## Conclusiones

Los resultados del presente trabajo muestran que las nanoAu de 20 nm pueden ser causa de la interrupción del desarrollo embrionario, pudiendo incrementar la incidencia de cardiopatías congénitas principalmente la “doble salida del ventrículo derecho” así como defectos septales del tabique interventricular por exposición directa con el corazón embrionario del pollo. Pensamos que es necesaria más investigación profunda que contribuya a regular la disponibilidad de productos con nanoAu para el consumo humano.

## Referencias

- Abdelhalim, M. (2011) Gold nanoparticles administration induces disarray of heart muscle, hemorrhagic, chronic inflammatory cells infiltrated by small lymphocytes, cytoplasmic vacuolization and congested and dilated blood vessels. *Lipids in Health and Disease*, 10: 233.
- Abdelhalim, M. y Jarrar, B. (2012) Histological alterations in the liver of rats induced by different gold nanoparticles sizes, doses and exposure duration. *J Nanobiotechnology*, 10: 5.
- Anderson, R., Becker, A., Freedom, R. *et al.* (1984) Sequential segmental analysis of congenital heart disease. *Pediatr Cardiol*, 5: 281-8.
- Asharani, P., Lianwu, Y., Zhiyucan, G. *et al.* (2011) Comparison of the toxicity of silver gold and platinum nanoparticles in developing zebrafish embryos. *Nanotoxicology*, vol. 5 núm. 1: 43-54.
- Chen, W., Lou, G., Xu, X. *et al.* (2014) Cancer-targeted functional gold nanoparticles for apoptosis induced and real-time imaging base don FRET. *Nanoscale*, 6(16): 9531-5.
- Cruz de la, M., Sánchez-Gómez, C., Cayre, R. (1991) The developmental components of ventricles: Their significance in congenital malformations. *Cardiol Young*, 1: 123-8.

- Cruz de la, M., Sánchez-Gómez, C., Palomino, M. (1989) The primitive cardiac regions in the straight tube heart (stage 9-) and their anatomical expression in the mature heart: An experimental study in the chick embryo. *J Anat*, 165: 121-31.
- Dam, D., Lee, J., Sisco, P. *et al.* (2012) Direct observation of nanoparticles-cancer cell nucleus interactions. *ACSNANO*, vol. 6 núm. 4: 3318-3326.
- Davis, C. (1927) Development of the human heart from its first appearance to the stage found in embryos of twenty paired somites. *Carnegie Contrib Embryol*, 19: 245-84.
- Fisher, S. (2007) The developing embryonic cardiac outflow tract is highly sensitive to oxidant stress. *Developmental Dynamics*, 236: 3496-3502.
- Fraga, S., Brandao, A., Soares, M. (2014) Short-and long-term distribution and toxicity of gold nanoparticles in the rat after a single-dose intravenous. S1549-9634(14) 00318-9.
- Hamburger, B. y Hamilton, L. (1951) A series of normal stages in the development of the chick embryo. *J Morphol*, 88: 49-92.
- Harvey, W. (1847) *The works of William Harvey*, traducido por Robert Willis. Impreso para la Sydenham Society. London: C. and J. Adlard. (Publicado *post mortem*).
- Hoffman, J. y Kaplan, S. (2002) The incidence of congenital heart disease. *Journal of the American Collage of Cardiology*. 1890-900.
- Kang, B., Mackey, M. y El-Sayed, M. (2010) Nuclear targeting of gold nanoparticles in cancer cells induces DNA damage, causing cytokinesis arrest and apoptosis. *J Am Chem Soc*. 132(5): 1517-1519.
- Kelly, R., Brown, N., Buckingham, M. *et al.* (2001) The arterial pole of the mouse heart form Fgf10-expressing cells on pharyngeal mesoderm. *Dev. Cell*, 1: 435-440.
- Kirby, M., Gale, T., Stewardt, D. (1983) Neural crest cells contribute to normal aorticopulmonary septation. *Science*, 1059-1061.
- Mateo, D., Morles, S. P., Ávalos *et al.* (2014) Oxidative stress cointrubutes to gold nanoparticle-induced cytotoxicity in human tumor cells. *Toxicol Mech methods*, 24(3): 161-72.
- Red-Horse, K., Ueno, H., Weissman, I. *et al.* (2010) Coronary arteries form by developmental reprogramming of venous cells. *Nature*, 464: 549-553.
- Schroeder, J., Jackson, L., Lee, D. *et al.* (2003) Form and function of developing heart valves: Coordination by extracellular matrix and growth factor signaling. *J Mol Med*, 81: 392-403.
- Selim, M. y Hendi, A. (2012) Gold nanoparticles induce apoptosis in MCF-7 human breast cancer cells. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol 13.
- Stalberg, H. y DeHaan, R. (1969) The precardiac areas and formation of the tubular heart in the chick embryo. *Dev Biol*, 19: 128-59.
- Taylor, U., Garrels, W., Barchanski, A. *et al.* (2014) Injection of ligand-free gold an silver nanoparticles into murine embryos does not impact pre-implantation development. *Beilstein J Nanotechnol*, 5: 677-688.
- Tsai, T., Hou, C., Wang, H. *et al.* (2012) Nucleocytoplasmatic transport blockage by SV40 peptide-modified gold nanoparticles induces cellular autophagy. *International Journal of Nanomedicine*, 7: 5214-5234.

- Waldo, K., Kumiski, D., Wallis, K. *et al.* (2001) Conotruncal myocardium arises from a secondary heart field. *Development*, 128: 3179-3188.
- Watanabe, M., Jafri, A., Fisher, S. (2001) Apoptosis is required for the proper formation of the ventriculo-arterial connections. *Dev Biol*, 240: 274-288.
- Webb, S., Qayyum, S., Anderson, R. *et al.* (2003) Septation and separation within the outflow tract of the developing heart. *J. Anat.*, 202: 327-342.
- Yang, H., Sun, C., Fan, Z. *et al.* (2012) Effects of gestational age and surface modification on materno-fetal transfer of nanoparticles in murine pregnancy. *Scientific Reports*, 2: 847. DOI: 10.1038.

# Los desafíos de la nanotecnología para el “desarrollo” en Argentina

Maximiliano Facundo Vila Seoane\*

**RESUMEN:** En el artículo se delinear las principales características de la política pública para la nanotecnología en Argentina y el tipo de modelo de desarrollo al que contribuye. Se describen los factores que intervinieron en la promoción de esta política, como la experiencia pionera de EUA, organismos internacionales de crédito y la comunidad científica. A su vez, se bosqueja el modelo analítico de intervención gubernamental, el Sistema Nacional de Innovación, junto con sus debilidades. Más allá de esto, en el artículo se detallan los principales hitos en la conformación de la política de nanotecnología y algunas tensiones en su implementación. Entre ellas: la disputa por su definición; las interacciones entre grupos de investigación y desarrollo y empresas; y los principales desafíos detectados en su implementación. Se concluye con sugerencias para incluir actores de la sociedad civil en el diseño de políticas de nanotecnología, y de ciencia y tecnología en general, para que puedan contribuir a resolver problemas sociales y ambientales del país.

**PALABRAS CLAVE:** nanotecnología, Argentina, desarrollo, sistema nacional de innovación.

**ABSTRACT:** This article describes the main features of a public policy for nanotechnology in Argentina and the type of development model that it contributes to. It explains the main factors that inspired the policy, such as the pioneering experience of the US, international financial organizations and the scientific community. In turn, it outlines the analytical model of government intervention, the National System of Innovation, considering its weaknesses. Beyond this, the article details the major milestones that shaped the policy and some tensions in its implementation. Among them: The dispute over its definition; the challenges in the interactions between research and development groups and firms; and key hurdles identified in its implementation. It concludes with suggestions to include civil society actors in policy design processes in nanotechnology, and science and technology in general, so they can enrich approaches to solve social and environmental problems of the country.

**KEYWORDS:** nanotechnology, Argentina, development, national innovation system.

## Introducción

A partir del 2001, la nanotecnología fue incorporada en la agenda política de diversos países, siguiendo la creación de la iniciativa nacional de Estados Unidos para promover el área. Los motivos detrás de esta decisión se encuentran en las potencialidades económicas asignadas a la nanotecnología. Entre ellas, el ser una tecnología de propósito general, es decir, aplicable en diversos sectores económicos, inclusive capaz, para los más audaces, de propiciar una nueva revolución industrial (MINCyT, 2009: 2). Al tener dicho

---

\* Center for Development Research (ZEF), Bonn, Alemania. Center for Development Research. ZEF Department. Walter-Flex-Str. 3. D-53113 Bonn, Alemania. Correspondencia: (maxvila@uni-bonn.de).

potencial transformador, tal como en su momento se anunció para las TICs o las biotecnologías, se comprende el interés de distintas naciones por generar capacidades en el área, a fin de obtener beneficios económicos.

El avance de los conocimientos en nanotecnología sin duda se apoya en décadas de trabajo científico y tecnológico realizado en diversas partes del mundo. Pero este esfuerzo previo no es suficiente para explicar la introducción del tema en la política pública, ni para comprender de qué forma la misma se ha manifestado. Entender estos procesos requiere un análisis de las relaciones entre las políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) con modelos de “desarrollo”.<sup>1</sup> En este sentido, en los últimos 10 años, varios países de la región han adoptado como marco analítico para sus políticas al Sistema Nacional de Innovación (SNI). Por ejemplo, Argentina, Brasil, Perú, entre otros. Se trata de un marco de referencia que directa o indirectamente guía la forma de organización de los recursos, al suponer que la riqueza de las naciones proviene de la innovación en empresas. Aunque este concepto, surgido en un contexto europeo y estadounidense, presenta dificultades para lidiar con otras realidades donde los perfiles socioproductivos son diferentes.

Argentina es un ejemplo de estas tendencias. Tanto la nanotecnología, como el SNI se utilizan en las políticas de CTI en la última década. En tal contexto, en este trabajo se responde a las siguientes dos preguntas: ¿cuáles han sido los principales eventos, tensiones y desafíos del estímulo de la nanotecnología en Argentina?, y, ¿qué tipo de proyecto político se instaló en el país para la promoción de la nanotecnología? Para responderlas, el trabajo sintetiza y en algunos casos actualiza los resultados de dos investigaciones previas sobre la temática en Argentina<sup>2</sup> (Vila Seoane y Rodríguez, 2012; Vila Seoane, 2011). En cuanto a la organización del trabajo, en la segunda sección se describen los tres factores que impulsaron una política de nanotecnología en Argentina y los principales hitos durante la primera década de apoyo. En la tercera sección se delinea el tipo de modelo de “desarrollo” con el que colmulgan las políticas implementadas. En la cuarta sección se detallan tensiones y desafíos que surgieron a lo largo del proceso. Por último, se sintetizan algunas de las lecciones aprendidas, que podrían ser de utilidad para otros países de América Latina.

## Factores detrás de la introducción de la nanotecnología en la política pública de Argentina, y principales hitos

El origen de la política de nanotecnología en Argentina estuvo influenciada

- 
- 1 Utilizo las comillas justamente para resaltar que el término “desarrollo” es un término ampliamente debatido y resistido en Latinoamérica y el mundo, debido a su carácter neocolonial y normativo en pos de seguir modelos de países como EUA o algunos europeos.
  - 2 Estos estudios utilizaron tanto técnicas cualitativas (entrevistas con expertos en la temática), como cuantitativas (encuestas con grupos de I+D y empresas de nanotecnología en Argentina), junto con el análisis de información secundaria relevante al tema.

al menos por los siguientes tres factores. Por un lado, el ímpetu que tuvo la temática a nivel internacional impulsada por Estados Unidos tras crear su iniciativa nacional en 2001.<sup>3</sup> Otros países siguieron el ejemplo, como China, India o Israel, y también la Unión Europea que creó una estrategia para la promoción de la nanotecnología en 2004 (Vila Seoane, 2011: 48). Esta última medida apuntó a reforzar el liderazgo que países como Alemania, Francia y Reino Unido tienen en la temática.

Un segundo factor fue la influencia de organismos internacionales de crédito. Aquí cabe destacar que si bien en los últimos años hubo un refortalecimiento de la política de CTI en Argentina, varios proyectos de investigación y desarrollo y de modernización tecnológica que implementa la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica<sup>4</sup> (AGENCIA) se financian a través de créditos otorgados por el Banco Mundial o por el BID. Esto impacta en qué tipo de instrumentos pueden ser diseñados o qué áreas serán financiadas. En *off* varios entrevistados señalaron esta decisión como una forma pragmática de no depender de la veleidad política para financiar el área. Mientras que para otros es una clara evidencia de falta de soberanía y de una verdadera política de Estado de CTI. No poder definir las prioridades por cuenta propia sin el aval de tales organismos es una sutil relación de dependencia. Al mismo tiempo, muchos de estos organismos internacionales reciben consejos o trabajan en conjunto con consultoras que se dedican a esparcir globalmente estas soluciones, tal como consultoras internacionales como McKinsey, que suelen aconsejar las mismas soluciones a los gobiernos, como si fueran balas de plata. No por nada, en varios países del mundo, las biotecnologías, nanotecnologías y las TICs fueron “detectadas” como prioridades nacionales. Indonesia y Malasia ilustran muy bien este proceso. Si bien ambos países se encuentran muy lejos de América Latina, da la casualidad de que también han identificado junto con McKinsey a las tres mismas áreas como estratégicas para su “desarrollo” (Hornidge, 2012). Los gobiernos suelen aceptar dicha “sugerencia”, dado que al tratarse de conceptos con fronteras difusas, se puede tener la esperanza de encontrar una forma de adaptar su interpretación a las realidades locales.

La tercera fue la demanda de las comunidades de investigación nacionales. Ya desde el 2001 demandaron un apoyo activo del Estado para financiar la nanotecnología en el país (Vila Seoane, 2011: 65). A su vez, esta demanda estuvo basada, por un lado en los requisitos que las distintas revistas internacionales (mayoritariamente estadounidense o europeas) que marcan las agendas de investigación sobre la temática, y por el otro, por países que ya habían iniciado la carrera. Especialmente el vecino Brasil, y la relación de amistad-rivalidad que se mantiene aún en diversos campos y que impulsa a Argentina a “no quedarse atrás”. Este tercer factor explica por qué la política

---

3 <<http://www.nano.gov/>>.

4 <<http://www.agencia.mincyt.gob.ar/>>.

de nanotecnología ha seguido una orientación inicial de *science push*, o empujada por la ciencia, si uno utiliza las categorías del denominado, y tantas veces atacado, modelo lineal de innovación. En dicho modelo, se presupone que los resultados de las investigaciones científicas pasan a aplicaciones tecnológicas, y de allí directo al mercado de una forma lineal (Godin, 2006). Y ésta parece ser la orientación de la política, pues se abocó en los primeros años solamente a la financiación de grupos de investigación.

En cuanto a los principales hitos de las políticas de promoción de la nanotecnología en Argentina, a principios del siglo XXI, la política era justamente nano, invisible a la vista de la comunidad nacional. Por reclamo de investigadores, el asunto entró en la agenda pública, aunque lentamente. Cabe resaltar que, a fines del 2001, el país sufrió una de las peores crisis políticas, sociales y económicas de los últimos años. Consecuentemente, las políticas a nivel nacional estaban orientadas a problemas urgentes del corto plazo y no al desarrollo de capacidades estratégicas en áreas de I+D. Si bien se puede disentir de tal decisión, la coyuntura explica en parte el apoyo tardío a las nanotecnologías con respecto a otros países. Recién en 2004, se puede hablar del surgimiento de una política estatal en el área (Andrini y Figueroa, 2008). Primero basada en el apoyo a grupos de I+D a partir de la creación de las primeras redes de investigación en nanotecnología. En el 2005, se incrementó el apoyo con la creación de la Fundación Argentina de Nanotecnología<sup>5</sup> (FAN). Un proyecto controversial en su diseño original, pues daba la impresión de que las capacidades nacionales de producción de conocimiento se iban a utilizar para producir nano y microestructuras en un laboratorio en suelo estadounidense, bajo el apoyo de Bell labs (*Ibid.*, 2008). Esto, sumado a inconvenientes en el área institucional, generó una fuerte tensión en la pequeña comunidad argentina emergente de nanotecnología (Vila Seoane, 2011). Finalmente, este proyecto original de la FAN fue reducido y destinado sólo a financiar proyectos de emprendedores nacionales. No obstante, el impacto generado fue escaso, dado que pocos de los proyectos que se recibieron eran efectivamente de nanotecnología, o no todos tenían potencial de ser productivos con el capital ofrecido por la fundación.

Desde entonces, el principal foco de acción de la FAN es la difusión de la nanotecnología. En efecto, bianualmente organiza los encuentros Nanomercosur, donde se reúnen mayoritariamente investigadores y empresarios de Argentina, y en menor proporción de países del Mercosur y otros. En total se realizaron 4 eventos, cuya cobertura en diferentes medios ayudó a difundir la temática en el país y a incrementar las redes entre los actores locales e internacionales. Con este trabajo, la FAN ha empezado incipientemente a lograr concientizar sobre las potencialidades de estas nuevas tecnologías a nivel nacional.

---

5 <<http://www.fan.org.ar/>>.

A partir del 2007, se puede empezar a hablar de un nuevo periodo en las políticas de fomento. Su inicio coincide con la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva<sup>6</sup> de Argentina. Y con el uso a nivel de la política pública del marco analítico del Sistema Nacional de Innovación (SNI), originalmente elaborado por autores de Dinamarca, Inglaterra y Estados Unidos (Freeman, 1995; Lundvall *et al.*, 2002; Nelson, 1993). En síntesis, bajo este marco se sostiene que las sociedades en crecimiento son aquellas que apuestan por la innovación, entendida en sus orígenes como la introducción de nuevos productos o procesos al mercado. En su conceptualización, se asume que las empresas son el actor central en los sistemas de innovación. Y que la innovación es un proceso social, donde diferentes instituciones intervienen, entre ellas, pero no las únicas, las del sistema científico y tecnológico. Esta conceptualización coincide con una tesis aceptada en la literatura económica, de que la acumulación de conocimiento y la generación de innovaciones contribuyen al crecimiento económico. No obstante, que esto sólo se derive del buen “funcionamiento” de un “sistema de innovación” ignora o simplifica en exceso trayectorias políticas, culturales y sociales que incentivan procesos de innovación. Por estos motivos, se critica que la innovación se haya convertido en un nuevo mantra para justamente remplazar las críticas que la visión del “desarrollo” suscitó en el mundo entero (Krause, 2013), y específicamente en Latinoamérica (Escobar, 1995).

