

RG22-CPAE 1 DAY



x500' '60' 0µm

- **Fármacos con nanomateriales inteligentes**
- **¡y se hizo la luz... azul!**
- **Tecnociencia en la modernidad**
- **Nanopartículas: controlando forma y tamaño**



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

DIRECTORIO

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. José Narro Robles
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García
Secretario General

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

Dra. Estela Morales Campos
Coordinadora de Humanidades

Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro
Coordinador de Innovación y Desarrollo

Dra. Norma Blazquez Graf
Directora del CEIICH

Dr. Sergio Fuentes Moyado
Director CNYN

Dr. José Saniger Blesa
Director CCADET

Mundo Nano

Editores

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

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

Editor Asociado

M. en C. Rogelio López Torres • mrlt@unam.mx

Comité Editorial

Física (teoría)

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

Física (experimental)

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

Ingeniería

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

Microscopía

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

Catálisis

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

Materiales

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

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

Ciencia, tecnología y sociedad

Dr. Louis Lemkow • Louis.Lemkow@uab.es
(Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental,
Universidad Autónoma de Barcelona. España)
Dra. Sofía Liberman Shkolnikoff (Psicología-UNAM, México)

Ciencia, tecnología y género

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

Filosofía de la Ciencia

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

Complejidad de las ciencias

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

Medio ambiente, ciencia y tecnología

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

Aspectos éticos, sociales y ambientales

de la nanociencia y la nanotecnología

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

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

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

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

Divulgación

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



Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, Vol. 5, No. 1, enero-junio 2012, 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, Torre II de Humanidades, 4º piso, Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, 04510, D. F., correo-e: mundonanounam@gmail.com, editores responsables: Gian Carlo Delgado

Ramos y Noboru Takeuchi Tan, editor asociado: Rogelio López Torres. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2009-010713303600-102, ISSN: en trámite, Certificado de Licitud de Título y Contenido: en trámite. Impresa por Solar, Servicios Editoriales, S. A. de C. V., Calle 2 No. 21, Col. San Pedro de los Pinos, México, 03800, D. F. Este número se terminó de imprimir en offset en mayo de 2012 con un tiraje de 500 ejemplares en papel couché de 90 g. para los interiores y de 300 g. para los forros.

Cuidado de la edición: Concepción Alida Casale Núñez.

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

www.mundonano.unam.mx

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

CONTENIDO

4 EDITORIAL

5 CARTAS

- 5 Energía y agua, principales retos sociales para la nanotecnología
Elena León Magaña

9 NOTICIAS

- 9 Nanoaceites para mantener dispositivos electrónicos realmente fríos
- 9 Investigadores desarrollan nanoterapias 'inteligentes' para entregar los medicamentos directamente al páncreas
- 11 Alta velocidad de detección de bacterias en la sangre sin necesidad de cultivarlas
- 12 Crecimiento del grafeno a temperatura ambiente
- 13 El material más ligero que existe en la Tierra
- 14 Recubrimiento NanoBlack para aplicaciones espaciales futuras
- 15 MARINA y NanoValid, dos proyectos europeos nuevos para el manejo del riesgo y el análisis del ciclo de vida de los nanomateriales
- 15 El gobierno francés responde a debate público
- 16 Nanobiocidas por ser regulados: Parlamento Europeo

17 ARTÍCULOS

- 17 Implicaciones de la tecnociencia en la modernidad reflexiva. Complejidad, riesgo y democracia
Edgar Tafoya
- 42 El nitruro de galio y sus aleaciones: ¡y se hizo la luz... azul!
Joaquín Darío Tutor Sánchez, Alexys Bruno Alfonso
- 59 Protegiendo fármacos con nanomateriales inteligentes
Sandra Loera Serna, Jazmín Ruiz Angeles, Jorge Flores Moreno y Lidice Soto Portas
- 69 Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño
Rodolfo Zanella

- 82 Diálogo para el avance científico y tecnológico a la nanoescala
Gian Carlo Delgado y Elena León Magaña

103 LIBROS E INFORMES

- 103 *Estrategia de investigación sobre los aspectos ambientales, de salud y seguridad de los nanomateriales*. Comité para el Desarrollo de una Estrategia de Investigación sobre los aspectos Ambientales, de Salud y Seguridad de los Nanomateriales. National Research Council. National Academies Press. Washington, EUA. 2012
- 104 *Fostering nanotechnology to address global challenges: Water*. OCDE. París, Francia. 2011
- 105 *Nanotechnologies*. Académie Universitaire Louvain. Research Administration Departments. Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix y Universidad Católica de Lovaina. Lovaina la Nueva. Enero de 2011
- 106 *Nanotecnología y oncología*. Patlak, Margie y Mischeel, Christine. The National Academies Press. Washington, EUA. 2011
- 107 *Producción responsable y uso de nanomateriales. Implementando el cuidado responsable*. 2da ed. Responsible Care. 1 de enero 2012
- 108 *Quantum engagements-social reflections of nanoscience and emerging technologies*. Zülsdorf, et al. Berlin: Aka Verlag. IOS Press. Amsterdam, Holanda. 2011
- 109 *Ethics and nanotechnology*. Malsch, Ineke. Malsch TechnoValuation. Holanda. 2011
- 110 *Saberes y ciencias*. La Jornada de Oriente. Suplemento mensual de *La Jornada*. Marzo 2012. México

111 INSTRUCTIVO PARA AUTORES

112 EVENTOS

▼ Modelo tridimensional de un glioma desarrollado por Sun Lab/Brown University (EUA). El modelo permite que el glioma y las células endoteliales se ensamblen de modo natural emulando la realidad, lo cual posibilita estudiar el comportamiento de nanopartículas diseñadas para el tratamiento de diversas enfermedades. Los científicos han informado que nanopartículas de óxido de hierro, transportando el agente tumstátin (agente antiangiogénico y proapoptótico), fueron tomadas por los vasos sanguíneos, lo que significa que deberían bloquear su crecimiento (<http://news.brown.edu/pressreleases/2012/02/glioma>). La imagen original es en blanco y negro.



Correspondencia:

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

EDITORIAL

El año 2012, pese a la crisis económica mundial, abre con expectativas para el impulso de la nanociencia y la nanotecnología (NyN), sobre todo en aquellas áreas más prometedoras como la nanomedicina y las aplicaciones en la industria electroinformática. Pero también hay avances e iniciativas en materia de regulación y estandarización, como la regulación europea sobre nanobiocidas y el compromiso público del gobierno francés de incrementar el gasto en aspectos sociales, éticos y ambientales de la NyN, hasta los avances en estandarización y estudios del ciclo de vida de algunos nanomateriales.

Para México, el 2012 también será un año clave, no sólo en materia de consolidación de la investigación y desarrollo en NyN de modo más articulado, sino sobre todo en lo que respecta a la estandarización y regulación del área; en particular en cuanto al manejo de nanomateriales en los espacios productivos. Por ello, se tienen expectativas de avance por parte del Centro Nacional de Metrología y demás dependencias gubernamentales competentes.