En el caso argentino, una de las implicaciones de utilizar el marco del SNI fue la reorientación de las políticas de CTI hacia el ámbito empresarial. Ya en 2006, se realizó la primera experiencia de un instrumento que, a pesar de seguir concentrado en grupos de I+D, también incluía empresas en las asociaciones (Vila Seoane, 2011: 68). Pero el cénit se alcanzó en 2010 con el lanzamiento del programa FONARSEC, compuesto por fondos sectoriales millonarios que apuntaron específicamente a crear asociaciones público-privadas entre grupos de investigación y empresas, con el fin de desarrollar productos innovadores en diferentes áreas estratégicas. Una de ellas, la nanotecnología. Cabe resaltar que esta idea se inspiró en los fondos sectoriales brasileños, pero que, a diferencia de ellos, en vez de ser financiados por impuestos a las principales empresas operando en el país de diversos sectores, se financió con créditos del Banco Mundial. Con estas medidas de política, se evidencia la orientación del modelo de “desarrollo”.

¿Qué efectos han sido detectados hasta el momento? Una encuesta realizada a grupos de investigación y desarrollo (I+D) y a empresas de nanotecnología en Argentina evidencian un entramado en construcción, y muy superior en tamaño con respecto al preexistente 10 años atrás. Por ejemplo, se obtuvieron respuestas de 81 grupos de I+D que afirmaron estar trabajando en alguna área relacionada con las nanotecnologías, y, a su vez, 23 empresas

---

6 <<http://www.mincyt.gob.ar/>>.

indicaron realizar desarrollos nanotecnológicos (Vila Seoane y Rodríguez, 2012). Esta encuesta detectó al menos 629 personas trabajando en grupos de I+D, y al menos unas 103 en empresas. Si bien es una comunidad relativamente chica, si se considera la atracción que la nanotecnología ha generado a nivel mundial, es posible que no hubiese llegado ni siquiera a ese tamaño sin la intervención estatal. La orientación de las políticas gubernamentales en favor del área ha favorecido su incremento, aunque tal vez no tanto ni tan rápido como los mismos miembros de la emergente comunidad en el 2005 esperaban. Otro de los efectos de este último instrumento ha sido el acercamiento de un incipiente número de empresas a grupos de I+D en el área de la nanotecnología. Alianzas que 10 años atrás no hubieran sido algo tan común en una nueva área de alto desarrollo científico y tecnológico. No obstante, el impacto en términos de desarrollo económico, en función de los montos invertidos, es algo que aún no ha sido estudiado.

## El tipo de modelo de desarrollo de la nanotecnología en Argentina

Los últimos 10 años de políticas de nanotecnología en el país han conformado lo que denominé como Sistema Nacional de Nanotecnología (Vila Seoane, 2011). En esencia, el nombre alude a un recorte, o subsistema, del concepto analítico del SNI. Aunque en su forma está inspirado en el triángulo de Sabato–Botana para comprender las relaciones de los principales actores que se encuentran trabajando de una u otra forma con nanotecnologías (Sabato y Botana, 1970). Si bien, el discurso durante los últimos años ha estado orientado a fortalecer al SNI, donde el actor central es la empresa, las políticas de nanotecnología en Argentina aún se parecen más al modelo de Sabato y Botana, donde existen tres tipos de actores (Estado, comunidad científico tecnológica y empresas). En su modelo, el Estado ocupa el rol central, tal como ocurre con la nanotecnología en el caso argentino. Esto puede deberse a que el organismo principal de promoción de la nanotecnología ha sido un ministerio orientado a la comunidad científica y tecnológica, y no un ministerio de industria. A su vez, al hecho de que la inversión en I+D en Argentina es mayoritariamente realizada por el Estado (72%), mientras que las empresas sólo aportan un 24%. Éstos son porcentajes opuestos a aquéllos que se encuentran en los países de donde emana el modelo del SNI. Por ejemplo, en EUA el gobierno financia el 31% de la inversión en I+D, mientras que las empresas, explican, un 62%.<sup>7</sup> El esquema de la figura 1 resalta estas conexiones y señala las influencias en la creación de dicho modelo. Específicamente, se destaca el accionar de los tres actores principales. En primer lugar, las instituciones de políticas públicas en CTI que han definido las nanotecnologías

---

<sup>7</sup> Los datos corresponden al año 2011 y fueron obtenidos de <<http://www.ricyt.org/>>.

FIGURA 1.



Fuente: Adaptación de Vila Seoane (2011).

como una prioridad y la apoyan financieramente. Esto incluye a: MINCyT; AGENCIA; CONICET,<sup>8</sup> FAN. En segundo lugar, a los diversos institutos o universidades donde trabajan grupos de I+D de nanotecnología. Por último a las empresas de origen de capitales argentinos que cooperan con grupos de I+D nacionales para el desenvolvimiento de nanotecnologías.

De la introducción del marco analítico del SNI, se desprenden algunas características del proyecto político de la nanotecnología en Argentina. Su punto fuerte por el momento ha sido la financiación de grupos de I+D, pero el mayor interés está en incrementar las conexiones con el sector empresarial a fin de actualizar y fortalecer las capacidades industriales nacionales. Esta asociación de la política de ciencia y tecnología con políticas industriales no es casualidad, y acompaña a las principales tendencias de políticas industriales de Argentina que han definido un plan estratégico para el año 2020<sup>9</sup> priorizando determinados sectores. Para varios miembros de la comunidad científica ésta es una buena noticia, pues busca conectar las actividades de investigación con las muchas veces vilipendiada industria nacional, pero no para todos. Sin duda también implica una sujeción de las prioridades de investigación a las necesidades industriales del país, ya que con base en criterios de “utilidad práctica” se amenaza la existencia de líneas de investigación que, aparentemente o por el momento, no tienen una conexión directa con el mundo industrial. De todas maneras, aún las colaboraciones han sido más en el área científica que en la empresarial. Esto en parte por la relativa facilidad de cooperar entre grupos de investigación que con empresas en el desarrollo de nuevos conocimientos.

8 <<http://www.conicet.gov.ar/>>.

9 <<http://www.industria.gob.ar/plan-estrategico-2020/>>.

La respuesta a la pregunta de por qué el marco analítico del SNI se focaliza en empresas, soslayando otro tipo de actores, la brinda el contexto de origen de dicho modelo. Se basa en la experiencia de EUA y de otros países “desarrollados”, e intenta capturar cuáles fueron los principales factores que intervinieron en el crecimiento económico de dichos países. Pero en su intento, el modelo se abstrae de varias variables que sin duda han tenido influencia en las trayectorias de dichas naciones, como cuestiones geopolíticas y de construcción de capital bélico, por llamarlo de algún modo, que se entrelazan con el crecimiento económico y el desarrollo científico tecnológico. Al trasladar sus recomendaciones a países latinoamericanos, en seguida surgen discrepancias por ser ideas fuera de contexto, marcos conceptuales diseñados para otras realidades, y absorbidos acriticamente (Thomas y Dagnino, 2005), en zonas que nunca satisfacen todas las condiciones necesarias para funcionar como en sus lugares de origen. Sin duda, no es lo mismo comparar Alemania, Israel, Estados Unidos o Corea del Sur, con cualquier país de Latinoamérica o de África subsahariana. Las diferencias no son sólo económicas, sino de trayectorias históricas, políticas, culturales, sociales, entre muchas otras, que precisan de marcos analíticos adecuados a las condiciones locales. Esto ya está en discusión, por ejemplo, con las iniciativas que hablan de la necesidad de apoyar “tecnologías sociales” (Dagnino, 2004). Sin embargo, y a pesar de su importancia por ser conceptos más arraigados en el territorio, han tenido poca influencia en las principales políticas de CTI, entre las cuales se incluye la nanotecnología. A partir de esta reflexión, es fácil entender por qué hay un tipo de actor sistemáticamente ausente en estos últimos años en las políticas de CTI: las organizaciones sin fines de lucro. Es entendible que no todas las posibles áreas de desarrollo de la nanotecnología se relacionen con ellas. Pero es innegable que hay varias con un gran potencial para atacar problemas de inclusión social y ambiental. Pero, al no incluirlas en los espacios y procesos de decisión de prioridades, se llega a un vacío y a una pobreza de visiones y perspectivas sobre el futuro que las tecnologías podrían seguir. La nanotecnología es una de las tantas áreas de CTI, donde este tipo de actores se encuentran ausentes.

## Tensiones en el nanomundo

La introducción de una política para la nanotecnología en Argentina provocó una serie de tensiones. Entre ellas: la disputa por su definición; las dificultades en los vínculos entre empresas y grupos de I+D, y, los límites relacionados con la institucionalidad a nivel nacional.

### La disputa por su definición

Al conversar con científicos sobre la definición de la nanotecnología, parecería existir cierta convergencia en que se trata del campo que estudia las

nuevas propiedades de la materia originadas a escala nanométrica (Vila Seoane, 2011: 2). Aunque cuando se analizan con más detalle los términos de referencia de distintas convocatorias, tanto de una orientación más bien básica como de desarrollo de aplicaciones con el sector privado, es fácil encontrar definiciones ambiguas o que directamente se omitan. Por ejemplo, si bien la convocatoria de los fondos sectoriales habla de “propiedades de la materia a nanoescala”, no se especifica que se trata de las “nuevas” propiedades que surgen en ciertos rangos de esa escala.<sup>10</sup> Otro caso es la convocatoria de aportes no reembolsables del FONTAR Bio-Nano-TIC, donde se aclara que son elegibles proyectos de “Nanotecnología: nanomateriales, nanointermediarios y nanosensores”, pero en ningún momento define qué se entiende por esos términos, a pesar de ser la nanotecnología una de las prioridades del instrumento.<sup>11</sup>

¿Cómo se puede entender esto? Una posible respuesta la brinda el análisis de políticas públicas. Siguiendo a Stone, el corazón de las mismas se centra en la discusión por la definición del concepto de un dado tema a apoyar (Stone, 1988: 7), ya que esto, de cierta forma, determina a quiénes se incluirá como beneficiarios de la política, y una definición imprecisa permite abarcar más destinatarios. En el caso de Argentina, organizaciones como la FAN suelen usar el término “micro y nanotecnologías”. Y esto no es casualidad, pues se busca darle importancia a la comunidad en microtecnologías en el país, que cuenta con un desarrollo considerable en diversos centros de investigación, como por ejemplo la CNEA<sup>12</sup> o el INTI.<sup>13</sup> Es posible esperar similares disputas por el término en otros países, que dependerán de la estructura de la red de actores con más influencia. El caso argentino ilustra esto. Dado que la nanotecnología se estableció como un campo de investigación prioritario a nivel nacional, se destinaron recursos al área que atrajeron el interés de diversos grupos de investigación, muchos de los cuales no se encontraban previamente trabajando en temáticas a esa escala. La disponibilidad de recursos los llevó a reorientar sus líneas de I+D para presentarse a las distintas convocatorias. Estas tendencias sugieren que la nanotecnología, como término, se convirtió en una especie de concepto de frontera (Mollinga, 2010), es decir, en uno de aquellos conceptos polisémicos que pueden, a partir de su indefinición, incluir diverso tipo de actividades, a veces contrarias a su definición original.

---

10 Ver el anexo I de la convocatoria en: <[http://www.agencia.mincyt.gov.ar/upload/Bases\\_FSNano\\_2010.pdf](http://www.agencia.mincyt.gov.ar/upload/Bases_FSNano_2010.pdf)>.

11 Ver la página 2 de la convocatoria en: <[http://www.agencia.mincyt.gov.ar/upload/\\_Bases\\_ANR\\_BIO-NANO-TICs\\_2012\\_CII.pdf](http://www.agencia.mincyt.gov.ar/upload/_Bases_ANR_BIO-NANO-TICs_2012_CII.pdf)>.

12 <<http://www.cnea.gov.ar/>>.

13 <<http://www.inti.gov.ar/>>.

## Dos mundos aparte: las empresas y los “grupos” de I+D

Los resultados de la encuesta<sup>14</sup> realizada por el MINCyT reflejan los desafíos que enfrentan los grupos de I+D y las empresas argentinas de nanotecnología al trabajar en conjunto. Uno de sus resultados muestra tanto convergencias como divergencias en el tipo de aplicaciones industriales de las empresas o de las posibles líneas de I+D de los grupos. Por un lado, tanto grupos como empresas coincidieron en destacar la potencialidad de las redes nacionales de desarrollar productos en las áreas de salud humana, biotecnología y ambiente. Por otro lado, las empresas se inclinaron más por sectores que se ajustan a la realidad del perfil productivo del país, tales como autopartes, metalmecánica, agroindustria y alimentos, mientras que las respuestas de algunos grupos para esos mismos sectores fue bastante poco prioritaria (Vila Seoane y Rodríguez, 2012). Esto sugiere justamente la dificultad de varios grupos de I+D de asociar sus líneas de investigación con las problemáticas industriales locales, y de cómo sus conocimientos podrían fortalecer estos sectores industriales más tradicionales. Hecho que no es de extrañar, pues los resultados de la encuesta a grupos de I+D reflejan que sólo un 10% de las vinculaciones son con empresas, mientras que la gran mayoría (36%) se realiza con universidades extranjeras (*Ibid.* 2012: 22). Lo cual también evidencia las dificultades en aplicar el marco analítico del SNI.

Más allá de esto, los grupos de I+D expresaron que, a pesar de sus conocimientos en el área, reciben pocas demandas desde las empresas para resolver sus problemas tecnológicos. Y cuando las reciben, que las empresas suelen tener dificultades para plantear tecnológicamente dichos problemas. Esto dificulta la creación de un lenguaje común para abordar los desafíos. También resaltan que las empresas en general tienen poco interés en participar en proyectos de I+D, tanto por el tiempo que pueden llegar a consumir como por la incertidumbre de los resultados a alcanzar. Las empresas entrevistadas reconocen estas deficiencias, y lo indispensable de incrementar las articulaciones con el sistema científico y tecnológico. Aunque no dejan de manifestar su posición crítica con respecto a estas vinculaciones, tal como se evidencia en la siguiente cita:

El gran desafío es que la mayoría de los científicos en Argentina empiecen a orientar sus esfuerzos al desarrollo de tecnología, generando prototipos de productos o materiales útiles para aplicaciones concretas y no, como hasta ahora, que la gran mayoría centra su carrera profesional en las publicaciones en revistas con referato de alto impacto. Este tipo de científicos o tecnólogos deberían tener la capacidad de transformar las investigaciones en aplicaciones concretas y no, como en muchos casos, en la publicación de patentes de cuestionable utilidad. (*Ibid.* 2012: 29)

14 Cabe remarcar que estuvo destinada a grupos de I+D y a empresas principalmente nacionales operando en el país, pero no consideró aquellas multinacionales que utilizan dichas tecnologías.

## Las dificultades en apoyarla institucionalmente

La implementación del proyecto de la nanotecnología en Argentina no estuvo exenta de desafíos. En la tabla 1 sintetizo los más relevantes que podrían inspirar formas de intervención en otros países de la región, con el recaudo de que se refieren a la implementación de la política tomando como base el marco analítico del SNI.

Los recursos financieros son siempre una de las principales limitantes. Si bien hubo un aumento con el paso del tiempo (Vila Seoane, 2011: 102), suele ser una demanda tanto de grupos de I+D como de empresas. En especial, los grupos reclaman mayor financiamiento para desarrollos tecnológicos. Y en esto coinciden con los empresarios, que consideran como un cuello de botella la escasez de recursos para proyectos que planean escalar prototipos. Esto es infrecuente, y, aún más, en áreas tecnológicas “novedosas”. Los empresarios también destacaron que el país carece de capital de riesgo, uno de los elementos centrales en países donde “funciona” el SNI, como EUA o Israel.

Varias áreas de la nanotecnología, aunque no necesariamente todas, dependen del uso de distintos tipos de equipos. Durante el trabajo de campo realizado, fue evidente esta necesidad y la de contar con la infraestructura apropiada. Por ejemplo, con centros nacionales donde los equipos puedan ser compartidos por distintos grupos y empresas, pues esta forma de organización abarataría los costos. Otro requisito fue contar con facilidades para obtener repuestos de los equipos en caso de desperfectos, y de personal capacitado adecuadamente para su operación.

La disponibilidad de recursos humanos es otro desafío. Si bien la cantidad de investigadores se duplicó en los últimos años (Vila Seoane y Rodríguez, 2012: 35), aún es una comunidad pequeña para la cantidad de potenciales áreas de aplicación que muchos avicinan. La interdisciplinariedad como elemento en la formación es otra carencia, dado que los desarrollos requieren de especialidades que no siempre se encuentran en el área de

**TABLA 1.** Principales desafíos detectados durante la implementación del proyecto de nanotecnología en Argentina.

PRINCIPALES DESAFÍOS		
Recursos financieros	Articulación público-privada	Legislación (códigos aduaneros; laborales; salud).
Infraestructura y equipos	Desarrollo de mercados	Difusión y sistema de información
Recursos humanos e interdisciplinariedad	Cooperación internacional	Ética y percepción pública

Fuente: Con base en Vila Seoane y Rodríguez (2012) y Vila Seoane (2011).

experiencia de las disciplinas tradicionales en las que se organizan las universidades: química, física, medicina, electrónica, etc. Por ende, se han iniciado programas de movilización y capacitación de recursos en red, aunque de manera muy incipiente, y es otro de los temas a profundizar.

Si bien, como describí al comienzo, las políticas están siendo reorientadas para fomentar la articulación de actores del sistema científico y tecnológico con empresas, todavía es un vínculo escaso a nivel nacional. Esto sigue siendo un desafío por las diferencias culturales y de trabajo mencionadas en la sección previa. Un desafío que tendrá que sobrepasarse, por ejemplo, al compartir experiencias, buenas prácticas y metodologías de trabajo, al evaluar y corregir los proyectos que ya se han puesto en práctica.

Otro desafío es el poco desarrollo de mercados, tanto nacionales como internacionales. Los empresarios se lamentan de la escasa demanda de los consumidores de productos que abiertamente indiquen que utilizan nanotecnología. Una alternativa que no se ha experimentado aún, es la implementación de regulaciones por parte del Estado que promuevan aplicaciones nanotecnológicas. Por ejemplo, esto podría fomentarse al requerir determinado tipo de prueba con nanosensores en alimentos, que generaría un mercado de proveedores y productores locales, que luego, incluso, podrían exportar sus desarrollos.

La difusión surgió como otro eje desafiante para la promoción del área. Un término poco común para el público en general, y para muchos empresarios tampoco es clara su posible aplicación en su proceso industrial. Por ende, los esfuerzos de difusión en diversas esferas es uno de los puntos esenciales para un crecimiento de las actividades relacionadas con la nanotecnología. Lo anterior, incluye tanto la difusión de las posibles aplicaciones que las líneas de investigación en curso puedan llegar a tener, así como también la comunicación de casos exitosos de empresas que podrían incentivar a otras a entrar en esta área. También se señaló como una falencia la falta de un sistema de información actualizado en ésta y en otras áreas estratégicas. Algo que los países líderes en la temática tienen, como Alemania<sup>15</sup> o el Reino Unido.<sup>16</sup>

Argentina ha realizado avances en términos de cooperación internacional al establecer centros binacionales con Brasil,<sup>17</sup> México<sup>18</sup> y Sudáfrica,<sup>19</sup> que permiten estrechar vínculos binacionales y promover la transferencia de conocimientos. Sin embargo, aún es un área que se puede expandir de forma

15 <<http://www.nano-map.de/>>.

16 <<http://www.nano.org.uk/>>.

17 <<http://www.mincyt.gob.ar/accion/cabnn-centro-argentino-brasileno-de-nanociencias-y-nanotecnologia-6453>>.

18 <<http://www.mincyt.gob.ar/accion/camen-centro-argentino-mexicano-de-nanociencia-y-nanotecnologia-9565>>.

19 <<http://www.mincyt.gob.ar/accion/asacen-centro-argentino-sudafricano-de-nanotecnologia-9564>>.

más estratégica, por caso, al promover vinculaciones que generen capacidades nacionales al absorber conocimientos específicos para la resolución de problemas.

Otros puntos vacantes se relacionan con la ausencia de legislación en diversas áreas. Esto incluye desde la actualización de los códigos aduaneros para catalogar adecuadamente la exportación e importación de productos nanotecnológicos, como la creación de regulaciones destinada a lugares de trabajo donde se utilicen nanomateriales para limitar potenciales efectos nocivos para la salud. Esto no sólo tendría que considerar investigaciones y productos locales, sino también aquellos que podrían ser importados. Pues, al no estar regulados, tienen el potencial de ser usados de manera indiscriminada en el país soslayando su efectos tóxicos.

Finalmente, el tema de la ética en investigaciones de nanotecnología y su percepción pública sigue siendo un área escasamente explorada. Y casi siempre con menor prioridad. No obstante, un descuido en el área puede producir efectos *boomerang* que bloqueen desarrollos futuros, tal como ocurrió con la biotecnología.

## Discusión

La nanotecnología como política pública se desarrolló en Argentina tanto por factores internos como externos. Entre los externos se destacó el impulso a nivel mundial causado por la iniciativa de EUA, los organismos internacionales de crédito, consultoras y la comunidad científica internacional, que desparramaron la idea por el mundo al posicionar a la nanotecnología como la futura área del conocimiento que revolucionará la producción industrial. Estrategia similar a la que se usó en su momento con las biotecnologías y las TICs, o la ola de promesas que acontecen en estos días con el *Big Data*. Con la diferencia de que los aportes prácticos de la nanotecnología son menos visibles para los consumidores. No existe un caso tan visible como el de la PCs para las TICs o de la oveja Dolly para biotecnología. En cuanto a los factores internos, se destacó la influencia de la comunidad científica nacional, conectada con redes globales, e influenciada por las discusiones y las promesas existentes en otras latitudes. Este hecho marcó la forma de promoción inicial por parte del Estado. Financiamiento dirigido principalmente a grupos de I+D, pero tendiendo progresivamente en el tiempo a estimular vínculos con el sector privado. Estas alianzas no estuvieron ausentes de desencuentros, dadas las diferentes prácticas de los grupos de I+D y las empresas. Otro punto a destacar de la introducción de la nanotecnología, como una prioridad a nivel ministerial en Argentina, es que terminó usando un concepto difuso, que pocas veces se relaciona con su definición científica original en las convocatorias. En cambio, la nanotecnología se convirtió en una palabra polisémica con la posibilidad de incluir tecnologías diversas y distantes entre sí; como, por ejemplo, la microtecnología. Hecho que refleja la disputa por

los recursos financieros disponibles por los actores dentro de la comunidad científica y tecnológica.

El caso argentino evidencia que dentro de las limitaciones existentes en países de ingresos medios es posible construir capacidades en una nueva área emergente como la nanotecnología. Es indudable que en 10 años se pasó de no tener casi nada dedicado al área, a crear un conjunto incipiente de actores, más o menos conectados, con diversas capacidades de generación y absorción de conocimientos. Por lo tanto, y partiendo desde el marco de una política orientada a fortalecer al “sistema nacional de innovación”, se puede decir que hubo avances, aunque lentos, en términos de pasar de apoyos sólo de grupos de I+D, a alianzas público-privadas. Los resultados muestran que se cuenta con una comunidad de al menos 629 investigadores en el tema, y una de 23 empresas asociadas con los instrumentos estatales (*Ibid.*, 2012). Es coherente suponer que el número total de aquellas trabajando con nanotecnologías es mayor. Esto es un resultado de las decisiones de intervención gubernamental de los últimos años, que si bien lejanas del ideal de muchos, son mejor que nada y han permitido construir capacidades mínimas en ambas áreas. Queda como desafío incrementar la intensidad de las relaciones, y la capacidad de que verdaderamente se introduzcan productos en las distintas cadenas de valor industriales. No obstante, son evidentes las tensiones y limitaciones que se tiene al adoptar un marco analítico, como el SNI, para las políticas surgidas en otro contexto, y que no se ajustan del todo bien a las realidades socioeconómicas de Argentina. Existen condiciones de borde que imponen restricciones estructurales en términos de recursos (tanto financieros, humanos como de infraestructura), e institucionales que no se pueden cambiar en un santiamén, y sintetizados en los 11 puntos mencionados en la cuarta sección: recursos financieros; infraestructura y equipos; recursos humanos y estímulo a la interdisciplinariedad; articulación público-privada; el desarrollo de mercados; la cooperación internacional; introducción de nuevas legislaciones; difusión de las potencialidades de las nanotecnologías y generación de sistemas de información; sin dejar de lado las investigaciones sobre la ética en investigaciones de nanotecnología y sobre su percepción pública.

Como se vislumbra en la figura 1, el marco analítico del SNI se parece más al triángulo de Sabato y Botana, donde el Estado tomó el rol central en la relación de los tres tipos de actores considerados. El sistema es una metáfora para las conexiones, los proyectos, los actores, entre otros, que han surgido en los últimos años en torno a la nanotecnología. Esta configuración delinea claramente la orientación para la cual la gran cantidad de recursos (humanos y materiales) está siendo utilizada en Argentina, para contribuir con los procesos industriales, y así aportar al “desarrollo económico” de la Nación. Pero en países donde las conexiones con el sector empresarial son escasas, donde las necesidades de innovaciones volcadas a la resolución de asuntos sociales son indispensables, el foco exclusivo en el sector privado

pone en duda el esquema mental de organización de la política y de su flujo de fondos, pues se deja de lado todo el otro conjunto de posibles aplicaciones de la nanotecnología que tantas veces figuran en la literatura para aliviar las condiciones de sectores con menos recursos y contribuir a resolver los problemas ambientales. Temas difícilmente incluidos en la agenda si no se abren espacios para la participación activa de representantes de la sociedad civil. Una de las posibles causas de esto, más allá de las limitaciones de los marcos analíticos utilizados, puede tener que ver con el pequeño tamaño de la comunidad que trabaja con nanotecnología a nivel nacional, ya que esto es un límite para la cantidad de proyectos o áreas en las cuáles los grupos de I+D pueden trabajar. Y, hoy por hoy, los incentivos están orientados a estimular conexiones con el sector privado. ¿Cómo corregir esta deficiencia? La participación de otros actores en la definición de las políticas públicas sería el primer paso. Esto tendría que estar acompañado por instrumentos de financiamiento que también guíen las investigaciones para la realización de proyectos en conjunto con tales organizaciones, y no sólo con empresas privadas. De lo contrario, el proyecto de la nanotecnología en Argentina tiene algunas posibilidades de aportar al desarrollo económico de las empresas nacionales, pero muy pocas de contribuir con procesos de inclusión social o de cuidado del ambiente por intermedio de la acción de la rica variedad de organizaciones sin fines de lucro existentes en el país, como cooperativas, movimientos sociales u otras organizaciones sin fines de lucro.

Para concluir, quiero resaltar que las recientes investigaciones consideran la innovación como un proceso social, que depende de los conocimientos acumulados por todas las generaciones previas (Alperovitz y Daly, 2008). En el caso de los países lejanos a los principales centros de producción de conocimiento, la capacidad de innovar depende, además, de qué tan buenos sean en absorber nuevas prácticas, y en adaptarlas a la realidad local. Es por ello que si bien es frecuente encontrar artículos que vinculan “nanotecnología” y sus posibles aplicaciones en “países en desarrollo”, será difícil que algo de esto se vuelque de forma sistemática a la práctica sin un cuestionamiento y una profunda reformulación en los marcos analíticos que guían el diseño de políticas, y que reorienten la forma en la que el conocimiento se produce y se utiliza. Para ello, el papel de la comunidad científica abocada a las nanotecnologías tiene una función importante que cumplir. No sólo para continuar desarrollando investigaciones en la temática, sino también para ser conscientes de que para lidiar con los problemas sociales y ambientales de la región, se necesita extender la cantidad de actores presentes en la formulación de las políticas de CTI, y en expandir las formas de difusión de conocimientos en la “sociedad”. Latinoamérica, en los últimos 10 años ha experimentado varios cambios y desafíos a la recepción de modelos externos, y realizado nuevas propuestas como el Buen Vivir (Gudynas, 2011). No obstante, estas discusiones todavía no han repercutido con toda su fuerza en las nuevas áreas de investigación. Tema pendiente a fin de llegar a diseñar

sistemas de investigación y desarrollo más inclusivos y coherentes con las condiciones regionales.

## Bibliografía

- Alperovitz, G. y Daly, L. (2008). *Unjust deserts: How the rich are taking our common inheritance*. Nueva York: The New Press.
- Andrini, L. y Figueroa, S. (2008) El impulso gubernamental a las nanociencias y nanotecnologías en Argentina. En G. Foladori y N. Invernizzi (eds.) *Las nanotecnologías en América Latina*. México DF: Miguel Ángel Porrúa.
- Dagnino, R. (2004) A tecnologia social e seus desafios. En *Tecnologia social - uma estratégia para o desenvolvimento*. Río de Janeiro: Fundação Banco do Brasil.
- Escobar, A. (1995) *Encountering development. The making and unmaking of the Third World*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Freeman, C. (1995) The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, (marzo, 1993): 5-24.
- Godin, B. (2006) The linear model of innovation. The historical construction of an analytical framework. *Science, Technology & Human Values*, 31(6): 639-667.
- Gudynas, Eduardo (2011) Buen vivir: Today's tomorrow. *Society for International Development*, 54(4): 441-447.
- Hornidge, A.-K. (2012) 'Knowledge' in development discourse: critical review. En A.-K. Hornidge y Ch. Antweiler (eds.) *Environmental uncertainty and local knowledge Southeast Asia as a laboratory of global ecological change*. Bielefeld: Transcript Global Studies.
- Krause, U. (2013) Innovation: the new big push or the post-development alternative? *Society for International Development*, 56(2): 223-226.
- Lundvall, B.-Å., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. (2002) National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2): 213-231.
- MINCyT. (2009) *BET – Nanotecnología*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. <[http://www.mincyt.gov.ar/\\_post/descargar.php?idAdjuntoArchivo=22522](http://www.mincyt.gov.ar/_post/descargar.php?idAdjuntoArchivo=22522)>.
- Mollinga, P. P. (2010) Boundary work and the complexity of natural resources management. *Crop Science*, 50(1), 1-9.
- Nelson, R. R. (ed.) (1993) *National innovation systems: a comparative analysis*. Oxford: Oxford University press.
- Sábato, J. y Botana, N. (1970) La ciencia y la tecnología en el desarrollo de América Latina. En A. Herrera (ed.) *América Latina: ciencia y tecnología en el desarrollo de la sociedad*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Stone, D. (1988) *Policy paradox and political reason*. Glennview: Illinois: Scott Foresman.
- Thomas, H. y Dagnino, R. (2005) Efectos de transducción : una nueva crítica a la transferencia acrítica de conceptos y modelos institucionales. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 31(XVI), 9-46.

Vila Seoane, M. (2011) *Nanotecnología: su desarrollo en Argentina, sus características y tendencias a nivel mundial*, tesis de maestría. Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires.

Vila Seoane, M. Y Rodríguez, S. (2012) *Empresas y grupos de nanotecnología en Argentina*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

## José Saniger y Sergio Fuentes, pilares de la NyN, reconoce Nanomex Riesgo y desarrollo de empresas con base tecnológica: principal reto para el sector

► Elena León\*

**JUNIO 2014, PACHUCA, HIDALGO** ► Del 9 al 13 de junio se llevó a cabo el VII Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología – Nanomex, en el marco del Congreso Internacional Multidisciplinario de Nanociencias y Nanotecnología 2014. En ese contexto, el consorcio Nanomex junto con la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, la Universidad Tecnológica de Tulancingo y la Universidad Politécnica de Pachuca otorgaron los primeros reconocimientos por trayectoria académica y aportes al desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología en México. Éstos fueron entregados al Dr. Sergio Fuentes Moyado, del Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN), y al Dr. José Manuel Saniger Blesa, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La nanociencia y la nanotecnología han forjado un camino importante en tanto la prospectiva de innovación en el país. Las oportunidades que puede representar el seguimiento de este campo son prometedoras; no obstante, este trayecto ha sido trazado por el trabajo y compromiso de varios personajes, entre ellos, los doctores Fuentes y Saniger. A continuación presentamos una breve entrevista donde podremos conocer algunas de las acciones que han sido trascendentes para el desarrollo NyN en México.

### Saniger insta a la conformación de PYMES con base nanotecnológica

El Dr. José Manuel Saniger Blesa es doctor en ciencias químicas por la Universidad Complutense de Madrid. Su área de especialidad es la química del estado sólido, síntesis y caracterización de materiales cerámicos, materiales nanoestructurados, espectroscopías vibracionales y análisis térmico.

### Un visionario de las patentes N y N

Saniger comenzó la difusión del tema de la nanotecnología hace 20 años. Consideró que ésta representaba una gama de posibilidades para el ámbito académico, tanto en nivel bachillerato como profesional, así como en el sector empresarial. Asimismo, se dio a la tarea de acercarse al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), pues tuvo la visión de lo que ésta subdisciplina representaría en el tema de las patentes, había que estar

preparados para cuando comenzaran a solicitarse. En esta época el tema era considerado exótico, de hecho, no recuerda si ya se le llamaba “nanotecnología”. El interés se centraba en la reducción de los tamaños y el cambio de propiedades de la materia.

Cuenta que a mediados de los noventa no existía un programa de nanotecnología definido, por lo que era necesario comenzar a trabajar en él, le pareció que sería útil aprovechar el *background* del área de materiales para empezar a construirlo. Así, algunos de los que trabajaban la síntesis de materiales se dieron a esta tarea, más tarde se daría una diversificación. De esta manera, Saniger Blesa lideró el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental, teniendo el tema de la catálisis y la nanocatálisis como prioridad y de tal forma que México tuviese una presencia en este campo a nivel internacional. Más tarde, sumaron el tema de la catálisis ambiental y el proyecto derivó en la conformación de un laboratorio universitario, que hoy

\* Divulgación de la Ciencia, DGDC-UNAM.

está a cargo del Dr. Rodolfo Zanella, actual director del CCADET.

Saniger Blesa está hoy día interesado en la generación de plataformas analíticas que permitan mejorar las capacidades de separación y detección de ciertos materiales, para desarrollar sistemas capaces de detectar de manera ultrasensible y exacta cualquier molécula de interés ambiental o biomédico situado en una matriz compleja, ya sea en aguas residuales o tejidos y fluidos biológicos. Esta búsqueda de la interacción entre moléculas y sustratos nanoestructurados está encaminada a encontrar aplicaciones capaces de detectar analitos que permitan obtener sensores químicos de muy alta especificidad; sin embargo, pese a que este proyecto no está definido formalmente, comenta que seguirá trabajando al respecto.

### *La innovación, uno de los grandes retos*

Entre los principales retos para la NyN en el país, consideró el tema de la innovación. Puntualizó que uno de los problemas que tiene el desarrollo de la nanotecnología y la nanociencia es derivar en una aplicación real, de tal suerte que se pueda decir que la NyN han permitido que en México se traten aguas residuales, generar materiales novedosos que contribuyen al abatimiento de la contaminación, que se han encontrado recubrimientos con propiedades mecánicas u ópticas especiales. Es decir, el traslado de lo que se sabe hacer en la academia a un desarrollo tecnológico continúa siendo un tema pendiente. Dicho tema, consideró, debe ser abordado tanto por la parte académica como por la industria, en ese sentido, consideró que la interrelación entre las universidades, las universidades tecnológicas y la industria es positiva pero incipiente.

Otro reto es el diseño de fases estacionarias capaces de separar un componente específico dentro de una mezcla muy compleja,

ello dará la oportunidad de enriquecer la biotecnología, la biomedicina, el cuidado del medio ambiente. En este sentido, la selectividad, mencionó, es el gran problema de la catálisis y el censado, que en el campo de la medicina tendría grandes beneficios tales como la posibilidad de visualizar todos los marcadores biológicos que pueden estar en la sangre y otros fluidos.