Mientras tanto y en espera de poder pronto ofrecer información fresca al respecto, *Mun-*

do Nano mantiene su esfuerzo para promover la reflexión, análisis y diálogo interdisciplinario. En tal tenor, este número incluye artículos relacionados con el desarrollo de tecnologías de encapsulamiento de fármacos y con el potencial del nitruro de galio para aplicaciones ópticas y optoelectrónicas como las empleadas en el sistema de discos *blue-ray*; otros reflexionan sobre las implicaciones de la tecnociencia en la era moderna, también se ofrece una revisión sobre las principales metodologías de síntesis de nanopartículas.

Dando cuenta de la relevancia de los temas relativos al avance de la nanomedicina y de otras aplicaciones nano, así como de las implicaciones éticas, sociales y ambientales, se ofrece una revisión breve sobre algunas de las noticias internacionales referentes a tales cuestiones y se incluye una serie de referencias sobre publicaciones e informes destacados que han sido publicados recientemente y que consideramos pueden ser de utilidad para todo aquel interesado en el mundo nano.

Abril de 2012

Energía y agua, principales retos sociales para la nanotecnología

Elena León Magaña

Durante la cuarta edición de NanoMex, llevada a cabo del 9 al 11 de noviembre de 2011, en la Ciudad de Mérida, se reunieron investigadores de distintas partes del mundo y estudiantes de diferentes regiones de la República Mexicana para hablar sobre los avances de esta disciplina, así como para exponer perspectivas sociales y éticas derivadas de la investigación y desarrollo de la nanociencia y la nanotecnología.

NanoMex procuró fomentar un abordaje interdisciplinario, y fungir como espacio de aprendizaje y vinculación al integrar cursos de inducción a temas nanocientíficos, conferencias plenarias, exposiciones simultáneas sobre proyectos de investigación desde enfoques éticos, de aplicación, económicos y sociales. Asimismo, se llevó a cabo un curso introductorio a la nanociencia y la nanotecnología, un curso avanzado sobre nanociencia computacional y un concurso de carteles de divulgación y presentación de avances de investigación.

FIGURA 1. Curso avanzado, 9 de noviembre de 2011.



El evento fue coordinado por la UNAM desde su consorcio académico nanoUNAM en alianza con Cinvestav-Mérida, entidad que fungió como coordinador local. Asistieron poco más de cien personas. Participaron 5 panelistas extranjeros y 78 investigadores nacionales, 41 de ellos con ponencia y 37 en modalidad cartel.

FIGURA 2. Plenaria NanoMex 2011.



El Dr. Jorge Beltramini, quien encabeza el grupo de investigación en Energía Limpia y Química Verde del Centro de Investigación de la Universidad de Queensland, expuso una versión de la agenda nanocientífica durante su ponencia. Energía y agua fueron considerados los principales problemas que deben ser resueltos en favor de la humanidad. Al respecto explicó que su institución ha dividido los esfuerzos en nanotecnología en tres áreas: la de energía, el medio am-

FIGURA 3. Dr. Jorge Beltramini.



biente y la biología de la salud. En este sentido, indicó que la Universidad ha reunido grupos multidisciplinarios conformados por físicos, economistas, biólogos e ingenieros de distintas ramas, con la intención de establecer *una visión práctica* de la nanociencia. Este enfoque nanotecnológico permeó como una tendencia en el grueso de conferencias y ponencias presentadas.

Entre los principales intereses de la Universidad de Queensland se encuentra la creación de nuevos nanomateriales que permitan mejorar las capacidades físicas y químicas de los ya existentes, con el objeto de usarlos para la mejora de celdas solares, en dispositivos de almacenamiento de hidrógeno y como vehículos de entrega de drogas en la nanomedicina. En este sentido, denotó la importancia de los trabajos en relación con la producción y almacenamiento de hidrógeno, pues se pretende convertir gas o biomasa en combustibles líquidos que sean amigables con el medio ambiente. Expresó que los resultados no sólo se verían reflejados en la reducción de contaminantes, sino que serían parteaguas en el nuevo ciclo de combustibles, toda vez que los hidrocarburos tienen un efecto negativo en el ambiente y, eventualmente, se agotarán. De este modo, de concretarse, se apostaría por un avance tecnológico de frontera como vía para la mitigación del cambio climático.

El Dr. Peter Searson, de la Universidad de Johns Hopkins, presentó sus avances sobre oncología, enfocados al desarrollo de biomarcadores. Su investigación giró en torno al cáncer de pán-

creas, enfermedad cuya metástasis se alcanza rápidamente, de hecho, para este tipo de cáncer se considera que existe sólo una etapa; así, la muerte alcanza al paciente, en la mayoría de los casos, en un periodo de cuatro meses. Debido al acelerado crecimiento y la elongación que experimentan las células durante el cáncer, Searson definió dos objetivos para su investigación, primero: demostrar la formación de biomarcadores y, en segunda instancia, establecer una relación entre la concentración de puntos cuánticos respecto de las proteínas.

Una de las intenciones del trabajo de Searson es determinar el comportamiento numérico de las proteínas durante el avance del cáncer a través del establecimiento de perfiles celulares mediante el uso de biomarcadores. Métodos como éste permitirían un avance en el tratamiento de esta enfermedad, dando oportunidad a procedimientos menos invasivos. No obstante, el investigador señaló que pese a que los puntos cuánticos reaccionan positivamente con las proteínas, permitiendo luminizar las células cancerígenas y abrir la posibilidad de tratarlas con láser y así no afectar tejido sano, no se sabe con certeza qué sucede con los elementos nanométricos agregados al organismo. Si bien después de algunas horas no es posible identificarlos en las imágenes, no hay certeza de qué ocurre en el cuerpo con ellos. Esta observación es importante para quienes estudian los aspectos toxicológicos, pero también éticos y sociales de la nanomedicina, ya que la historia de la farmacéutica tiene muchos casos parecidos, cuyos efectos no fueron descubiertos, sino hasta la evidencia de daño en los pacientes tratados.

Por su parte, el Dr. Todd Kuiken, investigador asociado del proyecto Nanotecnologías Emergentes, del Woodrow Wilson Center For International Scholars, junto con la Dra. Ineke Malsch y el Dr. Gian Carlo Delgado, investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM, fueron los responsables de presentar algunos de los dilemas éticos y sociales de la nanotecnología.

Se destacó la ambivalencia de los eventos a escala nanométrica, a partir de los cuales pueden generarse cambios en las propiedades de los materiales, ya que si bien existen avances en ma-

FIGURA 4. Dr. Peter Searson.