Agregó que una de las satisfacciones que tiene al trabajar en el CCADET —donde fungió como su director del 2005 al 2013—, es la interacción trans, inter y multidisciplinaria. El trato con profesionales de distintas áreas ofrece otros contextos disciplinarios y la posibilidad de tener colaboraciones, opciones de aplicaciones que no se presentarían si se estuviese sumergido en un medio monodisciplinar, “te abre la mente y te enriquece muchísimo el problema”. No obstante, consideró que no se ha podido lograr una metodología transdisciplinaria. Entre los obstáculos está la intervención de distintos actores y los intereses de los mismos, como es el caso del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) o las secretarías de estado en tanto que empaquetan la investigación en grandes temas como energía, medio ambiente, salud, alimentos. “Todos ellos son los grandes temas del país... la nanotecnología tiene mucho que decir y qué hacer, pero tenemos que definirnos. No hay una demanda específica, ni del sector industrial, ni una directriz clara de Conacyt... Creo que ese estadio lo tenemos que superar, si no, vamos a seguir con enormes posibilidades y con muy poca concreción”.

### *Solidificar la confianza para llegar a la transferencia tecnológica*

Al cuestionar a Saniger sobre su opinión respecto al estado de la NyN en México, calificó de bastante bueno el momento que vive ese frente científicotecnológico. Tomó como

parámetro el número de publicaciones, las tesis sobre el tema, la formación de recursos humanos, la implementación de carreras relacionadas con este campo disciplinar. Si bien no se está en la frontera, dijo que el país puede ser considerado un pionero a nivel mundial entre los países de segundo nivel; e incluso, en algunos temas se está al nivel de los países llamados *de primer mundo*.

No obstante, puntualizó que en el ámbito de la transferencia tecnológica, el impacto en el sector industrial y en el sector público aún es muy débil. Al respecto, consideró que, desde su perspectiva, ello puede trascenderse a través de impulsar un cambio de mentalidad para trabajar con mayor confianza. Es decir, confiar en el trabajo conjunto del sector industrial, público y el académico. Pasar del discurso a los hechos. Subrayó la necesidad de que los jóvenes creen empresas de base tecnológica, que aún son inexistentes en el país, ello debido a que es mucho más sencillo trabajar con pequeñas empresas que con los grandes corporativos. Animó a que a los estudiantes de doctorado y posdoctorado vean la conformación de empresas como una opción y no se cierren a perseguir una plaza académica; sin que esto signifique olvidar los cimientos de su formación académica. Ante esta posibilidad, señaló que el Estado, mediante instancias como el Conacyt o las secretarías, tendría que proporcionar todo su apoyo para conseguir resultados focalizados e importantes.

### *La academia debe liderar la regulación en México*

En el tema de la regulación de la NyN, Saniger Blesa subrayó la necesidad de contar con una normativa, misma que hoy es aún inexistente [hay algunas iniciativas de NMX pero no de NOM]. Aunque ya se están realizando esfuerzos en este tema, dijo que la parte farmacológica hay una carencia regulatoria. In-

dicó que es necesaria una normatividad global que incluya la manufactura avanzada, así como todas las áreas del proceso de producción, investigación básica, innovación y aplicación. Es necesario consolidar los sistemas de medición, explicó, debido a que los sistemas analíticos certificados son de gran importancia para el desarrollo de normas, así como un estudio detallado de los efectos que pueden alcanzarse a largo plazo. Comentó que si bien en México se ha hecho muy poco al respecto, es un tema que está en las mismas condiciones a nivel mundial. Consideró que no es un tema banal saber qué sucederá en el largo plazo si aplicamos nanopartículas a los alimentos, por ejemplo. Es necesario tener un bosquejo del ciclo de vida de un nanomaterial, desde que se genera y hasta que se desecha; ¿qué hay que hacer antes de generarlo y cómo se debe desechar? Al respecto, consideró que podría contemplarse la colaboración en este tema con la Unión Europea o Estados Unidos, de manera de evitar el efecto *boomerang* del uso de NyN, aún cuando el estudio del mismo no suele ser atractivo para los académicos.

En la opinión de Saniger Blesa, la regulación debe realizarse desde la esfera gubernamental, puesto que apostar por una autorregulación es demasiado complicado, pues difícilmente se dará de ese modo; quizá deban ser varias secretarías las que trabajen de manera conjunta para llevar a cabo la regulación, contar con la intervención de la Academia Mexicana de Ciencias, quienes podrían fungir como líderes del proyecto.

Apuntó que una vez establecida una normatividad, podría pensarse en un centro nacional de regulación nanotecnológica, o alguna instancia similar, donde se implementen planes de desarrollo a corto y mediano plazo, involucrando tanto al sector académico como al empresarial, de manera que, si bien el gobierno llevase la voz cantante, estuviese

aconsejado en todo momento por el sector académico.

### **Fuentes Moyado apuesta por un plan nacional de nanociencia y nanotecnología**

El Dr. Sergio Fuentes Moyado, investigador y exdirector del Centro de Nanociencias y Nanotecnología de la UNAM, Campus Ensenada, estudió ingeniería petrolera en la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional, realizó una maestría en Cinética Química y Catálisis y obtuvo su grado de doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Claude Bernard. Sus campos de investigación son: química, cinética, catálisis y nanotecnología.

#### *Un plan nacional de nanociencia y nanotecnología para México*

Fuentes Moyado fue responsable la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del Conacyt ([www.nanored.org.mx](http://www.nanored.org.mx)). Ésta comenzó con una iniciativa que desarrolló al interior de la Universidad Nacional Autónoma de México, misma que después se convirtió en un megaproyecto, y más tarde se consolidaría como la Red Temática de Conacyt, en colaboración con otras entidades de investigación del país.

Cuenta que, pese a que en un inicio había demasiada especulación y expectativa sobre las redes, hubo varias que se desarrollaron exitosamente, aunque otras tuvieron un nacimiento un tanto desafortunado. Considera que la Red Temática de NyN ha sido de las que ha brindado mayores resultados y, además, ha logrado trascender, ello si se hace una evaluación de la visión nacional alcanzada dado que la perspectiva con la cual ha trabajado está enfocada en convertirse en un iniciativa nacional. Detalló que la Red NyN ha logrado integrar la mayor parte de las fortalezas académicas existentes en el país, al

conseguir elaborar un resumen de la situación actual de México en el tema de las NyN. Asimismo, han logrado formar las primeras bases para consolidar una iniciativa nacional. La Red ya ha comenzado a dialogar sobre cómo escalar un plan nacional de desarrollo en nanotecnología.

Sergio Fuentes consideró que el estado de la NyN en México es promisorio. En su apreciación, la gente ha notado que hay oportunidades en este campo; sólo subrayó la necesidad de que el gobierno haga conciencia sobre la oportunidad que representa en materia de innovación y competitividad. Espera que haya una visión por parte del Estado en tanto la incorporación que la NyN vaya teniendo gradualmente en la vida cotidiana y, de esta manera, comience en breve a tomar las medidas necesarias para sacar mejor partido de ella.

Advirtió que es necesario trabajar de manera conjunta, de tal modo que se rompa con la dinámica de la no colaboración, donde, pese a estar a unos cuantos pasillos o cubículos de otros colegas o colaboradores, se prefiere trabajar con gente en el extranjero. Apuntó que si se logra trabajar conjuntamente y bajo un objetivo definido, los resultados serán mucho más amplios, y agregó que no se debe dejar de lado la necesidad de trabajar con aquellos dedicados a llevar a cabo las aplicaciones, ya sea a nivel industrial o social. Mencionó que en el caso de la Red Temática de NyN esta dinámica se ha ido haciendo presente, ofreciendo resultados favorables.

#### *La fotosíntesis artificial, el gran reto de la nanociencia y la nanotecnología*

Para Fuentes Moyado, uno de los retos más interesantes de la NyN a nivel ciencia básica es la continuidad de la investigación en el área de la energía donde ha hecho contribuciones importantes tales como el desarrollo de catalizadores útiles en la producción de

petróleo pesado. Trascendiendo la apuesta por los combustibles fósiles, señaló el potencial energético a partir de la producción de hidrógeno a través de la disociación del agua, pues pese a que esto ya se puede hacer, aún no se ha conseguido por un método económicamente viable. Con ánimo, habló de la posibilidad de la fotosíntesis artificial, pues ésta podría convertirse en el combustible artificial que movilice todas las necesidades de la humanidad, con la ventaja de ser un ciclo que no contamina: aprovechar la luz del Sol, disociar el agua, generar hidrógeno, “quemar” el hidrógeno y producir agua.

### *Aprender del pasado y regular*

En el tema de la regulación, el Dr. Fuentes anotó lo afortunado de que en México existan grupos especializados en el tema de la normatividad y muy interesados en NyN. Mencionó que incluso la Secretaría de Economía ha ofrecido algunas propuestas en las que se trata de iniciar la normalización oficial.

Agregó la importancia de regular antes de hacer uso de la nanotecnología, de manera que se haga de manera responsable. Llamó la atención para evitar que suceda lo mismo ocurrido con la otras tecnologías en el pasado, donde los impactos ambientales severos y los efectos nocivos para la huma-

nidad, han sido causa de su utilización sin control al ser descubiertas. Por ello, determinó necesario realizar una normatividad puntual.

Consideró necesario no perder de vista la regulación de la tecnología que está llegando al país, y tener la atención puesta tanto en lo que proviene del extranjero, como en lo que se produce al interior, ambas cuestiones son importantes. Al respecto, dijo, se debe analizar qué es lo que está llegando, saber con certeza de qué se trata, y en el caso de la producción mexicana, que las normas cumplan las necesidades de prevención, al tiempo que no disminuya la capacidad de producción. No debemos olvidar que es más fácil prevenir que remediar en cualquier proceso, además de ser más económico.

Indicó la importancia de legislar y normativizar en favor de las personas involucradas en el proceso de producción, así como de aquellas que harán uso de los productos, la protección para todos los agentes es primordial. En esta línea, añadió la trascendencia de considerar la educación para los consumidores. Esto significa difundir la información necesaria para que los mexicanos puedan tener un panorama amplio sobre lo que están consumiendo, cómo se benefician de ello, y cuáles son, en su caso, los posibles efectos que pudiera representar.

## Semblanza de los galardonados

### Dr. Sergio Fuentes Moyado

Originario de Fortín, Veracruz; obtuvo el grado de ingeniero químico petrolero de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional, en México, D.F., en 1972. Obtuvo el grado de doctor en cinética química y catálisis de la Universidad Claude Bernard de Lyon, Francia, en junio de 1977 y el de Doctor de Estado en Ciencias Físicas de la misma universidad, en noviembre de 1978. En 2011, se le confirió el Doctorado Honoris Causa de la Universidad Veracruzana.

Trabajó en el Instituto Mexicano del Petróleo como responsable del Laboratorio de Cinética Química en 1979, después se desempeñó como jefe del Área de Catálisis en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, en 1982, y se incorporó al Instituto de Física de la UNAM en 1985.

En 1990, se trasladó al entonces Laboratorio de Ensenada, transformado en 1998, en el Centro de Ciencias de la Materia Condensada (CCMC), donde creó y dirigió el Departamento de Catálisis en 2004; posteriormente, fue nombrado director del centro para el periodo 2006-2010. Durante su gestión, promovió el cambio de denominación de CCMC a Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN), aprobado por el Consejo Universitario en marzo de 2008. Fue ratificado como director para un segundo periodo de marzo de 2010 a marzo de 2014.

En el área de investigación, sus campos de especialidad son: en química, la síntesis de nanoestructuras, la cinética y la catálisis; en ingeniería química, la refinación del petróleo

y la petroquímica, y en física: la fisicoquímica de superficies. En todas estas áreas ha formado varios grupos de investigación.

En los últimos años, el Dr. Fuentes se ha dedicado al estudio de catalizadores nanoestructurados para la conversión de gases contaminantes, como NO, hidrocarburos y CO, así como el desarrollo de prototipos de catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra bajo azufre. Estos estudios van enfocados hacia la obtención de aplicaciones tecnológicas, lo que ha generado el registro de tres patentes ante el IMPI.

Como impulsor de la catálisis en México, participó en la creación de la Academia Mexicana de Catálisis, y residente de ella de 1992 a 1996. En este periodo, promovió la incorporación de la ACAT como un club asociado a la Sociedad de Catálisis de Norte América (NACS). Ha coordinado talleres y congresos en el área de catálisis, nanociencias y nanotecnología de forma periódica desde 1990. Fue presidente del comité organizador del XI Congreso Mexicano de Catálisis en Ensenada, B.C. en 2010.

Ha sido responsable de más de 20 proyectos de investigación ante Conacyt y la UNAM, con un financiamiento de más de 20 millones de dólares. Como profesor, ha impartido cursos a nivel licenciatura y posgrado en la UNAM y la UAM, y ha dirigido 24 tesis, 8 de licenciatura, 6 de maestría y 10 de doctorado. Entre sus alumnos más destacados se encuentran el Dr. José Santiesteban (de EXXONMOBIL), a quien le dirigió la tesis de maestría, y la Dra. Nancy Martin (UAM) y el Dr. Gabriel Alonso (UNAM), a quienes les dirigió la tesis de doctorado.



Los doctores José Manuel Saniger Blesa y Sergio Fuentes Moyado, receptores del reconocimiento que les otorgó el consorcio nanoUNAM, por sus destacadas trayectorias académicas y aportes a la Nanociencia y Nanotecnología en México.

Como conferencista, ha impartido más de 100 conferencias y seminarios y contribuido con trabajos en congresos nacionales e internacionales. Es coautor de 1 libro y de 6 capítulos en libros. Ha publicado más de 100 artículos en revistas con arbitraje y circulación internacional, los cuales tienen más de 1000 citas por otros autores.

Participó activamente en la creación de la revista *Mundo Nano*, 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 y el Centro de Nanociencia y Nanotecnología.

Es responsable del proyecto tecnológico SENER-Conacyt de 64 millones de pesos “Desarrollo de catalizadores soportados para la producción de combustibles de ultra bajo azufre”, constituido por la participación de investigadores de diversas dependencias de la

UNAM, instituciones de nuestro país y del extranjero y que se desarrolló principalmente en el CNyN-UNAM, fortaleciendo la infraestructura en el CNyN con mayor capacidad para lograr mejores oportunidades de colaboración en las áreas de nanocaracterización y síntesis de nuevos materiales.

Durante su gestión como director del CNyN, impulsó la formación de un polo de desarrollo en nanotecnología en el campus Ensenada de la UNAM, con la creación de una unidad de nanocaracterización y nanofabricación, un grupo de bionanotecnología y la licenciatura en nanotecnología, misma que arrancó en agosto de 2011. A nivel nacional, fue coordinador de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología, Conacyt, de 2008 a 2012, y, actualmente, continúa promoviendo la creación de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología, la cual incluye un análisis del estado del arte de las líneas y grupos de investigación, de la formación de especialistas,

de las capacidades instaladas de equipamiento e infraestructura y de la oferta y demanda por parte del mercado y la industria, con el objeto de impulsar el desarrollo de la nanotecnología como un motor de crecimiento científico y tecnológico de innovación en el país.

Finalmente, el profesor Fuentes es miembro del sistema nacional de investigadores con el nivel III desde 1998 a la fecha; es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias desde 1984, de la North American Catalysis Society desde 1981, de la American Chemical Society desde 1987 y de la Materials Research Society desde 1990, y es parte de comités de evaluación, editoriales y consultivos de diversas dependencias nacionales e internacionales.

## Dr. José Manuel Saniger Blesa

Doctor en ciencias químicas, por la Universidad Complutense de Madrid (1988). Sus áreas de especialidad son la química del estado sólido, y dentro de ella la síntesis, caracterización y aplicación de los materiales de materiales nanoestructurados.

A finales de los años 80, formó el Laboratorio de Química de Materiales, que pasó a ser el actual Grupo de Materiales y Nanotecnología del CCADET. Es investigador titular C, e investigador nacional nivel III, cuenta con más de 100 trabajos publicados en revistas arbitradas de circulación internacional y más de 1400 citas externas a los mismos, con un factor H de 20; tiene 5 capítulos en libros y numerosas presentaciones en congresos internacionales y nacionales. Cuenta también con una patente concedida y tres más en proceso. Ha dirigido 9 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 6 de doctorado. Imparte clases de manera regular a nivel licenciatura y posgrado, y es tutor de los posgrados en ciencia e ingeniería de materiales, inge-

nería química ciencias químicas, ciencias físicas y odontología, participando en numerosos comités tutorales de los mismos.

Fue director del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico de la UNAM de 2005 a 2013.

En su actividad académica promueve el trabajo interdisciplinario y la definición de proyectos que integren las actividades de investigación con las de desarrollo tecnológico, buscando potenciar el impacto de los mismos en los diversos sectores sociales. A mediados de los años 90, inició una actividad sistemática de difusión de la entonces incipiente disciplina de la nanotecnología, y de su vinculación con las microscopías de tunelaje y de fuerza atómica como herramientas experimentales que dieron un impulso fundamental a la consolidación de dicha disciplina. Para ello, dictó más de veinte conferencias en diversos institutos, centros de investigación y facultades tanto de la UNAM como de otras universidades del país, así como en diversos planteles del bachillerato, en laboratorios de desarrollo de empresas nacionales y en el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI).

Sus trabajos más destacados en esta área, llevados a cabo en conjunción con diversos colegas, investigadores posdoctorales bajo su tutela, y sus tesis de doctorado, se relacionan con la preparación de sustratos nanoestructurados basados en alúminas anódicas porosas, el crecimiento en las mismas de nanotubos de carbono y de nanoalambres magnéticos, la decoración de nanotubos de carbono con nanopartículas de oro, el crecimiento de nanopartículas de oro en sustratos de SiO<sub>2</sub>, la síntesis de geles nanoestructurados de SiO<sub>2</sub> preparados por activación con ultrasonido y en ausencia de catalizadores, la síntesis por sol-gel de electrocerámicas PZT nanocristalinas, y la preparación de coloides de nanopartículas de Au y Ag a partir de

semillas obtenidas por reducción química y posteriormente crecidas por activación foto-reductiva y ultrasónica.

De 2006 a 2010, coordinó el Proyecto Universitario de Nanotecnología Ambiental “Desarrollo de nanocatalizadores para el mejoramiento del medio ambiente” como parte del Programa IMPULSA promovido por la Rectoría de la UNAM. Para ello, promovió la formación de un grupo interdisciplinario de trabajo en el que participaron alrededor de 40 académicos de ocho diferentes centros, institutos y facultades de la UNAM, y más de 50 estudiantes asociados de grado y posgrado. Los principales resultados de este proyecto fueron la conclusión de 30 tesis de grado y 18 de posgrado, la publicación de 103 artículos en revistas internacionales y 16 en revistas nacionales, así como de 1 libro y 5 capítulos en libros, 180 trabajos presentados en congresos arbitrados, 3 desarrollos tecnológicos y la presentación de 5 patentes nacionales. Estos resultados hicieron que la UNAM mejorara sustancialmente su impacto nacional e internacional en el campo de la catálisis ambiental tanto en ciencia básica como aplicada y en el desarrollo tecnológico.

Su línea de investigación actual se centra en las interacciones molécula/sustrato a través del estudio de las modificaciones de los modos vibracionales y estados electrónicos de las moléculas adsorbidas como de las variaciones de la respuesta plásmónica y estructura electrónica de los sustratos, origi-

nadas durante el proceso adsorptivo. Los principales proyectos dentro de esta línea son el estudio de la variación de la respuesta plasmónica por el ambiente químico de las nanopartículas, la preparación de sustratos nanoestructurados para la amplificación por superficie de señales espectroscópicas, y el estudio de las propiedades ópticas y magnéticas de ensambles de nanopartículas de oro y magnetita.

También, como parte de dicha línea de investigación, trabaja y coordina el proyecto “Desarrollo de plataformas analíticas potenciadas con nanosistemas para la detección selectiva y con sensibilidad amplificada de especies moleculares en medios complejos”, apoyado por la Red de Nanociencias del Conacyt, por el ICyTD y la actual SECITI del Distrito Federal, que tiene como principal objetivo el desarrollo de metodologías avanzadas para la detección selectiva de analitos de interés biomédico y ambiental insertados en matrices complejas.

Bajo su impulso, durante su periodo de director del CCADET, se crearon los Laboratorios Universitarios de Caracterización Espectroscópica (LUCE) y de Nanotecnología Ambiental (LUNA), siendo actualmente coordinador del primero de ellos.

Es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias; de la Sociedad Mexicana de Instrumentación; de la American Chemical Society, y de la American Association for the Advancement of Science.



## VII Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología

*Agua, energía y salud: protegiendo la vida*

*NyN por un uso racional, regulado y hacia la prevención*

► *Elena León*

Del 9 al 13 de junio de 2014, se llevó a cabo, en la ciudad de Pachuca, Hidalgo, el VII Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología, Nanomex, en el marco del Congreso Internacional Multidisciplinario de Nanociencias y Nanotecnología 2014. Al encuentro asistieron investigadores de distintas disciplinas, así como estudiantes de las universidades tecnológicas de esa entidad.

La participación de los jóvenes fue vasta, asistencia evaluada positivamente toda vez que el campo de acción de la nanociencia y la nanotecnología es diverso, además de que las previsiones en materia de riesgo son de suma importancia. El hecho de que los jóvenes puedan vislumbrar un campo de acción profesional, así como reconocer el contexto de aplicación de la NyN desde su etapa de formación, puede resultar acertado para el futuro. Afrontar los problemas de la NyN en esta etapa puede abonar a la parte crítica y creativa de los futuros nanocientíficos o nanotecnólogos. De esta manera, fue posible ofrecer una visión multi e interdisciplinaria; no sólo al presentar campos de aplicación en salud, alimentación, medio ambiente y energía, sino que al haber sido acompañada de la reflexión ética, abordada desde ejemplos de caso.

En el encuentro, participaron de parte de nanoUNAM, el Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico y el Centro de Nanociencias y

Nanotecnología. También: el gobierno del estado de Hidalgo, la Secretaría de Educación Pública del Estado de Hidalgo, el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, las universidades tecnológicas de Tula-Tepeji, Tulancingo y Pachuca, así como la Universidad Nacional Autónoma de México, la Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas, el Centro de Investigaciones en Óptica y Nanotech.

Previo a la sesión de conferencias se llevaron a cabo cursos y talleres. Los estudiantes pudieron tomar cursos sobre materiales nanoestructurados, películas delgadas, agricultura protegida sustentable y agronanotecnología, cómputo avanzado en investigación científica, así como un taller de electroquímica.

En esta edición, se presentaron siete conferencias, en las que participaron siete investigadores de distintas instituciones, dichas conferencias se desarrollaron de la siguiente manera: El Dr. Ricardo Hugo Lira, del Centro de Investigación en Química Aplicada, habló sobre los avances del uso de nanopartículas de cobre y óxido de zinc contra hongos y bacterias causantes de enfermedades en cultivos agrícolas y humanos. La Dra. Tessa María López Göerne, de la Universidad Autónoma Metropolitana, presentó su investigación sobre el uso de la nanomedicina como tratamiento para el pie diabético, indicó que se han podido evitar amputaciones. El Dr. Rodolfo Zanella Specia, del CCADET-UNAM, explicó el uso de nanocatalizadores monometálicos y bimetálicos para la producción fotocatalítica de hidrógeno y el abatimiento de la contaminación del aire y del agua. Por otro lado, el Dr. Sergio Fuentes Moyado, del CNYN-UNAM, indicó que el uso de nanocatalizadores puede disminuir la contaminación atmosférica. El Dr. Fabián



Grupo de estudiantes que participó en la 1ª Reunión de Estudiantes de Nanotecnología de las Universidades Tecnológicas en el marco de Nanomex'14.

Fernández Luqueño, del CINVESTAV, abordó el tema del impacto ambiental de la nanotecnología, denotando la importancia de establecer un compromiso social al trabajar en el campo de la NyN y tener en cuenta el manejo de residuos desde el momento de la investigación. En cuanto a la participación del Dr. Ariel Felipe Gómez, del Consejo de Estado Cubano, éste trazó un panorama sobre el abordaje cubano de la nanobiotecnología, detallando que un gran número de productos en el mercado están relacionados con el campo de la salud; se preguntó si los problemas sociales y económicos tienen que ser mucho más importantes que los problemas de riesgo. Por último, el Dr. Máximo López López, del Departamento de Física-CINVESTAV, abordó el tema de las nanoestructuras de semiconductores III-N, y también sobre el enfoque cubano hacia la bionanotecnología, misma que están viviendo como una nueva etapa de desarrollo científico para ese país; indicó que entre las aplicaciones que están teniendo

mayor relevancia se encuentran las áreas de las ciencias cognitivas, la aerodefensa, la industria automotriz, en la química de alimentos así como en la farmacéutica.

Por otra parte, hubo tres conferencias plenarias. La primera a cargo del Dr. José María Albella Martín, del Instituto Ciencias de Materiales de Madrid, en cuya conferencia *Funcionalización superficial de materiales para aplicaciones de alto valor añadido*, realizó una semblanza sobre las distintas técnicas de investigación en nanomateriales y sus aplicaciones, destacando la energía mecánica, los biomateriales y los sensores. La segunda conferencia estuvo a cargo del Dr. José Manuel de Cózar Escalante, de la Universidad de la Laguna España, quien habló sobre nanobiotecnología, y puntualizó la función de la filosofía como herramienta para el análisis conceptual y axiológico de la tecnología aplicada a situaciones reales, concluyó que se debe buscar un equilibrio entre los extremos científico-tecnófilo y el anticientífico-tecnóforo. La última

conferencia, de esta categoría, estuvo a cargo del Dr. Walsh Casey, del Department of Anthropology and Center for Nanotechnology in Society de la Universidad de California; problematizó el uso de la nanotecnología en el sector agua en México e indicó que más del 70% está contaminada, que más de mil 200 productos en el país tienen una base nanotecnológica; dentro de este contexto, señaló la importancia de prevenir la contaminación del agua y no depender del tratamiento de la misma, también indicó la necesidad de una regulación integral y urgente tanto para prevenir la contaminación de agua con nanomateriales como en el eventual uso de éstos para propósitos de remediación ambiental, en ese sentido habló del uso de la nanocatálisis.

La participación de los estudiantes también fue abundante, pues se desarrollaron dos sesiones de estudiantes de las universidades tecnológicas, así como el 1er Encuentro de los Egresados de la Maestría en Nanotecnología impartida en el CIMAV para las Universidades Tecnológicas.

Cabe destacar que la mayoría de las conferencias y charlas se dirigieron a la necesidad de prevenir los riesgos desde la formulación de cualquier aplicación en el laboratorio. Ya sea desde el cuidado en el manejo de los materiales de investigación, así como su escala hacia la aplicación de los mismos. Por otro lado, una gran parte de las presentaciones sobre los avances de investigación NyN se enfocó hacia la alimentación, donde los investigadores señalaron en todo momento que aún había desconocimiento de los efectos a largo plazo tanto en el cultivo, fertilización, fumigación y consumo de los alimentos; no obstante, consideraron que sería necesario abundar más en ello antes de llevarlo al consumo humano.

Es importante señalar que no sólo la protección de la vida y la salud humana se

hizo notoria en cada una de las presentaciones, sino también la de otras especies. Es el caso del uso de NPs, cobre óxido de zinc, zinc con plata para erradicar el hongo de los cultivos de tomate, o el uso de nanotubos como reguladores del crecimiento de las plantas, donde se detectó que el efecto es distinto en concentraciones pequeñas que en dosis altas, en las cuales se presenta un efecto negativo.

También fue señalada la necesidad de una normatividad para el trabajo dentro de los laboratorios, así como el uso de nanopartículas en la agricultura, ya que su uso en este campo puede tener alcances insospechados. Se aconsejó tener pies de plomo en cuanto a alimentos se refiere, sobre todo en el uso de titanio y óxido de titanio; aunque, por otro lado, se habló del papel que podría jugar NyN en el problema de la seguridad alimentaria.

En este tema, se propusieron 10 *mandamientos* para el sector agrícola:

1. Armonizar una legislación internacional: ¿se debe cambiar la normativa actual relacionada con los alimentos?
2. Validar y estandarizar.
3. No regular tecnologías, sino productos individuales. No generalizar.
4. Establecer la toxicología y biodisponibilidad de cada tipo de nanocompuesto (establecer dosis límite).
5. Realizar estudios *in vitro* e *in vivo* para evidenciar la efectividad de las propiedades del funcionamiento.
6. Conocer el comportamiento de agregación de cada NP en la matriz alimentaria.
7. Conocer las posibles variaciones en el estado fisicoquímico de la partícula.
8. Determinar la posible migración de las nanopartículas que formen parte de los envases alimentarios hacia los elementos envasados.
9. Homogeneizar de forma clara y universal los pasos que se deben dar para comercializar un nanoalimento.

10. Si un nanonacimiento no produce riesgo en la salud es absolutamente necesario etiquetar este producto, como se hace con los alimentos convencionales.

En el mismo sentido de la prevención y el uso de la NyN se cuestionó la aplicación a distintos campos desde la perspectiva ética, entre ellos, se señaló la investigación militar, la seguridad nacional, el espionaje, así como aquellos temas que sólo tienen un interés económico. Al respecto se lanzaron preguntas tales como: ¿puede ser la innovación responsable?, ¿de qué manera?, y, ¿a quién deben pedirse cuentas si una aplicación sale mal?

Este Encuentro fue el contexto en que el consorcio Nanomex entregó por primera vez dos reconocimientos por trayectoria y aportes al desarrollo de la nanociencia y la nanotec-

nología, mismos que se otorgaron al Dr. Sergio Fuentes Moyado y al Dr. José Manuel Saniger Blesa, quienes han tenido una participación importante en el campo de NyN.

La clausura se llevó a cabo el viernes 13 de junio con los representantes de los equipos coordinadores de la Universidad Tecnológica de Tula, el Comité Académico (CEIICH-UNAM, CIO, CCADET-UNAM), la Universidad de Tulancingo y la Universidad Politécnica de Pachuca. Se conminó a los participantes a continuar participando en este evento en su siguiente edición, pues es un espacio ideal para la interacción entre los hacedores de ciencia básica y avanzada, tecnólogos, empresarios, tomadores de decisiones, los estudiantes que comienzan su formación o que están realizando estudios de posgrado, y con el público en general.

## Pulsos de luz controlan el comportamiento eléctrico del grafeno

*El hallazgo podría permitir la conmutación ultrarrápida de la conducción, y posiblemente llevar a nuevos sensores de luz de banda ancha.*

► David L. Chandler

**31 DE JULIO DE 2014** ► El grafeno, una forma ultrafina de carbono con propiedades eléctricas, ópticas, y mecánicas excepcionales, se ha convertido en un tema de investigación en una variedad de usos potenciales. Ahora, los investigadores del MIT han encontrado una manera de controlar la forma en que el material conduce la electricidad mediante el uso de pulsos de luz muy cortos, que podrían permitir su empleo como un detector de luz de banda ancha.

Los nuevos hallazgos aparecen publicados en la revista *Physical Review Letters*, en un artículo del estudiante graduado Alex Frenzel, Nuh Gedik, y otras tres personas.

Los investigadores encontraron que, controlando la concentración de electrones en una hoja de grafeno, podían cambiar la forma en que el material responde a un pulso de luz corto pero intenso. Si la hoja de grafeno comienza con baja concentración de electrones, el pulso aumenta la conductividad eléctrica del material. Este comportamiento es similar al de los semiconductores tradicionales, tales como el silicio y el germanio.

Pero si el grafeno comienza con una alta concentración de electrones, el pulso disminuye su conductividad —de la misma manera que generalmente se comporta un metal. Por lo tanto, mediante la modulación de la concentración de electrones del grafeno, los investigadores hallaron que podían alterar

efectivamente las propiedades fotoconductoras del grafeno de ser tipo semiconductor a ser tipo metálico.

El hallazgo también explica la fotorrespuesta del grafeno, la cual ha sido reportada anteriormente por diferentes grupos de investigación, al estudiar muestras de grafeno con diferente concentración de electrones. “Hemos sido capaces de ajustar el número de electrones en el grafeno, y obtenemos la respuesta que sea”, dice Frenzel.

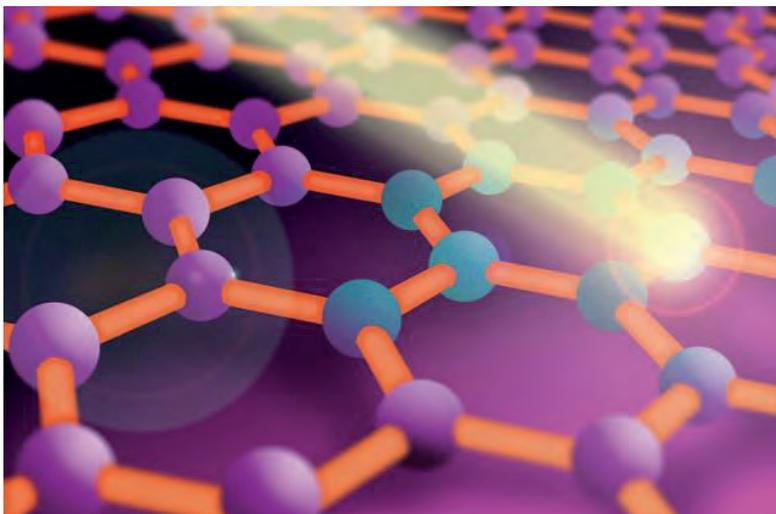
Para realizar este estudio, el equipo deposita grafeno en la parte superior de una capa aislante con una película metálica delgada debajo de ella; mediante la aplicación de un voltaje entre el grafeno y el electrodo del fondo, la concentración de electrones del grafeno puede ser sintonizada. Luego, los investigadores iluminaron el grafeno con un fuerte pulso de luz y midieron el cambio de la conducción eléctrica mediante la evaluación de la transmisión de un segundo pulso de luz de baja frecuencia.

En un hallazgo sorprendente, el equipo descubrió que parte de la reducción de conductividad a alta concentración de electrones

se deriva de una característica única del grafeno: sus electrones viajan a una velocidad constante, de forma similar a los fotones, lo cual hace que la conductividad disminuya cuando la temperatura de los electrones aumenta debido a la iluminación con el pulso de láser. “Nuestro experimento revela que la causa de la fotoconductividad en el grafeno es muy diferente a la de un metal normal o a la de los semiconductores,” dice Frenzel.

Los investigadores dicen que el trabajo podría ayudar al desarrollo de nuevos detectores de luz con tiempos de respuesta ultrarápidos y de alta sensibilidad en un amplio rango de frecuencias de luz, desde el infrarrojo al ultravioleta. Mientras que el material es sensible a una amplia gama de frecuencias, el porcentaje real de luz absorbida es pequeña. Por lo tanto, la aplicación práctica de un detector de este tipo requeriría aumentar la eficiencia de absorción, por ejemplo, utilizando múltiples capas de grafeno, dice Gedik.

**Fuente:** Traducido de *MIT News Office*  
<<https://newsoffice.mit.edu/2014/light-pulses-control-graphene-electrical-behavior-0801>>



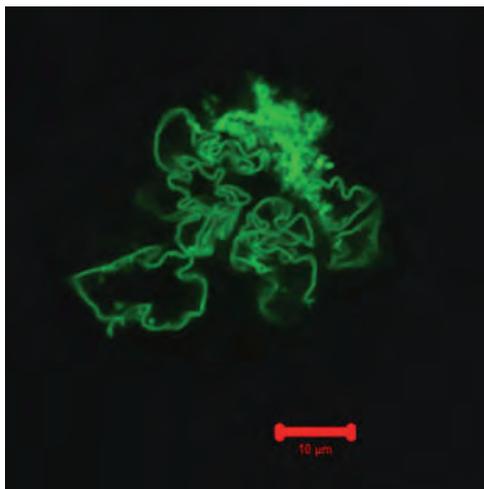
## Químicos crean nanofibras utilizando un nuevo método, reminiscente de las fibras que se encuentran en las células vivas

► *Science Daily*

**31 DE JULIO DE 2014** ► Investigadores de la Universidad Carnegie Mellon han desarrollado un nuevo método para crear nanoestructuras de proteína/polímero autoensambladas reminiscentes a las fibras que se encuentran en las células vivas. El trabajo ofrece una nueva manera prometedora para fabricar materiales para la administración de fármacos y aplicaciones de ingeniería de tejidos. Los hallazgos fueron publicados en la edición del 28 de julio de la revista *Angewandte Chemie International Edition*.