FIGURA 5. Dra. Ineke Malsch y Dr. Todd Kuiken.



terias de salud hay un alto grado de incertidumbre con el que los nanotecnólogos se enfrentan todos los días en el laboratorio. A esta dicotomía se suma la experticia de quienes trabajan en estos proyectos, pues se abre la pregunta: ¿de qué lado debe ponerse el experto? ¿Qué sucede cuando hay uno para el sector privado y otro en el sector público? Si bien estas preguntas no encontraron respuesta, es relevante que el Congreso haya servido como punto de encuentro para plantear tales cuestionamientos.

En este sentido, se puntualizó el hecho de que vivamos en una sociedad dependiente de los hechos, puesto que la prevención sólo puede establecerse a partir de éstos, situación contextualizada en el ambiente de incertidumbre en el que está desarrollándose la nanotecnología (al igual que todas las tecnologías punteras). Surgió el planteamiento sobre una ética preventiva necesaria, que involucre una gama de circunstancias que la tecnociencia aún no es capaz de poner sobre la mesa, pues no hay hechos que aseguren ni su total aplicabilidad ni que constaten sus efectos negativos. En la experiencia, la prevención se ha establecido a partir de los resultados de hechos negativos, ello coloca a la nanotecnología en una encrucijada a la que los científicos deberán enfrentarse.

Asimismo, se cuestionó el objetivo real de los gobiernos que persiguen la disminución del consumo de energía, y el importante papel que la

nanotecnología juega en esta búsqueda. La asignación de recursos para nanotecnología etiquetados a proyectos bélicos y sus implicaciones.

Se subrayó también que México tiene una política educativa que no fomenta la capacidad de innovación al interior del país, sino la compra de tecnología, situación que fue un tanto criticada, ya que la adquisición externa tendrá siempre en situación de desventaja a la CyT mexicanas.

En cuanto al sector empresarial se dijo que en general no apuesta por proyectos a largo plazo, sino a proveedores inmediatos. Los acuerdos internacionales suelen acotar la actividad investigativa a asuntos prioritarios de la localidad.

Otra área de la discusión se refirió a los aspectos éticos y legales de la nanotecnología, campo que además de ser complejo no ha sido abordado con suficiencia, ni necesariamente de modo inter y transdisciplinario.

Durante las exposiciones surgieron puntos álgidos, como el del derecho internacional y el gasto público y privado destinado a nanotecnología, pues de ambos campos se esperan cosas distintas en los resultados. Reflexiones como éstas pretenden causar gran eco en las siguientes ediciones de NanoMex, ya que son parte de la dinámica interdisciplinaria que pretende fomentar este Congreso.

Las áreas de aplicación más destacadas entre los investigadores mexicanos fueron la agricultura, los empaques y la medicina. Por otra parte,

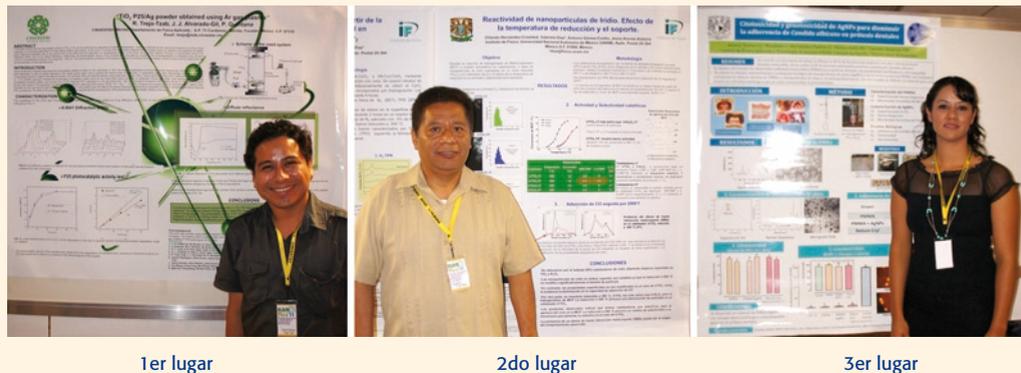
el Dr. Fernando Rojas Iñiguez presentó una evaluación del Taller de Física de Nanoestructuras en el Centro de Nanociencias y Nanaotecnología de la UNAM en Ensenada B.C., dirigido a estudiantes de la licenciatura en Física, cuyo objetivo es estimular a los jóvenes para especializarse en nanociencias.

Rojas Iñiguez explicó que el curso no es un taller meramente divulgativo, sino que tiene la finalidad de que los estudiantes puedan desarrollar un proyecto, guiados por un investigador, fomentando la práctica en el laboratorio. Los participantes son seleccionados de distintas partes de la República Mexicana y obtienen una estancia de dos semanas en el CNyN. Durante la primera semana obtienen instrucción teórica, y en la segunda se enfocan en un proyecto. Los interesados pueden consultar la convocatoria a partir de mayo y hasta junio en <www.cnyn.unam.mx>.

La clausura de NanoMex 2011 se llevó a cabo el día 11 de noviembre; se premiaron tres carteles: “TiO₂ P25/Ag powder obtained using Ar gas plasma”, de Trej-Tzab, Alvarado-Gil y Quintana, todos del CINVESTAV-Mérida; “Reactividad de nanopartículas de Iridio. Efecto de la temperatura de reducción y el soporte”, de Hernández-Cristóbal, Díaz, Gómez-Cortés y Arenas-Alatorre, todos del Instituto de Física de la UNAM; y “Citotoxicidad y genotoxicidad de AgNPs para disminuir la adherencia de *Candida albicans* en prótesis dentales”, de Acosta Torres, Mendieta, Hernández-Padrón, Núñez-Anita y Castaño-Meneses, del Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM y la Universidad Michoacana.

Finalmente, se invitó a los participantes a continuar siendo parte de NanoMex en su siguiente edición, la cual se llevará a cabo en la Ciudad de Puebla en junio de 2012.

FIGURA 6. Carteles premiados.



1er lugar

2do lugar

3er lugar

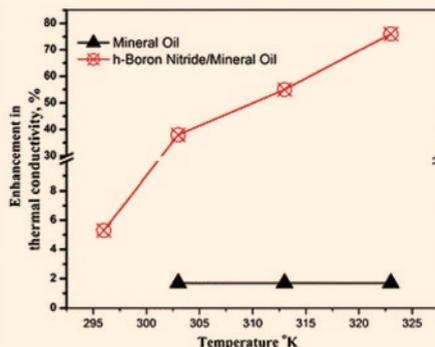
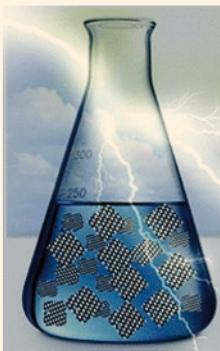
▼ 1 de febrero de 2012

Nanoaceites para mantener dispositivos electrónicos realmente fríos

Científicos de la Universidad de Rice han creado un nano aceite que podría aumentar mucho la capacidad de disipar el exceso de calor en dispositivos de tamaños desde los grandes transformadores eléctricos hasta los pequeños componentes micro-electrónicos.

La investigación realizada en el laboratorio científico de materiales de la Universidad de Rice y que aparece en la revista *ACS Nano* de la American Chemical Society, podría aumentar la eficacia de este tipo de aceites de transformadores hasta en un 80 por ciento de una manera que es a la vez rentable y amable con el medio ambiente.

El trabajo se enfocó en los transformadores para sistemas de energía. Los transformadores se llenan con aceites minerales que enfrían y aíslan los embobinados en el interior, los cuales deben permanecer



separados unos de otros para evitar fugas en el voltaje o cortocircuitos.

Los investigadores descubrieron que una cantidad muy pequeña de partículas de nitruro de boro hexagonal (h-BN) de dos dimensiones (similares al grafeno) suspendidas en aceites de transformadores estándares son muy eficientes para eliminar el calor de un sistema. Se ha encontrado que con tan solo el 0,1 por ciento en peso de h-BN en aceite de transfor-

mador se mejora en casi un 80 por ciento su eficacia. “Con un 0,01 por ciento en peso, el aumento fue de alrededor de 9 por ciento” e, incluso, con una cantidad muy baja de material, se pueden mejorar los fluidos sin comprometer las propiedades aislantes eléctricas.

§

Disponble en:
<http://english.farsnews.com/newstext.php?nn=9010173313>

▼ 12 de enero de 2012

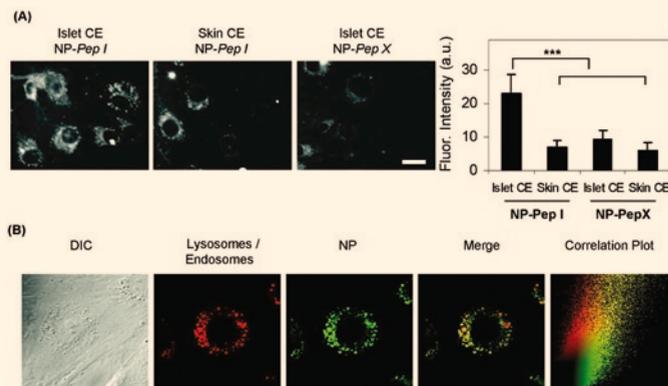
Investigadores desarrollan nanoterapias ‘inteligentes’ para entregar los medicamentos directamente al páncreas

La nueva tecnología podría conducir potencialmente a nuevas terapias para la diabetes Tipo I, con mayor eficacia y reducir los efectos secundarios.

Una colaboración de investigación entre el Instituto Wyss de la Universidad de Harvard y el Hospital Infantil de Boston ha desarrollado inyectables inte-

ligentes nanoterapéuticos que pueden ser programados para entregar de forma selectiva los medicamentos a las células del páncreas. Aunque esta nano-

FIGURA. Representación y caracterización fisicoquímica de nanomateriales que buscan los islotes del páncreas que alimentan las células productoras de insulina.



tecnología todavía necesita de más pruebas y desarrollo antes de estar lista para su uso clínico, se podría mejorar el tratamiento de la diabetes Tipo I mediante el aumento de la eficacia terapéutica y reducir los efectos secundarios.

Se encontró que este método puede aumentar la eficacia del fármaco 200 veces en estudios *in vitro* basados en la capacidad de estos nanomateriales tanto de proteger el fármaco de la degradación y concentrarlos en sitios clave, tales como las regiones del páncreas que contienen las células productoras de insulina. El dramático incremento en la eficacia también significa que cantidades mucho menores de las drogas sería necesaria para el tratamiento, abriendo la posibilidad de una reducción significativa de efectos secundarios tóxicos, así como de menores costos de tratamiento.

La diabetes Tipo I, que a menudo afecta a niños y adul-

tos jóvenes, es una enfermedad debilitante en la que el sistema inmunológico del cuerpo destruye progresivamente las células del páncreas que producen insulina. De acuerdo con la Juvenile Diabetes Research Foundation, aproximadamente 3 millones de estadounidenses padecen la enfermedad y unos 30 mil nuevos casos son diagnosticados cada año. El riesgo de desarrollar diabetes Tipo I, que puede llevar a complicaciones de salud graves, como insuficiencia renal y ceguera, se pueden predecir con una exactitud del 90 por ciento. Sin embargo, la intervención terapéutica para las personas identificadas como de alto riesgo se ha visto limitada debido a que muchos tratamientos sistémicos tienen prohibido el uso clínico, por los graves efectos secundarios que producen cuando se utiliza las altas dosis necesarias para lograr una respuesta terapéutica.

El uso de nanopartículas que pueden ser programadas para ofrecer drogas o terapias con células madre a los sitios específicos de la enfermedad es una excelente alternativa a los tratamientos sistémicos debido a que se pueden obtener mejores resultados con dosis significativamente menores y, por lo tanto, menos efectos secundarios. Hasta la fecha, tales nanoterapias se han desarrollado principalmente para tratar el cáncer, debido a que pueden llegar al tumor a través de sus vasos sanguíneos. El reto ha sido el desarrollo de formas de administrar de forma selectiva los medicamentos para tratar otras enfermedades en las que los tejidos de interés no son tan fáciles de llegar. El equipo de investigación ha abordado este problema mediante el uso de una molécula péptida para crear nanopartículas inteligentes que pueden buscar y unirse a los vasos sanguíneos capilares de los islotes del páncreas que alimentan las células productoras de insulina en situaciones de mayor riesgo durante el inicio de la enfermedad.

§

Más información en: <http://wyss.harvard.edu/viewpressrelease/74/researchers-develop-smart-nanotherapeutics-that-deliver-drugs-directly-to-pancreas> <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/nl203334c?prevSearch=%255BContrib%253A%2BDonald%2BIngber%255D&searchHistoryKey=>