“Hemos demostrado que, mediante la adición de enlazadores flexibles a las moléculas de proteína, podemos formar tipos de agregados completamente nuevos”. Estos agregados pueden actuar como material estructural en el que se pueden colocar diferentes cargas útiles, como las drogas.

Los bloques de construcción de las fibras son unas cuantas moléculas modificadas de proteína verde fluorescente (GFP) unidas entre sí mediante un proceso llamado química de click. Una molécula de GFP ordinaria normalmente no se une con otras moléculas GFP para formar fibras. Pero cuando los investigadores de Carnegie Mellon modificaron las moléculas de GFP agregándoles enlazadores PEO-di-alcanos, notaron algo extraño: las moléculas GFP parecían autoensamblarse para formar fibras largas. Es importante destacar que las fibras se desmontaban después de estar expuestas a ondas sonoras, y luego se volvían a autoensamblar a los pocos días. Los sistemas que presentan



este tipo de autoensamblaje fibroso reversible han sido ampliamente buscados por los científicos para su uso en aplicaciones tales como la ingeniería de tejidos, administración de fármacos, nanorreactores y de formación de imágenes.

El equipo de investigación observó las fibras mediante microscopía óptica confocal, confirmó su ensamblaje utilizando dispersión dinámica de la luz y estudió su morfología mediante microscopía de fuerza atómica (AFM). También observaron que las fibras eran fluorescentes, lo que indica que las moléculas GFP conservan su estructura 3-D mientras están unidas entre sí.

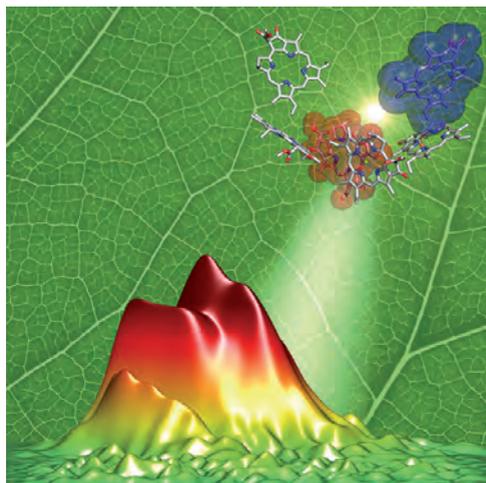
**Fuente:** Traducido de *Science Daily*  
<<http://www.sciencedaily.com/releases/2014/07/1407311150049.htm>>

## Vibraciones resonantes disparan transferencia de carga en la fotosíntesis

► Meg Marquardt

**21 DE JULIO DE 2014** ► La fotosíntesis es la reacción química más importante del planeta. Es el proceso por el cual las plantas crecen, y, a su vez, le da al resto de los seres vivos oxígeno para respirar. Para los científicos de materiales, la fotosíntesis es un modelo para la energía solar. Sin embargo, todavía es un misterio entender cómo funciona la reacción a nivel molecular en plantas. Un nuevo estudio publicado en *Nature Chemistry* podría determinar cómo funciona la transferencia de electrones en las plantas, lo que podría conducir a celdas solares más eficientes.

Los científicos han sabido desde hace tiempo que la fotosíntesis es impulsada por la transferencia de electrones y que este proceso implica vibraciones, dice Jennifer Ogilvie, profesora asociada de física y biofísica de la Universidad de Michigan. Cuando la luz del sol llega a una planta, los electrones en los pigmentos de clorofila saltan a un estado excitado. Esta excitación se transfiere a las moléculas vecinas de clorofila hasta que se alcanza un arreglo especial de clorofila y pigmentos de feofitina en el centro de reacción. En el centro de reacción, las vibraciones en los pigmentos excitados pueden hacer que los electrones queden libres. Estos electrones son donados a pigmentos vecinos y generan una separación de la carga, al igual que en una batería. La energía almacenada en esta separación de carga se puede usar para el si-



guiente paso en la cadena de producción de energía.

Las celdas solares funcionan con el mismo principio básico de los sistemas dador-aceptor, pero son mucho menos eficientes. Un problema importante que se enfrenta es que aunque pueden separar la carga, a menudo la energía se pierde antes de que pueda ser capturada. En la fotosíntesis, cerca del 95% de las veces, la energía de la luz se convierte con éxito en la separación de carga. Averiguar cómo funciona tan eficiente la separación de cargas en las plantas podría ayudar en un mejor diseño de fuentes de energía limpia.

**Fuente:** Traducido de *Materials Research Society*  
<<http://www.materials360online.com/newsDetails/47513;jsessionid=87FFFD8B65B18101B8C62449F5DFE9F6>>

## Bosques de nanotubos pueden cosechar agua del aire

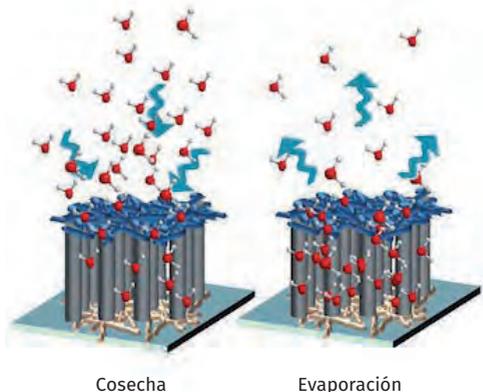
► Rachel Nuwer

**23 DE JUNIO DE 2014** ► Adaptaciones de organismos biológicos, comportamientos y estrategias de supervivencia suelen inspirar a los científicos en diversos campos que van desde la medicina a la robótica y la física. La ciencia de los materiales no es una excepción, como mostró recientemente un equipo de la Universidad de Rice. Esos investigadores recurrieron a un candidato poco probable para la orientación experimental: el escarabajo *Stenocara* del desierto de Namibia.

Varios lugares en el caparazón de los escarabajos atraen o repelen las partículas de agua, obligando a las gotitas de agua a caer en hendiduras altamente organizadas en la espalda del escarabajo. Estos valles canalizan el líquido vital a la boca del insecto. El escarabajo no depende de la lluvia, sino que cosecha la humedad directamente del aire, que le permite sobrevivir en el ambiente desértico y seco.

El estudiante de posgrado Sehmus Ozden tropezó con este organismo en un curso de ingeniería biomimética que tomó en la Universidad de Rice. Los estudiantes se encargaron de elegir un animal y luego identificar qué estructuras del cuerpo de ese animal o rasgos de comportamiento se reflejan en la ciencia, la tecnología, la arquitectura, o alguna otra faceta de la sociedad humana. Cuando Ozden se tropezó con el escarabajo *Stenocara*, pensó que las adaptaciones únicas de insectos podrían ofrecer algo más que un buen forraje para su presentación de fin de semestre.

Los profesores de Ozden estuvieron de acuerdo, y el equipo decidió tratar de construir un sistema equivalente de recolección de agua en el laboratorio. En primer lugar, se



creó un sencillo bosque de nanotubos con un espesor de aproximadamente 1 cm. Trataban la parte superior de la selva con un polímero hidrófilo, y luego hicieron lo mismo con la parte inferior de la selva, pero con otro polímero que fue hidrofóbico.

Los polímeros hidrófilos atraen las gotitas de agua en el aire, atrapadas luego en los espacios entre los nanotubos como el agua en una esponja. La capa hidrofoba impide que la humedad se escape desde el otro lado. Básicamente, el bosque de nanotubos es una trampa de agua. En vez de evaporarse, algunas de las moléculas de agua que golpean la capa superior hidrófila van dentro de ese bosque.

En las pruebas iniciales descritas en *Applied Materials and Interfaces*, el bosque de nanotubos fue capaz de capturar alrededor del 80 por ciento de su peso en agua en condiciones húmedas, y una cuarta parte de su peso en agua en condiciones muy secas. El equipo podría extraer el agua captada simplemente apretando el material esponjoso.

**Fuente:** Traducido de *Materials Research Society*  
<http://www.materials360online.com/newsDetails/46993;jsessionid=5A79AFEBE94C487408889D8474CE3200>

## Mediciones en los imanes más pequeños posibles

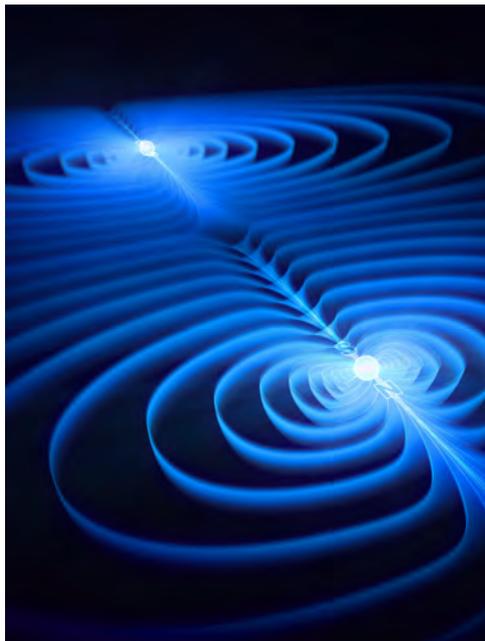
**28 DE JUNIO DE 2014** ▶ Imagínese tratando de medir una pelota de tenis que rebota violentamente, cada vez, a una distancia un millón de veces su propio tamaño. El rebote obviamente crea un enorme “ruido de fondo” que interfiere con la medición. Pero si se une la pelota directamente con el dispositivo de medición, por lo que rebota en conjunto, se puede eliminar el problema de ruido.

Como se informó recientemente en la revista *Nature*, los físicos del Instituto Weizmann de Ciencia utilizan un truco similar para medir la interacción entre los más pequeños imanes posibles —dos electrones individuales— después de neutralizar el ruido magnético que era un millón de veces más fuerte que la señal que necesitaban para detectar.

El Dr. Roei Ozeri, del Departamento de Física de Sistemas Complejos del Instituto, dice: “El electrón tiene espín, una forma de orientación con la participación de dos polos magnéticos opuestos. De hecho, se trata de una pequeña barra magnética. La pregunta es si los pares de electrones se comportan como imanes de barra regulares en las que los polos opuestos se atraen entre sí”.

La detección de la interacción magnética de dos electrones plantea un enorme desafío: cuando los electrones se encuentran en un rango cercano —ya que normalmente se encuentran en una órbita atómica— fuerzas distintas a la magnética prevalecen. Por otro lado, si los electrones se separan, la fuerza magnética se hace dominante, pero tan débil en términos absolutos que es fácilmente ahogada por el ruido magnético que proviene del equipo de laboratorio y el campo magnético de la Tierra.

Los científicos han vencido el problema pidiendo prestado un truco de la compu-



tación cuántica, que protege la información cuántica de la interferencia externa. Esta técnica une dos electrones juntos para que sus espines apunten en direcciones opuestas. Por lo tanto, como la pelota de tenis de rebote conectada al dispositivo de medición, la combinación de giros iguales pero opuestos hace que el par de electrones sea impenetrable por el ruido magnético.

Los científicos del Weizmann construyeron una trampa eléctrica en la que dos electrones están ligados a dos iones de estroncio enfriados cerca del cero absoluto y separados por 2 micrómetros (millonésimas de metro). A esta distancia, astronómica para los estándares del mundo cuántico, la interacción magnética es muy débil. Pero debido a que los pares de electrones no se vieron afectados por el ruido magnético externo, las interacciones entre ellos se podrían medir con gran

precisión. La medida se prolongó durante 15 segundos —decenas de miles de veces más que los milisegundos durante los cuales los científicos, hasta ahora, han sido capaces de conservar los datos cuánticos.

Las mediciones mostraron que los electrones interactúan magnéticamente al igual que dos grandes imanes lo hacen: sus polos norte se repelen entre sí, girando sobre su eje hasta que sus polos opuestos se acercan.

## Incertidumbres de la nanotecnología vistas desde el sector de seguros: Zurich

**MARZO DE 2014** ► Al tiempo que la nanotecnología evoluciona y las aplicaciones se expanden, también lo hacen los riesgos potenciales, advierte la aseguradora Zurich. Y es que, por ejemplo, las nanopartículas son tan pequeñas que pueden ser inhaladas, se tragan y se absorben por la piel. “Las nanopartículas muestran una gran cantidad de cualidades extrañas y aún no saben nada acerca de los efectos a largo plazo si, por caso, se han acumulado en el cuerpo o conglomerado en partículas más grandes,” dijo Ian Precio de Zurich.

Luego está la posibilidad del caballo de Troya, donde, incluso si las propias nanopartículas son inofensivas, debido a su pequeño tamaño podrían disfrazarse o ayudar a la migración de otras partículas que contengan toxinas traspasando la defensa natural de un cuerpo humano, y luego podrían acumularse en órganos vitales. Estas tendencias, muchas de las cuales son hasta el momento no cuantificables desde el punto de vista de la industria de los seguros, significan que muchos de los riesgos asociados con la nanotecnología aún no son evidentes. Los principales riesgos para la industria aseguradora respecto a la nanotecnología se centran principalmente en la responsabilidad sobre los trabajadores y

Además de revelar un principio fundamental de la física de partículas, el enfoque de medición puede resultar útil en áreas tales como el desarrollo de relojes atómicos o el estudio de sistemas cuánticos en un entorno ruidoso.

**Fuente:** Traducido de *Weizmann Institute of Technology*  
<[http://wis-wander.weizmann.ac.il/measuring-the-smallest-magnets#.U-FvY\\_ldVuF](http://wis-wander.weizmann.ac.il/measuring-the-smallest-magnets#.U-FvY_ldVuF)>



el producto, el deterioro del medio ambiente y las responsabilidades de directores y oficiales.

A pesar de todos los temores, al igual que con la mayoría de las tecnologías emergentes se espera que haya un periodo de aumento de “dolores” en el desarrollo de lo nano antes de que los riesgos sean totalmente cuantificados y la nanotecnología puedan comenzar, finalmente, a justificar el entusiasmo que la rodea —con novedades interesantes que se esperan de los campos de la medicina y la electrónica.

“Uno de los problemas es la mística que rodea a la nanotecnología, y que la gente piense que es muy complicada, pero como con todas las nuevas tecnologías, nosotros, como industria, tenemos que obtener una comprensión de los procesos que intervienen para poder evaluar el impacto”, dijo Ian de Zurich. “Puede haber riesgos, pero también hay beneficios”.

Aseguradoras y expertos en riesgos en Zurich estarán monitoreando esta área con gran interés, pero, por ahora, sólo se da seguimiento.

**Fuente:**  
<<http://insider.zurich.co.uk/industry-talking-point/unknown-risks-nanotechnology/>>

## Nanoburbujas de vapor detectan rápidamente la malaria a través de la piel

► *Jade Boyd*

**30 DE DICIEMBRE DE 2013** ► Una nueva tecnología no invasiva ha sido desarrollada por investigadores de la Universidad de Rice en Houston EUA, cuya función es detectar niveles bajos de infección de malaria en la piel de entre una prueba de 1 millón de células.

Esta tecnología utiliza un láser para crear nanoburbujas dentro de las células que son infectadas por la malaria, que a su vez tienen una acústica específica que permite el diagnóstico incluso sin tomar muestras de sangre. Esto, a su vez, propicia que no sea

personal calificado el que pueda usar la tecnología reduciendo así los costos ya que es un solo dispositivo el que se usa.

La malaria es considerada una de las enfermedades más letales del mundo con una tasa de mortandad de 600 mil personas al año. Los mismos esfuerzos por su tratamiento se han vuelto difíciles debido a la resistencia de la enfermedad, y, en muchos casos, su diagnóstico se torna más difícil en los países donde hay más afectados.

**Fuente:**

<<http://news.rice.edu/2013/12/30/vapor-nanobubbles-rapidly-detect-malaria-through-the-skin-2/>>

## Nanotubos de carbono recubiertos con TNT podrían generar en un futuro electricidad

► *Jamie Condliffe*

**28 DE AGOSTO 2014** ► Michael Strano del MIT creó un hilo de nanotubos de carbono que fueron recubiertos a su vez por TNT, cuando encendió con un láser de forma controlada un lado, el hilo ardió brillantemente. Potencialmente lo pensó como un nuevo modo de crear electricidad, pero en su tiempo fue ineficaz.

Actualmente, Strano ha trabajado en la forma en la que arde ese hilo e intentar que sea mucho más eficiente. Él mismo explica el proceso:

[...] El modo convencional para generar electricidad por la quema de un combustible es utilizar calor para causar la expansión de los gases para accionar una

turbina o un pistón. En el sistema de Strano, el combustible se quema a lo largo de los nanotubos, la onda de combustión impulsa electrones por delante creando una corriente eléctrica. Es una forma mucho más directa y eficiente de generar electricidad, ya que no hay turbinas o generadores convencionales.

Esta tecnología tiene futuro en generadores portátiles, sin embargo, el grado de eficiencia todavía queda por probarse, pues produce eficientemente sólo 0.1% de la energía, mientras que la mayoría de los generadores va del 25% al 60%. Así, todavía le queda por ver la luz del día a esta tecnología.

**Fuente:** Traducido de *Technology Review*

<<http://www.technologyreview.com/news/530346/progress-on-a-powerful-new-way-to-generate-electricity/>>

## Se ataca el cáncer con una “triple amenaza”

*Químicos del MIT diseñan nanopartículas que pueden liberar tres medicinas contra el cáncer al mismo tiempo*

► Anne Trafton

**16 DE ABRIL DE 2014** ► Una nueva forma de liberar medicamentos en forma de nanopartículas podría ayudar a reducir los efectos de los tratamientos como quimioterapia en contra del cáncer, debido a que los medicamentos irían directamente contra los tumores.

Químicos del MIT han diseñado unas nanopartículas que pueden transportar tres o más fármacos diferentes y que vayan directo al tumor.