▼ 9 de enero de 2012

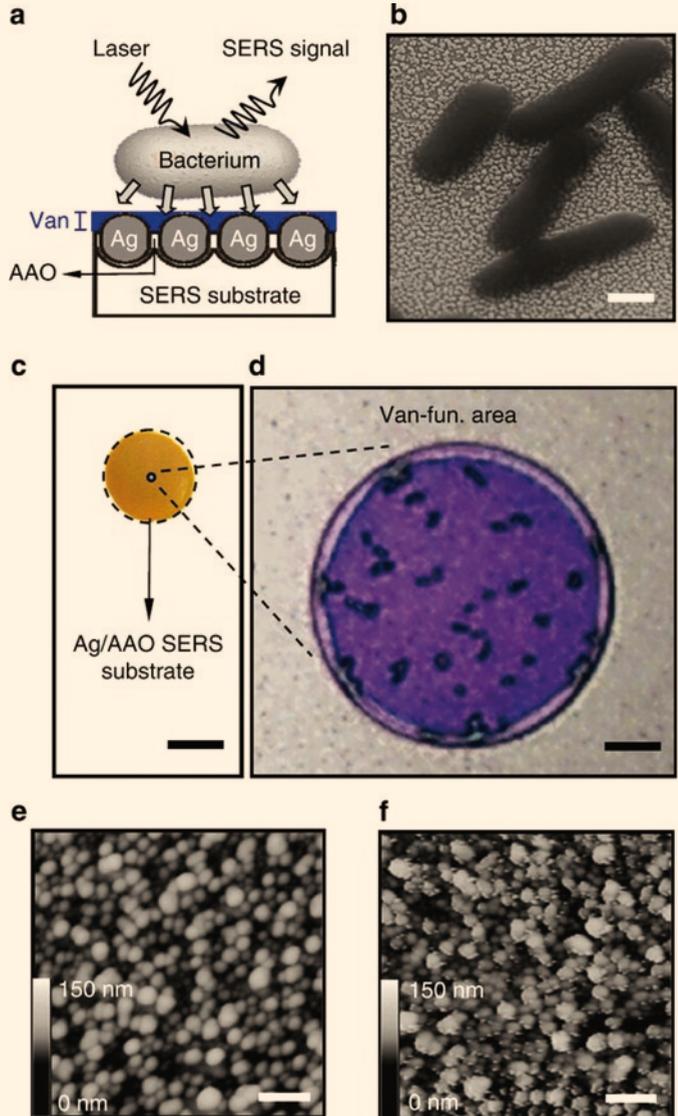
Alta velocidad de detección de bacterias en la sangre sin necesidad de cultivarlas

Investigadores taiwaneses han desarrollado una plataforma de bionanotecnología que permite la captura rápida y la detección de bacterias en muestras de sangre humana sin la necesidad de procesos de cultivo que consumen mucho tiempo.

“La detección de bacterias en muestras clínicas de sangre sin necesidad de utilizar los largos procesos de cultivo permitirá diagnósticos más rápidos”, dijo Wang Yuh-lin, un distinguido investigador de la Academia Sínica, y profesor de la Universidad Nacional de Taiwan (NTU), quien dirigió el equipo de investigación. De acuerdo con Wang, los métodos convencionales habitualmente requieren de un tiempo de preparación de la muestra que va desde días, en el caso de bacterias de rápido crecimiento, hasta semanas, para bacterias de crecimiento lento.

Al igual que todos los instrumentos musicales tienen su propio sonido característico, cada molécula tiene su espectro específico, y los científicos han utilizado esta característica para diferenciar las bacterias. El recubrimiento de arreglos de nanopartículas de plata con el antibiótico vancomicina usando una tecnología llamada Espectroscopía de Rahman aumentada en la superficie (SERS *surface enhanced*

FIGURA 1. Bacteria capturada sobre un sustrato de Ag/AAO-SERS recubierto con Van. Imágenes de AFM mostrando la topografía de los sustratos de Ag/AAO-SERS.



Rahman spectroscopy) puede resultar en un aumento de mil veces en la captura de las bacterias en comparación con los métodos convencionales.

La vancomicina fue elegida porque es uno de los antibióticos disponibles más fuertes y captura casi todos los tipos de bacterias. Las bacterias cap-

turadas se pueden concentrar en un módulo especial revestido de vancomicina, excluyendo las células de la sangre, haciendo la identificación más fácil. El desarrollo podría tener una amplia gama de beneficios, en la actualidad se tiene como prioridad máxima la detección de sepsis, una enferme-

dad potencialmente mortal que se caracteriza por un estado de inflamación en todo el cuerpo.

§

Más información en:
<http://www.nature.com/ncomms/journal/v2/n11/full/ncomms1546.html>

▼ 24 de enero de 2012

Crecimiento del grafeno a temperatura ambiente

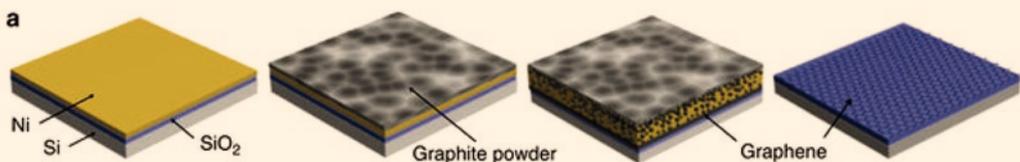
Un nuevo método permite el crecimiento de grandes superficies de películas de grafeno directamente en plástico, vidrio y otros sustratos a temperatura ambiente. Los investigadores del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Ulsan, en Corea, esperan que su método proporcione una manera más sencilla para la fabricación de electrónica basada en el grafeno con menos pasos y bajo condiciones menos estrictas.

Grandes películas de grafeno se crecen normalmente en sustratos metálicos a altas temperaturas, alrededor de mil grados centígrados, lue-

go se transfieren a otra superficie, por ejemplo, una lámina de plástico para la fabricación de un electrodo transparente flexible para una pantalla táctil. Los investigadores dirigidos por Soon-Yong Kwon han desarrollado un método llamado síntesis asistida por difusión, que les permite crecer el grafeno directamente sobre el plástico y el vidrio, lo que elimina la necesidad de una etapa de transferencia. El proceso, que utiliza una capa de níquel para facilitar el crecimiento de grafeno sobre una superficie subyacente, se describe en la revista *Nature*.

Se comienza con la evaporación de una película de níquel sobre un sustrato a temperatura ambiente. A continuación, se recubre la película con una pasta de polvo de grafito en etanol, a continuación, se presiona la pasta sobre el níquel. El níquel tiene una solubilidad relativamente alta para el carbono. Una vez que estén en contacto, el carbono comienza a difundirse en el níquel a lo largo de las fronteras de grano de la película. Los átomos de carbono al llegar al sustrato que crean una fina película de grafeno. La presión ayuda al carbono a desplazarse por el níquel. Los

FIGURA. Diagrama esquemático del proceso de depósito de películas de grafeno sobre sustratos no conductores.



investigadores colocaron el chip en un tubo de cuarzo lleno de gas argón o aire y lo calentaron a temperaturas de entre 25 y 250 grados Celsius. Después

de uno a diez minutos, le quitaron el chip y retiraron el carbono y el níquel restante por un ataque químico, dejando así una capa de grafeno.

§

Más información en:
<http://www.nature.com/ncomms/journal/v3/n1/full/ncomms1650.html>

▼ 18 de noviembre 2011

El material más ligero que existe en la Tierra*

Los científicos han inventado un nuevo material tan ligero que puede colocarse encima de un diente de león sin aplastar las semillas. Es tan ligero, que la espuma de poliestireno es 100 veces más pesada. Es tan ligero, de hecho, que el equipo de investigación formado por científicos de la Universidad de California en Irvine, los Laboratorios HRL y Caltech dicen, en el artículo publicado el 18 de noviembre en la revista *Science* que es el material más ligero en la Tierra, y hasta ahora nadie los han podido contradecir.

El material ha sido llamado “microrred metálica ultraligera” y, de acuerdo con un comunicado de prensa enviado por la Universidad de California en Irvine, está formado en un 99,99 % de aire gracias a su arquitectura celular de “microrred”.

“El truco consiste en fabricar una red de tubos huecos interconectados con un espesor de pared de mil veces más fina que un cabello humano”,



Crédito de la figura: Dan Little/HRL. Laboratories.

dijo el autor principal Tobias Shandler de HRL en el comunicado.

Para comprender la estructura del material, se debe pensar en la Torre Eiffel o el puente Golden Gate —que son a la vez ligeros y eficientes en peso— pero en una escala nanométrica.

El material de la imagen está hecho de un 90% de ní-

quel, pero Bill Carter, gerente del grupo de materiales con arquitectura en el HRL, dijo que puede ser hecho de otros materiales.

Los usos de tal material están todavía por determinarse. Lorenzo Valdevit, investigador principal de la UCI en el proyecto, mencionó, por ejemplo: la protección contra impactos, usos en la industria aeroespacial,

* Traducido del *LA Times*.

cial, amortiguación acústica y, tal vez, algunas aplicaciones de baterías.

Mientras tanto, le pedimos a Bill Carter que dijera lo que pasaría si tiramos este material en el aire y esperamos a que caiga al suelo.

“Es algo así como una pluma que flota hacia abajo, y su velocidad máxima depende de la densidad” —dijo—. “En el caso del material más ligero que hemos fabricado se necesitan más de 10 segundos para caer desde una altura de los hombros.”

§

Más información en:
<http://latimesblogs.latimes.com/technology/2011/11/lightest-material-on-earth.html>
<http://www.sciencemag.org/content/334/6058/962>

▼ 24 de febrero de 2012

Recubrimiento NanoBlack para aplicaciones espaciales futuras



NanoBlack, un recubrimiento a base de nanotubos de carbono desarrollado por las empresas británicas ABSL Power Solutions y Surrey Nanosystems, consideran que será más flexible que la versión presentada por la NASA en 2011. Siendo el material más oscuro que se conoce hasta la fecha, absorbe hasta el 99% de la luz visible, infrarroja y ultravioleta, convirtiéndolo en material ideal

para instrumentos ópticos de alta sensibilidad como los que se usan en satélites y vehículos aeroespaciales.

Es de notarse que el grueso de materiales oscuros reflejan la luz infrarroja porque la estructura de la superficie que permite la absorción no es lo suficientemente amplia como para permitirlo. Debido a que los recubrimientos de nanotubos absorben una

muy alta proporción del espectro electromagnético, éstos son útiles para calibrar equipo óptico al proveer una referencia precisa. También pueden ser empleados como detectores de luz y para limitar la dispersión de luz en equipos. A diferencia de otros recubrimientos, NanoBlack se puede aplicar a bajas temperaturas y puede ser usado con una amplia gama de materiales, abriendo así su uso a aplicaciones espaciales de tipo comercial. Y es que el material no se aplica sino que crece directamente en la estructura por recubrir. Se espera que llegue al mercado para fines de 2012, después de algunas pruebas en curso.

§

Más información en:
www.theengineer.co.uk/sectors/aerospace/news/nanoblack-coating-could-soon-be-used-in-space-applications/1011847.article

▼ noviembre de 2011

MARINA y NanoValid, dos proyectos europeos nuevos para el manejo del riesgo y el análisis del ciclo de vida de los nanomateriales

NanoValid y MARINA (Managing Risks of Nanomaterials) son proyectos del Programa Marco 7 de la Unión Europea, lanzados el 1 de noviembre de 2011. Tienen una duración de 4 años y se consideran importantes de cara al esperado aumento de los niveles de exposición a los nanomateriales en un futuro próximo, ello conforme más productos nano se fabriquen y lleguen al mercado.

Los proyectos pretenden desarrollar un conjunto de métodos de referencia, así como de materiales para la identificación de peligros, la evaluación del riesgo y el desarrollo de análisis de ciclo de vida de los nanomateriales diseñados por el ser humano.

MARINA cuenta con un presupuesto de 9 millones de



euros y se centra en 4 variables con el propósito de desarrollar una estrategia de manejo del riesgo de los nanomateriales: materiales, exposición, peligro y riesgo <www.marina-fp7.eu>.

NanoValid, por su parte, ha conformado un consorcio internacional de 29 socios de todo el mundo y cubre sectores de la academia, institutos de investigación, organismos gubernamentales y la industria. Los avances de investigación y resultados estarán disponibles en: <www.nanovalid.eu>.



Ambos proyectos son parte del denominado NanoSafety Cluster <www.nanosafetycluster.eu>, organizado en siete grupos de trabajo: materiales, peligros, exposición, bases de datos, riesgo, modelado y disseminación de resultados.

▼ 21 de febrero de 2012

El gobierno francés responde a debate público

El gobierno de Francia aseguró que como respuesta al debate público realizado del 15 de octubre de 2009 al 24 de febrero de 2010, el presupuesto del gobierno en nanotecnología, de 80 millones de euros, 10% es destinado a cuestiones sociales y de la salud como me-

canismo para producir mayor conocimiento sobre los potenciales riesgos de los nanomateriales, así como para procurar aclarar las principales interrogantes éticas y sociales.

El gobierno reconoció la necesidad de invertir más en ecotoxicología y metrología, en



equipo para la caracterización de materiales, en educación y entrenamiento de los científicos (de las ciencias naturales, exactas y las ingenierías) en cuestiones sociales y ciencias humanas, así como en análisis riesgo-beneficio. A nivel europeo, el gobierno está pidiendo que se tomen cada vez más en cuenta las propiedades específicas de los materiales en las directivas y regulaciones europeas. En ese tenor, Francia apoya el etiquetamiento de productos de consumo que

contengan nanopartículas u otras nanoestructuras en tanto que en ese país ya es obligatorio declarar si los productos contienen nanomateriales (según el artículo 185 de la Ley del 12 de julio de 2010). También habla de la necesidad de esquemas de certificación para reducir o eliminar en el mayor grado posible la nanobasura.

Se apoya la conformación de comités éticos y de grupos de trabajo para el monitoreo de impactos sociales de la nanotecnología.

Finalmente, notifica la creación de un portal interministerial dedicado a la temática <www.nano.gouv.fr>.

§

Más información en: www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Les_engagements_du_Gouvernement_sur_les_suites_a_apporter_au_debat_public_relatif_au_developpement_et_a_la_regulation_des_nanotechnologies.pdf

▼ 19 de enero de 2012

Nanobiocidas por ser regulados: Parlamento Europeo

El Parlamento Europeo adoptó un borrador para la adopción de nuevas medidas regulatorias para los biocidas, incluyendo el caso de aquellos que hacen uso de la nanotecnología, la necesidad de realizar evaluaciones de riesgo y el etiquetado. En los próximos meses, de ser aprobada, la medida se aplicaría gradualmente a partir del 1 de septiembre de 2013 y hasta el 2020.