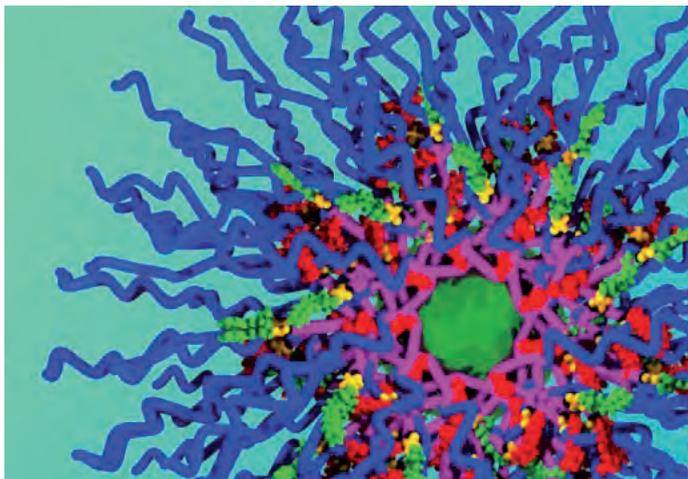
En pruebas contra el cáncer de ovario las

nanopartículas han demostrado que son más eficaces en matar las células cancerígenas.

Previamente, los medicamentos fijaban las moléculas de los fármacos u otras que lo hacían químicamente. Sin embargo, el profesor Jeremiah Johnson del MIT intenta superar estas limitantes. Se pretende que en un futuro las nanopartículas puedan cargar un número indeterminado de medicamentos.

**Fuente:**

<<http://newsoffice.mit.edu/2014/nanoparticles-can-deliver-three-cancer-drugs-at-once-0415>>



Las nanopartículas consisten en cadenas de polímero (azul) y tres moléculas de fármacos diferentes —doxorubicina es de color rojo, las pequeñas partículas verdes son camptotecina, y el núcleo verde más grande contiene cisplatino. Imagen cortesía de Jeremiah Johnson.

## Nanopartículas regulan la expresión génica

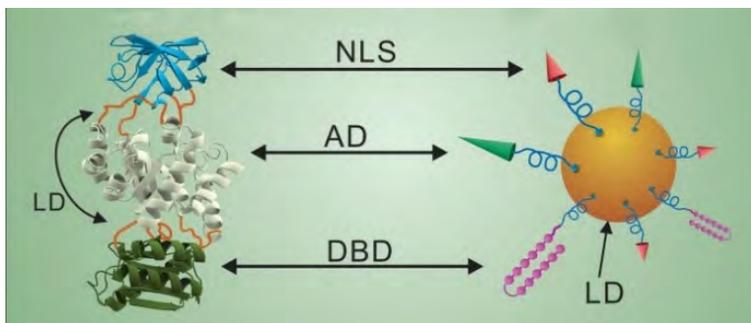
► *Katherine Bourzac*

**9 DE MARZO DE 2014** ► Investigadores de la Universidad de Rutgers, Piscataway, EUA, decoraron partículas de oro con péptidos y poliamidas para otorgarles todas las funciones naturales de los factores de transcripción de genes reguladores. Éstos se usan para programar células madre para crear tejidos específicos o revertir células a estados anteriores del desarrollo.

El desarrollo de los llamados NanoScripts se enfoca a programar células madre para crear nuevos tejido en el laboratorio, la clave se encuentra en controlar la expresión.

**Fuente:**

<[http://cen.acs.org/articles/92/web/2014/09/Nanoparticles-Regulate-Gene-Expression.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+cen\\_latestnews+%28Chemical+%26+Engineering+News%3A+Latest+News%29](http://cen.acs.org/articles/92/web/2014/09/Nanoparticles-Regulate-Gene-Expression.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+cen_latestnews+%28Chemical+%26+Engineering+News%3A+Latest+News%29)>



**Factor de transcripción sintético**

Nuevas nanopartículas llamadas NanoScripts (derecha) imitan las funciones principales de factores de transcripción naturales (izquierda). Un péptido sobre las partículas (cono rojo) sirve como una señal de localización nuclear (NLS). Un segundo péptido (cono verde) desempeña el papel de un dominio de activación (AD) que recluta a la maquinaria de transcripción de la célula para un cromosoma. Una poliamida (rosa) actúa como un dominio de unión al ADN (DBD) de un gen diana. Y la nanopartícula de oro (amarillo), similar al dominio de unión (LD) de una proteína natural, contiene todos los componentes funcionales juntos.

## Nanopartículas magnéticas inmersas en plástico son resistentes al estudio de degradación de las articulaciones artificiales

*Una profesora de química de la Universidad de Case Western Reserve ha comenzado a incrustar nanopartículas magnéticas en el más duro de los plásticos —el polietileno de ultra alto peso molecular— para entender por qué más de 40 mil estadounidenses deben reemplazar sus prótesis de rodilla y cadera al año*

► [azozano.com](http://azozano.com)

**2 DE MAYO DE 2014** ► La investigación de la profesora Anna C. Samia muestra cómo se da el desgaste de las estructuras de los implantes en el cuerpo como las prótesis de rodilla o cadera. Asimismo, se arrojan resultados del debilitamiento de las propiedades del plástico una vez que se introducen nanopartículas magnéticas a base de óxido de hierro. Con ello se simula el envejecimiento causado por la edad en los implantes.

El objetivo de la investigación es proporcionar información a los fabricantes de prótesis para hacerlas más resistentes al “medio ambiente” interior y evitar la degradación de los materiales. Pero la investigadora va más allá, comenta que los resultados, métodos y tecnologías desarrollados bajo este proceso serán de utilidad para órganos artificiales, electrodos y otros implantes que se degradan dentro del cuerpo humano.

Fuente:

<<http://www.azonano.com/news.aspx?newsID=26521>>

## Magnetos se unen a la carrera por reemplazar transistores en las computadoras

► *Paul Marks*

**8 DE JULIO DE 2014** ► Una nueva tecnología basada en nanomagnetos quiere cambiar la forma en cómo se fabrican los microchips hoy día. Usualmente, una computadora representa mediante voltaje los 0's y 1's a través de un transistor. Los magnetos pueden hacer esto mismo cuando cambian su orientación polar, con ello no necesitan de un cable por donde pasar la información y al mismo tiempo ocupan menos energía.

La parte fundamental de este proceso, es

crear un campo electromagnético alrededor del chip pero no sólo en capas, sino que sea un chip tridimensional. Esto, a su vez, modificaría el número de procesos que se pueden hacer al mismo tiempo con una cantidad de energía dada. Esta tecnología se suma a la lista de aquellos que intentan reemplazar ya a los chips y tecnología basada en el silicón.

Fuente:

<<http://www.newscientist.com/article/mg22329812.800-magnets-join-race-to-replace-transistors-in-computers.html#VA3SOVdP06V>>

## Plata, demasiado pequeña para ver, pero donde quiera que mires

► *Deborah Blum*

**13 DE MAYO DE 2014** ► La Dra. Lobo, hace mucho, reusó un tratamiento de antibióticos ante una infección causada por la picadura de un mosquito que derivó en una herida que no lograba sanar y decidió probar un nuevo método de vendajes con fibras microscópicas, y así ser insertadas en la herida para estimular nuevo tejido.

En su momento, las vendas no fueron aprobadas para uso médico, sin embargo, la Dra. Lobo fue el primer sujeto de pruebas humano, y, con ello, estos vendajes con infusión de plata no sólo regeneraron tejido, sino desaparecieron la infección.

Esta noticia no es del todo nueva, pues la plata se utilizaba con anterioridad para el tratamiento de las infecciones, no obstante, la misma forma se aplica con nueva tecnología. El desarrollo no es visto con buenos ojos por algunos actores debido al desconocimiento de sus potenciales implicaciones a la salud y el medio ambiente. Esta preocupación se suma a la derivada del uso de nano-

partículas de plata en varios artículos de uso diario como ropa deportiva, juguetes de peluche o ropa de cama por nombrar algunos. Y es que no se conocen las consecuencias de usarlos a largo plazo, pero los riesgos potenciales van desde daño al medio ambiente como un daño a nivel celular en los humanos, ya que las nanopartículas de plata bien pueden cruzar la barrera sangre-cerebro. Pese a tales observaciones, la Dra. Lobo precisa que no hay pruebas de que las nanopartículas de plata puedan penetrar las membranas plasmáticas y alterar la función celular.

En todo caso, es cierto que varias agencias gubernamentales en EUA están intentando regular no sólo a las compañías que sacan al mercado productos con estas nanopartículas, sino que por el momento no salgan al mercado mientras no se estudien los efectos en el medio ambiente.

**Fuente:**

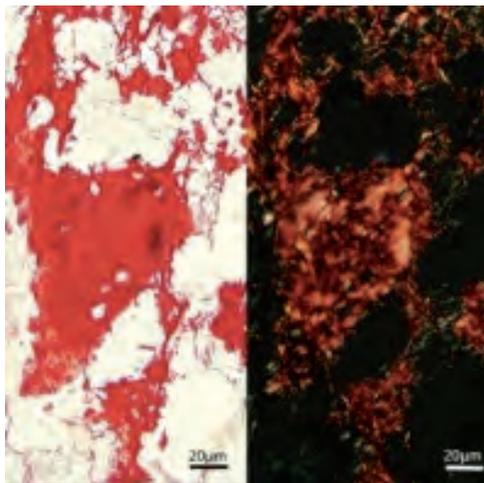
<[http://well.blogs.nytimes.com/2014/05/23/silver-too-small-to-see-but-everywhere-you-look/?\\_php=true&\\_type=blogs&\\_php=true&\\_type=blogs&\\_php=true&\\_type=blogs&smid=nytnow-share&smprod=nytnow&\\_r=2](http://well.blogs.nytimes.com/2014/05/23/silver-too-small-to-see-but-everywhere-you-look/?_php=true&_type=blogs&_php=true&_type=blogs&_php=true&_type=blogs&smid=nytnow-share&smprod=nytnow&_r=2)>

## Nanoingeniería avanza en materiales de formación de hueso

► *Murdoch University*

**16 DE SEPTIEMBRE DE 2014** ► El doctor Eddy Poinern y su equipo de investigación en la Universidad de Murdoch diseñaron materiales sintéticos que ayudan a la formación de hueso, esto por el momento con animales bovinos. Sin embargo, a su vez, significa un paso más al uso de implantes con seres humanos.

La “hidroxiapatita” (HAP) en su forma de polvo de cerámica ya se usa desde implantes en hombros de ovejas hasta el aumento de hueso en odontología en los humanos. El uso y el estudio del HAP es importante para la biomedicina y sobre todo, aquella relacionada con el hueso y sus posibles aplicaciones como injertos y también debido a su bajo costo de producción en forma de pastillas, pero aún más, dada su capacidad de ser moldeado, al polvo mismo se le puede dar forma en 3D para después endu-recerlo, lo que hace de este material un propicio para el diseño de implante óseo.



Matriz de nuevo hueso formado con pelets implantados de nanohueso. A la izquierda entintada en rojo y a la derecha vista bajo luz polarizada.

**Fuente:**

<<http://media.murdoch.edu.au/nano-engineering-advances-bone-forming-material>>

## MIT y el Tecnológico de Monterrey establecen programa en nanociencias y nanotecnología

**31 DE OCTUBRE DE 2014** ▶ El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y el Tecnológico de Monterrey han establecido un acuerdo formal para otorgar becas y estancias de investigación en laboratorios del MIT en la investigación de nanociencias y nanotecnología.

El presidente del TEC de Monterrey expresó: “Nuestro objetivo es educar líderes empresariales con la capacidad y la motivación de resolver los grandes retos de la humanidad”. Con ello, se da paso a estancias para alumnos de pregrado, posgrado y pos-

doctorales directamente en laboratorios del MIT.

Al mismo tiempo, el MIT construye una nueva instalación, el MIT.nano, en donde se facilitarán recursos para estudios en campos como: energía, salud, ciencias cuánticas, tecnología y electrónica, entre otras.

El acuerdo tendrá vigencia a largo plazo, y se espera que sea a partir del verano del 2015 cuando comiencen las estancias.

**Fuente:** MIT, Desarrollo de Recursos  
<<http://newsoffice.mit.edu/2014/mit-tecnologico-de-monterrey-nanotech-nanoscience-program-1031>>



De izquierda a derecha: Eduardo Medina Mora, embajador de México en los Estados Unidos; Salvador Alva, presidente del Tecnológico de Monterrey; L. Rafael Reif, presidente del MIT, y José Antonio Fernández Carbajal, presidente del Consejo de Administración en el Tecnológico de Monterrey. (Foto: Dominick Reuter).

## Se describe el tamaño de partícula óptima para nanomedicina contra el cáncer

► *Universidad de Illinois, Facultad de Ingeniería*

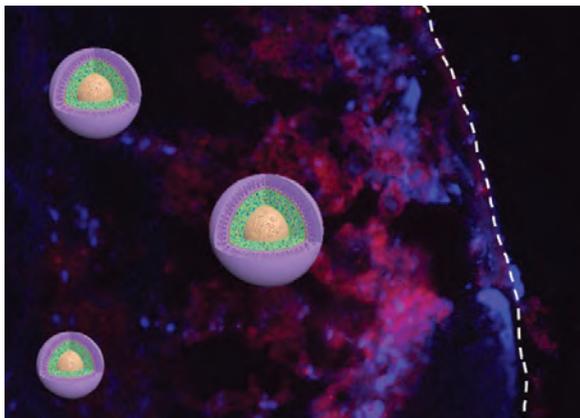
**15 DE OCTUBRE DE 2014** ► Una nueva generación de medicamentos para el tratamiento del cáncer se desarrolla teniendo en mente sus propiedades fisicoquímicas, en especial el tamaño de la nanopartícula.

El profesor Jianjun Chen de la Universidad de Illinois junto con sus colaboradores evaluaron los perfiles de nanopartículas de 20, 50 y 200 nanómetros, siendo los tamaños entre 100 y 200 nm hasta ahora los más usados para el tratamiento contra el cáncer.

Estudios recientes muestran que las partículas de 50nm han mostrado un mejor desempeño junto a una mayor penetración. En las últimas décadas se ha estudiado no sólo el funcionamiento de la misma nanopartícula, sino también su biodistribución, por lo cual, el tamaño juega un papel importante contra los tumores primarios y metastásicos dando ya resultados en pruebas, y en algunos casos inhibiendo ciertos tipos de cáncer como el de mama humano y metástasis en animales.

**Fuente:**

<<http://www.sciencedaily.com/releases/2014/10/141015165605.htm>>



La nanomedicina (rojo) con el tamaño óptimo muestra la retención de tejido tumoral más alta (azul) integrado en el tiempo, que es el resultado colectivo de penetración en el tejido del tumor profundo, la internalización celular de cáncer eficiente, así como el aclaramiento lento del tumor. (Imagen cortesía de la Universidad de Illinois Facultad de Ingeniería).

## Nanodispositivo supersensible de detección temprana de cáncer

► *Universidad de Alabama en Huntsville*

**29 DE SEPTIEMBRE DE 2014** ► El Dr. Yongbin Lin, del Centro Nano y Micro Devices de la Universidad de Alabama en Huntsville, ha trabajado alrededor de cinco años en un nanodispositivo para la detección temprana de cáncer, el cual, una vez que esté todo integrado en sus componentes, podría tener el tamaño de una lonchera.

El dispositivo es capaz de detectar cáncer a nivel celular, incluso en una etapa muy temprana cuando es más sencillo de tratar. Cuando hay cáncer, los niveles de interleucina-6 aumentan y esto es detectado por el dispositivo.

Al mismo tiempo, se trabaja en pruebas para indicadores de cáncer de próstata y de otros tipos, en este caso, el dispositivo tiene que ser calibrado, incluso para detectar otros patógenos como el ébola, dando resultados sin necesidad de análisis de laboratorio.

Las promesas de dispositivos como éste son particularmente alentadoras, “es medicina personalizada” afirman sus desarrolladores.

**Fuente:**

<<http://www.sciencedaily.com/releases/2014/09/140929090253.htm>>



Dr. Yongbin Lin y Savannah Kaye (al frente) y Taylor Bono y Molly Sanders (al fondo de izquierda a derecha) discuten el sensor nanosonda supersensible que han venido desarrollando en un laboratorio en el Edificio de Óptica UAH. (Foto: cortesía de Michael Mercier | UAH.)

## Crean consorcio para explotar tierras raras

*Tienen propiedades eléctricas, magnéticas y electrónicas excepcionales*

► Patricia López

**10 DE ABRIL DE 2014** ► Las tierras raras constituyen un grupo de propiedades eléctricas magnéticas y electrónicas fundamentales para la sustentabilidad energética del futuro.

El proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y la comisión de la Cámara de Diputados dan paso a la búsqueda y explotación de tierras raras en México. Asimismo, el precio y demanda se han incrementado debido al uso en la fabricación de dispositivos electrónicos y tecnologías eólicas y nanotecnologías.

Los resultados de la búsqueda en el 2013 arrojaron que desde la región de Oaxaca hasta Tamaulipas se encuentran rocas que contienen dichos materiales.

Se espera encontrar una cierta cantidad de materiales para que el proyecto sea sustentable y económicamente atractivo.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/2660-crean-consorcio-para-explotar-tierras-raras.html>>

## Reconocimiento a generadores de patentes

*Nuevas tecnologías en el área médica, de materiales y nanotecnología, entre otras*

► Patricia López

**28 DE ABRIL DE 2014** ► Diez grupos universitarios fueron reconocidos por el Programa de Fomento al Patentamiento y la Innovación de la Coordinación de Innovación y Desarrollo.

La iniciativa apoya el desarrollo de inversiones susceptibles de ser protegidas mediante la figura jurídica de patente. Asimismo, Miguel Ángel Margáin González, director del IMPI, destacó el esfuerzo de la UNAM para impulsar la cultura emprendedora entre los académicos y la vinculación con el sector productivo.