Se considera legalmente a los nanomateriales como aquella sustancia natural o manufacturada, activa o no activa, que contenga partículas en estado desordenado, agregado o como aglomerado donde el 50% o más de las partículas en una o más dimensiones externas se encuentre en el ran-

go de 1 a 100 nanómetros. Los fulerenos, las hojuelas de grafeno y los nanotubos de carbono de una capa por debajo de 1nm también son considerados como nanomateriales.

Se especifica que las sustancias activas que utilicen los productos biocidas deben ser aprobados a nivel europeo y, los productos biocidas en sí mismos, por la Unión Europea o un Estado miembro. Se aclara que la aprobación de una sustancia activa no incluye la aprobación de la misma sustancia activa conteniendo nanomateriales (artículo 4.4). Los nanomateriales autorizados deberán contar con evaluaciones de su riesgo al medio ambiente y a la salud por separado (artículo 19.1.f).

Todos los productos biocidas o aquellos que han sido tratados con los primeros deberán indicar en su etiquetado si contienen nanomateriales, proporcionando el nombre de todos los nanomateriales, seguido de la palabra nano entre corchetes. Asimismo, se debe comunicar cualquier riesgo específico relacionado.

§

El borrador de la aún iniciativa, de 245 páginas, se puede consultar en:

www.stepto.com/assets/htmldocuments/BPR%20Official%20Text.pdf

Implicaciones de la tecnociencia en la modernidad reflexiva. Complejidad, riesgo y democracia

EDGAR TAFOYA*

RESUMEN: El objetivo del presente artículo consiste en analizar la relación problemática entre la ciencia, la tecnología y la política en el escenario de las sociedades complejas, como soporte crítico que permita dar cuenta de las implicaciones de la tecnociencia en el contexto general de la modernidad reflexiva. De manera particular, el trabajo pretende avanzar en la comprensión de la relación contradictoria, tensa y ambivalente que se expresa de manera contemporánea entre la democracia y la tecnociencia, al generar un alto grado de complejidad social, incertidumbre y riesgo. Se trata de considerar, como problema central, si puede haber un modo democrático de planificar, evaluar y regular el desarrollo tecnocientífico o, de asumir como un hecho políticamente relevante, que la tecnociencia es intrínsecamente antidemocrática.

PALABRAS CLAVE: tecnociencia, modernidad reflexiva, complejidad, riesgo, sociedades complejas, democracia.

ABSTRACT: The aim of this paper is to analyze the problematic relationship between science, technology and politics on the stage of complex societies, such as critical support to give account of the implications of science and technology in the overall context of reflexive modernity. In particular, the paper contributes to the understanding of the contradictory relationship, tense and ambivalent expressed contemporaneously between democracy and techno, to generate a high degree of social complexity, uncertainty and risk. It is considered as a central problem, if there can be a democratic way to plan, evaluate and regulate techno-scientific development or to take politically relevant as a fact, that technology is inherently undemocratic.

KEYWORDS: technoscience, reflexive modernity, complexity, risk, complex societies, democracy.

INTRODUCCIÓN

Una característica central de las sociedades complejas es la identificación estructural entre la ciencia y la tecnología, como parte de un entramado de relaciones de mutua dependencia que ha generado la emergencia de lo que se suele denominar tecnociencias. Los sistemas tecnocientíficos generan nuevas formas de producción de conocimiento que ya no responden a los esquemas epistémicos de la sociedad industrial del siglo XIX, toda vez que se caracterizan por involucrar intereses y valores de tipo militar, político, social, cultural y mercantil que rompen con la representación tradicional que se tenía de la ciencia moderna, y que se manifiestan en la forma de una interpenetración entre la esfera del conocimiento científico, la política, el mercado y el desarrollo industrial.

Así, las sociedades contemporáneas que, entre otras cosas, generan un alto grado de incertidumbre, riesgo y complejidad no pueden subsistir sin sistemas tecnocientíficos que procesan la materia, la energía e información necesaria para su estabilidad. Las tecnociencias, que operan en la forma de sistemas, con intenso intercambio y flujo de elementos, aceleran y aumentan la propia complejidad social de donde surgen. De

* Centro de Estudios Sociológicos, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM.

esta manera, en la medida en que las sociedades y sus interacciones con la naturaleza se hacen más complejas, las consecuencias del desarrollo tecnocientífico son más imprevisibles y riesgosas, mientras que la estabilidad política se vuelve más frágil.

En este escenario, podríamos afirmar que los sistemas tecnocientíficos tienen, en general, dos consecuencias contradictorias (o al menos una tensión permanente) sobre la sociedad y la naturaleza: por un lado, crean las bases materiales para la diversidad y la diferenciación social, suministrando los recursos materiales indispensables para la subsistencia social; pero, por otro, incrementan la concentración de la riqueza y del poder en pocas manos. Aquí, surge una paradoja que consiste en la idea de que no puede haber democracia sin tecnociencias (porque aquélla requiere de la provisión de grandes cantidades de información y de bienes materiales para ser distribuidos), pero el modelo de desarrollo de las tecnociencias actuales socava los fundamentos sociales de la cooperación y la igualdad democrática.

Es decir, si la democracia parece amenazada en el rumbo actual del desarrollo tecnocientífico mundial, todo indica que no cualquier forma de tecnociencia es viable en las sociedades democráticas; esto es así, toda vez que las tecnociencias constituyen la punta de lanza de nuevas modalidades de poder global. Esto es, los sistemas tecnocientíficos contemporáneos son intrínsecamente formas de poder material y simbólico. Pero, de modo inverso, las relaciones de poder en las sociedades actuales, tanto en lo local como en lo global, están modeladas por los mismos sistemas tecnocientíficos. La paradoja parece más que evidente.

Ahora bien, si aceptamos esta primera afirmación, se hace preciso esclarecer analíticamente los siguientes elementos: a) cuáles son los componentes o medios tecnocientíficos principales de las prácticas políticas en las sociedades globales; b) cómo se encadenan y se relacionan ciencia, tecnología y poder; y, c) en qué medida esta imbricación entre estructuras sociales de poder y tecnociencias favorece o desfavorece la igualdad, la justicia y la pluralidad democráticas, o en qué medida no lo permiten.

Considerando lo anterior, la finalidad de este trabajo consiste precisamente en aportar los elementos necesarios que logren responder a la siguiente cuestión: ¿en qué términos y hasta dónde es posible sostener que las formas tecnológicas de vida generadas por el desarrollo de la tecnociencia se han convertido en los nuevos espacios imaginarios de poder en la sociedad contemporánea? De esta manera, la investigación intenta pensar los problemas que se derivan de: 1) la dimensión tecnocientífica inherente a la constitución de las sociedades complejas de nuestro tiempo; y, 2) la dimensión política esencial de toda tecnociencia, en tanto poder material y simbólico.