Dentro de los ganadores, el primer lugar fue para la Facultad de Química con un método para procesar llantas. El segundo lugar fue para el Instituto de Fisiología Celular, por diseñar un tratamiento para la cirrosis. Igualmente, este Instituto obtuvo el tercer lugar al desarrollar un fármaco para inhibir la influenza H1N1. Los otros siete puestos fueron para las Facultades de Medicina, Veterinaria, Ingeniería y Química; el Centro de Nanociencias y Nanotecnología, y Fisiología Celular.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/comunidad/2715-reconocimiento-a-generadores-de-patentes.html>>

## Método experimental para reducir toxicidad de nanotubos de carbono

*Expertos del CCADET y del Instituto de Ciencias Nucleares trabajan con procesos amigables para el ambiente*

► Patricia López

**28 DE ABRIL DE 2014** ► Los nanomateriales provenientes del carbono representan en el siglo XXI un área de interés científico por las múltiples aplicaciones en el mercado comercial. Sin embargo, los nanomateriales pueden ser tóxicos si se introducen en organismos vivos. Por ello, los investigadores Elena Golovataya Dzhyμβeeva, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), junto con Vladimir Basiuk del Instituto de Ciencias Nucleares, desarrollan estrategias con moléculas poliméricas como el nylon para reducir el efecto tóxico.

Los investigadores hacen experimentos con tulerenos, nanotubos, nanodiamantes y grafeno para desarrollar estructuras basadas en ellos, y cuyo diseño es adaptable a diversas necesidades.

El camino para llegar a la modificación de los nanotubos es el método de la “Química verde”, el cual no usa disolventes orgánicos o ácidos fuertes. Y es que al estar libre de com-



puestos volátiles, el proceso es más rápido y eficiente.

Los experimentos se han llevado a cabo con moléculas de nylon 6, muy usual en la biomedicina; produciendo un proceso menos tóxico, para así, en un futuro, abrir un camino viable para su uso en organismos vivos.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/2718-metodo-experimental-para-reducir-toxicidad-de-nanotubos-de-carbono.html>>

## Impulso al diseño y la construcción de MEMS

*Estos diminutos dispositivos tienen crecientes aplicaciones en las industrias de las telecomunicaciones y biomédicas entre otras*

► Patricia López

**8 DE MAYO DE 2014** ► En dos nuevos laboratorios académicos de la Facultad de Ingeniería podrán diseñar, modelar, caracterizar y fabricar microsistemas electromecánicos (MEMS, Micro Electro, Mechanical Systems), que son dispositivos diminutos con crecientes aplicaciones en industrias biomédicas, electrónica, entre otras y cuyo proyecto lleva por nombre UNAMEMS.

Las dimensiones físicas de estos dispositivos varían desde los cientos de micras hasta menos de una, combinando partes eléctricas y electrónicas integradas en un mismo sustrato, usualmente de silicio.

Dentro de las aplicaciones de estos microsistemas se encuentran microsensores para la detección de temperatura, presión y fuerzas de inercia. Mientras que otros como los microactuadores incluyen microválvulas para el control de flujo de gas y líquidos; interruptores ópticos y espejos para redirigir o modular la luz entre otros usos.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/2779-impulso-al-diseño-y-la-construcción-de-mems.html>>

## Recubrimiento para implantes metálicos

*Sandra Rodil, de Materiales, dijo que los mejores resultados los han obtenido con óxido de titanio*

► Laura Romero

**4 DE AGOSTO DE 2014** ► Encabezados por Sandra Rodil, un equipo de científicos del Instituto de Investigaciones en Materiales desarrolla un recubrimiento para implantes metálicos que mejore las propiedades de interacción a nivel celular. Después de varias pruebas, los mejores resultados se arrojaron con el óxido de titanio, a su vez idóneo para interactuar con un medio biológico. Con esto, los implantes de hueso que requieren de material metálico pueden interactuar y tener una respuesta biocompatible.

Sin embargo, el precio de materiales como el titanio hace que el costo de importación así como su aplicación sean muy elevados, por lo que se buscan alternativas como el acero inoxidable. El objetivo es que una pieza de acero inoxidable esté recubierta de óxido de titanio, lo cual sería más atractivo en costos.

El proceso por el cual se lleva a cabo es el de evaporación física por plasmas; de tal modo, se requieren nanoestructuras producidas por las películas de óxido de titanio sobre el acero de, como máximo, cien nanómetros de espesor.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/3170-recubrimiento-para-implantes-metálicos.html>>

## Desarrollan nanofármaco para combatir la leucemia

*Este cáncer sanguíneo es más frecuente en niños de tres a siete años*

► Patricia López

**26 DE JUNIO DE 2014** ► Utilizando la misma estructura de un virus y cambiando el material genético de éste, científicos de la Universidad Nacional tienen como propósito crear nuevos medicamentos que combatan la leucemia linfocítica aguda.

Expertos del Centro de Nanociencias y Nanotecnología, con sede en el campus Ensenada, han diseñado un virus de 28 nanómetros que contiene en su interior una enzima que degrada al aminoácido asparagina, sus-

tancia de la cual se alimentan las células cancerígenas, provocando la proliferación de la enfermedad.

Los científicos Cadena y Huerta, junto con Rafael Vázquez Duhalt y Sergio Águila combinan técnicas de biología molecular, bioquímica y nanotecnología para desarrollar el nanofármaco. Utilizan la cápside viral en forma de balón de fútbol, a la cual le hará 60 poros de 2 nanómetros para captar la asparagina que circula en la sangre y luego transformarla con ayuda de la enzima. Así, las células cancerosas no podrán propagarse.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/3068-desarrollan-nanofarmaco-para-combatir-la-leucemia.html>>



## En búsqueda de nuevos materiales multiferroicos

*Expertos de nanociencias y nanotecnología ensayan combinaciones para el desarrollo tecnológico*

► Patricia López

**14 DE AGOSTO DE 2014** ► Expertos del Centro de Nanociencias y Nanotecnología ensayan con nuevas combinaciones para la obtención de nuevos materiales multiferroicos. La búsqueda por las propiedades de estos materiales se enfoca a la capacidad de guardar información de los materiales ferroicos (ferroelectricidad) sin necesidad de corriente eléctrica.

Otras de las propiedades de estos materiales son el magnetismo y la elasticidad, y el nombre de multiferroico se refiere a los materiales con al menos dos de estas propiedades. El científico Siqueiros Beltrones explicó que los materiales se pueden construir en forma de pastillas o tabletas y películas delgadas, las cuales tendrían aplicaciones en la microelectrónica y el cómputo, haciendo mucho más eficientes los condensadores así como doblar la estabilidad de la memoria de computadora.

Estos materiales, a su vez, son una posible alternativa no contaminante desde su producción con materiales cerámicos (potasio, sodio, novio) y así evitar el uso de plomo.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/3231-en-busqueda-de-nuevos-materiales-multiferroicos.html>>

## Nanotubos para descontaminar agua

*Sus propiedades físicas y químicas generan una amplia gama de posibilidades*

► FES Cuautitlán

**1 DE SEPTIEMBRE DE 2014** ► Los nanotubos de halaoisita representan una gran posibilidad para la adsorción de sustancias que contaminan el agua, al ser éstos de origen natural y bastante versátiles son funcionales para campos de catálisis heterogénea.

La longitud de los nanotubos es de una a quince micras con un diámetro de diez a treinta nanómetros y con ello las superficies activas de los tubos son utilizadas como adsorbente de colorantes, violeta de metileno, verde de malaquita y otros.

La investigadora Yolanda Marina Vargas de la FES Cuautitlán es la encargada de esta línea de investigación y de los estudios de adsorción de sustancias endócrino-disruptoras de soluciones acuosas.

Estos nanotubos no sólo adsorben sustancias coloridas, sino también son capaces de atrapar materiales y agentes activos como cobre, fármacos, polisacáridos y enzimas para formar nanocompositos.

**Véase:**

<<http://www.gacetadigital.unam.mx/index.php/academia/3326-nanotubos-para-descontaminar-agua.html>>

## Consulta pública del proyecto de norma mexicana

El pasado 10 de septiembre, la Secretaría de Economía, por conducto de la Dirección General de Normas, dio a conocer en el *Diario Oficial de la Federación (DOF)* el aviso de consulta pública del proyecto de una norma mexicana relacionada con nanotecnología, elaborado y aprobado por el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías:

### **PROY-NMX-R-62622-SCFI-ANCE-2014**

*Nanotecnologías-descripción, medición y descripción de parámetros de calidad dimensional de rejillas artificiales*

*Síntesis:* Este proyecto de norma mexicana especifica la terminología genérica aplicable a los parámetros de calidad globales y locales de rejillas artificiales expresados en términos de desviaciones respecto a las posiciones nominales de los elementos geométricos de la rejilla, y orienta sobre la categorización de métodos de medición y evaluación aplicables a la calibración y caracterización de rejillas artificiales.

También, intenta facilitar la comunicación entre fabricantes, usuarios y laboratorios de calibración relacionados con la caracterización de los parámetros de calidad dimensional de rejillas artificiales usadas en nanotecnología.

Además, sirve de soporte para el aseguramiento de la calidad en la producción y el uso de rejillas artificiales en diferentes áreas de aplicación en nanotecnología. Aun cuando las definiciones y métodos descritos son universales a una gran variedad de rejillas, el documento se enfoca en rejillas unidimensionales (1D) y bidimensionales (2D).

A partir de la fecha de publicación —10 de septiembre de 2014— se cuenta con 60 días naturales para recibir los comentarios ante el seno del Comité que lo propuso, ubicado en el Centro Nacional de Metrología, km 4.5 Carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México, CP 76241, teléfono (442) 211 0575 o al correo-e: (rlazos@cenam.mx).

El texto completo de los documentos puede ser consultado gratuitamente en la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía, ubicada en Av. Puente de Tecamachalco núm. 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, CP 53950, Naucalpan de Juárez, Estado de México, o en el Catálogo Mexicano de Normas que se encuentra en la página de Internet de la Dirección General de Normas.

#### **Dirección:**

<<http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx>>

## Declaratoria de vigencia de normas mexicanas en nanotecnología en el *Diario Oficial de la Federación*

El pasado 20 de octubre, la Secretaría de Economía, por conducto de la Dirección General de Normas, dio a conocer en el *Diario Oficial de la Federación (DOF)* la declaratoria de vigencia de las normas mexicanas listadas a continuación, mismas que fueron elaboradas y aprobadas por el Comité Técnico de Normalización Nacional de Nanotecnologías, lo que se hace del conocimiento de los productores, distribuidores, consumidores y del público en general. Estas normas entrarán en vigor 60 días naturales después de la publicación de esta Declaratoria de vigencia en el *DOF*.

### **NMX-R-10867-SCFI-2014**

*Nanotecnologías- Caracterización de nanotubos de carbono de una capa (NTCUC) mediante espectroscopia de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano (EFL-IRC)*

#### *Campo de aplicación*

Esta Especificación Técnica ofrece orientación para la caracterización de nanotubos de carbono de una pared (NTCUC) usando espectroscopia de fotoluminiscencia en el infrarrojo cercano (EFL-IRC).

Esta norma mexicana describe un método de medición para la determinación de los índices quirales de NTCUC semiconductores en una muestra y sus intensidades integradas relativas de fotoluminiscencia. El método puede ser extendido para estimar las concentraciones de masa relativas de NTCUC semiconductores en una muestra a partir de mediciones de intensidades integradas de fotoluminiscencia y el conocimiento de sus secciones eficaces para FL.

### **NMX-R-10929-SCFI-2014**

*Nanotecnologías- Caracterización de muestras de nanotubos de carbono de múltiples capas (NTCMC)*

#### *Campo de aplicación*

Esta norma mexicana identifica las propiedades físicas y químicas básicas de los nanotubos de carbono de múltiples capas (de aquí en adelante, NTCMC) y el contenido de impurezas que caracterizan las muestras de NTCMC, y muestra los principales métodos de medición disponibles para la industria en la determinación de estos parámetros.

Esta norma mexicana ofrece una base firme para la investigación, desarrollo y comercialización de estos materiales. La preparación de las muestras y el protocolo de medición no están incluidos.

### **NMX-R-27687-SCFI-2014**

*Nanotecnologías- Terminología y definiciones para nano-objetos- Nanopartícula, nanofibra y nanoplaca*

#### *Campo de aplicación*

Esta norma mexicana lista términos y definiciones relativas a partículas en el campo de las nanotecnologías. Tiene el objetivo de facilitar las comunicaciones entre organizaciones e individuos en la industria y aquellos con quienes interactúan.

### **NMX-R-80004-1-SCFI-2014**

*Nanotecnologías-Vocabulario-Parte 1:  
Conceptos básicos*

#### *Campo de aplicación*

Esta norma mexicana lista las definiciones y términos relacionados con los conceptos básicos en el campo de las nanotecnologías. El objetivo del presente documento es facilitar la comunicación entre las organizaciones y los individuos en la industria y aquéllos que interactúan con ellos.

### **NMX-R-80004-3-SCFI-2014**

*Nanotecnologías-Vocabulario-Parte 3:  
Nano-objetos de carbono*

#### *Campo de aplicación*

Esta norma mexicana contiene términos y

definiciones relacionadas con nano-objetos de carbono en el campo de las nanotecnologías. Tiene el propósito de facilitar las comunicaciones entre organizaciones e individuos en la industria y aquellos que interactúan con ellos.

El texto completo de los documentos puede ser adquirido en la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía, ubicada en Av. Puente de Tecamachalco núm. 6, Lomas de Tecamachalco, Sección Fuentes, CP 53950, Naucalpan de Juárez, Estado de México, o en el Catálogo Mexicano de Normas que se encuentra en la página de Internet de la Dirección General de Normas.

#### **Dirección:**

<<http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx>>

► 28 al 30 de enero de 2015

## Nanotech 2015 – The 14<sup>th</sup> International Nanotechnology Exhibition & Conference

*Tokio Big Sight. East Halls 4-6 & Conference Tower. Tokio, Japón*

<<http://www.nanotechexpo.jp/index.html>>



► 9 al 11 de marzo de 2015

## Sustainable Nanotechnology Conference 2015

*Venecia, Italia*

<<http://www.susnano.org/conferenceOverview2015SNO-SUN-GN.html>>



► 10 al 13 de marzo de 2015

## Graphene 2015

*Bilbao Exhibition Centre. Bilbao, España*

<[http://www.grapheneconf.com/2014/Scienceconferences\\_Graphene2014.php](http://www.grapheneconf.com/2014/Scienceconferences_Graphene2014.php)>



- ▶ 8 al 10 de abril de 2015

### **BioNanoMed 2015 – 6<sup>th</sup> International Congress Nanotechnology in Medicine & Biology**

*Medical University of Graz. Graz, Austria*

<<http://www.bionanomed.at>>



- ▶ 12 de 15 de abril de 2015

### **International Congress on Safety of Engineered Nanoparticles and Nanotechnologies**

*Marina Congress Centre. Helsinki, Finlandia*

<<http://www.ttl.fi/PARTNER/SENN2015/Pages/default.aspx>>



- ▶ 24 al 26 de mayo de 2015

### **NICOM5 - Fifth International Symposium on Nanotechnology in Construction**

*Trump International Hotel & Tower Chicago. Chicago, EUA*

<<http://www.nicom5.org/>>



► 1 al 4 de junio de 2015

### **6<sup>th</sup> Workshop on Nanotube Optics and Nanospectroscopy**

*Banz Abbey. Kloster Banz, Alemania*

<<http://www.wonton2015.org>>



► 9 al 10 de julio de 2015

### **ICNN 2015: CIII International Conference on Nanotechnology and Nanomedicine**

*Hotel Ambassador. Praga, República Checa*

<<https://www.waset.org/conference/2015/07/prague/ICNN>>



# INSTRUCTIVO PARA AUTORES

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

Las colaboraciones deben ajustarse al objetivo principal de la revista, esto es, disseminar los avances y resultados del quehacer científico y humanístico en las áreas de la nanociencia y la nanotecnología por medio de artículos de divulgación escritos en español. Esta publicación está dirigida a un público interesado en aumentar sus conocimientos sobre la nanociencia y la nanotecnología. Deseamos incluir entre nuestros lectores tanto a profesionistas como a estudiantes. La revista está organizada en las siguientes secciones:

## Cartas de los lectores

Cartas de los lectores con sugerencias, comentarios o críticas. Comentarios sobre artículos aparecidos en números anteriores de la revista.

## Noticias

Notas breves que expliquen descubrimientos científicos, actos académicos, reconocimientos importantes otorgados.

## Artículos

Artículos de divulgación sobre aspectos científicos y tecnológicos, político-económicos, éticos, sociales y ambientales de 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 afín al tema del artículo y con copia a: mundonanounam@gmail.com

**II.** Los manuscritos cumplirán con los siguientes lineamientos:

- a) Estar escritos en Microsoft Word, en página tamaño carta, y tipografía Times New Roman en 12 puntos, a espacio y medio. Tamaño máximo de las contribuciones: noticias, una página; cartas de los lectores, dos páginas; reseñas de libros, tres páginas; artículos completos, quince páginas.
- b) En la primera página deberá aparecer el título del artículo, el cual deberá ser corto y atractivo; el nombre del autor o autores; el de sus instituciones de adscripción con las direcciones postales y electrónicas, así como los números telefónicos y de fax.
- c) Enviar un breve anexo que contenga: resumen del artículo, importancia de su divulgación y un resumen curricular de cada autor que incluya: nombre, grado académico o experiencia profesional, número de publicaciones, distinciones y proyectos más relevantes.
- d) Las referencias, destinadas a ampliar la información que se proporciona al lector deberán ser citadas en el texto. Las fichas bibliográficas correspondientes serán agrupadas al final del artículo, en orden alfabético. Ejemplos:
  1. Artículos en revistas (no se abrevien los títulos ni de los artículos ni de las revistas):  
N . Takeuchi, N. 1998. "Cálculos de primeros principios: un método alternativo para el estudio de materiales". *Ciencia y Desarrollo*, vol. 26, núm. 142, 18.
  2. Libros:  
Delgado, G.C. 2008. *Guerra por lo invisible: negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CEIICH, UNAM. México.
  3. Internet:  
NobelPrice.org. 2007. The Nobel Prize in Physics 1986. En: <[http://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 pixeles por pulgada, y estar acompañadas por su respectiva explicación o título y fuente.



**CCADET**

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y  
DESARROLLO TECNOLÓGICO



ISSN 2007-5979

9 772007 597005