MODERNIDAD REFLEXIVA, SOCIEDADES COMPLEJAS Y RACIONALIDAD POLÍTICA DE LAS FORMAS TECNOLÓGICAS DE VIDA

Somos de la opinión de que, para hacer plausible esta consideración de fondo, la investigación tiene que ofrecer un diagnóstico general del estado de cosas en las que se encuentra envuelta nuestra sociedad contemporánea. Partimos de considerar que un análisis contemporáneo sobre la tensión esencial entre ciencia, política y tecnología tiene que tomar en cuenta una discusión más general sobre la modernidad, el tipo de sociedad que consideramos, así como la imagen de ciencia que tenemos en mente.

En particular, este trabajo considera que una de las discusiones actuales más acabadas sobre el diagnóstico de la sociedad moderna es la proporcionada por Ulrich

Beck, Anthony Giddens y Scott Lash en la noción de “modernidad reflexiva”; toda vez que caracterizan la modernidad tardía o avanzada en función de aspectos como riesgo, complejidad, incertidumbre, sistemas tecnológicos, conocimiento experto y formas de participación política. Al respecto, una visión que asume la idea de modernidad reflexiva en términos críticos y comprensivos es la tesis de Scott Lash sobre “la modernidad reflexiva y sus dobles”.¹ Esta propuesta es recogida con puntualidad para establecer un análisis general de la relación CTS, dentro de un contexto de sentido que aluda a los problemas de la modernidad actual.

De esta forma, se puede hacer evidente que, considerando las ganancias reflexivas de la teoría social contemporánea y la filosofía de la tecnología, uno de los componentes constitutivos de las sociedades complejas es la hibridación estructural entre la ciencia, la tecnología, la política, la cultura y el desarrollo tecnoindustrial, que generó hacia la segunda mitad del siglo XX una transformación radical en la forma de producción del conocimiento científico, mismo que dio paso a lo que se ha denominado *la emergencia de las tecnociencias*. Al mismo tiempo, es posible identificar que el desarrollo incontrolable de los sistemas tecnocientíficos ha producido una nueva configuración de lo social, dominada por las formas tecnológicas de vida, la informática y la producción de riesgos. Se trata de una nueva ontología tecnológica que, para decirlo con Fernando Broncano y Jorge Linares, ha generado todo un “mundo tecnológico” artificialmente construido.²

Pero ¿cuáles son las implicaciones analíticas de las afirmaciones anteriores? Podríamos sostener, de forma provisional e hipotética, las siguientes consideraciones: a) que para la comprensión de la sociedad contemporánea, en términos del alto nivel de complejidad que produce, tiene que tomarse en cuenta la relación estructural entre ciencia, tecnología, política y producción de riesgos; b) que el desarrollo de los sistemas tecnocientíficos, como una característica propia de las sociedades complejas, ha transformado nuestro mundo vital al punto de generar *formas tecnológicas de vida* que determinan buena parte de nuestras acciones cotidianas; c) las formas tecnológicas de vida y el mundo tecnológico en el que descasan, atraviesan las formas de organización social, política y cultural contemporáneas; por tanto, d) para poder entender la relación entre los sistemas tecnocientíficos y los sistemas de organización política, y en particular la tensión entre democracia y tecnociencia, se hace necesario una comprensión general de esta nueva ontología social dominada por la tecnología.

Esto es, que si el mundo de la vida descrito por autores como Husserl, Schutz y Habermas, como un mundo social naturalmente dado, no puesto en cuestión e intersubjetivamente compartido, está atravesado ahora por el desarrollo de los sistemas tecnocientíficos, este mundo de la vida no puede ser más un “mundo práctico-natural” (como lo describió Husserl), sino que se ha convertido, para decirlo con Scott Lash, en un “mundo tecnológico de vida”.³ Este dictamen sociológico es coincidente con la tesis ontológica de la filosofía de la tecnología expuesta por Ramón Queralto, Jorge Linares y Fernando Broncano, en el sentido de que una descripción contemporánea de nuestro espacio vital, de nuestro mundo actual, es más exacta si se toma en cuenta el peso de los sistemas tecnológicos sobre nuestras formas de organización social y política.

¹ Ver Giddens; Lash y Beck (1997).

² Ver Broncano (2000) y, Linares (2008).

³ Véase Lash (2006); en particular, todo el apartado sobre las “Formas tecnológicas de vida”, p. 43 y ss.

Si nuestro mundo actual está, por decirlo de algún modo, tecnológicamente configurado, toda alusión a las formas contemporáneas de organización social y política tiene que considerarse como “formas tecnológicas de vida”. En el mundo tecnológico, en el que descansan las formas tecnológicas de vida, se producen las relaciones de ciencia, tecnología y política contemporáneas, se generan nuevas formas de conocimiento, y se crean códigos distintos de reflexión sobre la política, la vida pública y la democracia. Lo que sostenemos aquí, inicialmente, es que para considerar la relación entre ciencia, tecnología, política y sociedad, como un problema socialmente relevante, es necesario tomar en cuenta esta nueva ontología tecnológica. Más aún, somos de la opinión de que para contribuir con los distintos estudios CTS, es indispensable partir de un análisis sobre el mundo tecnológico de vida. Pero ¿por qué es plausible una afirmación como ésta? Para decirlo, acudimos al propio Lash:

[...] en las formas de vida el conocimiento tiene lugar en el mundo de la vida, a través del sujeto entendido como vida (el cuerpo, el interés de clase, el inconsciente, la voluntad de poder). Al ubicarnos, con las cosas, en el mundo, y ya no por encima de ellas, nos enfrentamos a las estructuras ontológicas más profundas [...] ¿Qué pasa cuando las formas de vida se convierten en tecnológicas?⁴

Desde la teoría política, Langdon Winner parte de un análisis muy semejante al afirmar que todo problema de filosofía política contemporánea tiene que tomar en cuenta la tecnología como un elemento central. Pero es más radical en sus argumentos, toda vez que asume que no hay problema político que no se cruce con algún aspecto de ciencia y tecnología, al mismo tiempo que los problemas de la filosofía de la tecnología y de la ciencia tienen que asumir los viejos temas de justicia social, igualdad, democracia o participación pública de los que se ha encargado la teoría política. Pero con un plus, por decirlo así, asumiendo que las tecnologías —dice el propio autor—, son “formas de vida”.⁵ Como se puede ver, Winner llega a la misma conclusión que Lash, al asumir como un problema central para la teoría social y política el despliegue actual de los sistemas tecnológicos.

Con esta posición también coincide Manuel Castells al caracterizar la moderna sociedad capitalista en términos de una “sociedad de la información”,⁶ es decir, como una sociedad que desenvuelve la mayoría de sus formas de vida organizativa en operaciones que se producen en red y sobre plataformas tecnológicas e informáticas. Este mundo tecnológico donde se despliegan las formas tecnológicas de vida, puede ser caracterizado también, como lo hace Javier Echeverría, como el “tercer entorno”.⁷ Siguiendo el diagnóstico de Castells, Echeverría afirma que a diferencia del primer entorno que es natural, y del segundo que es de tipo cultural y social, el tercer entorno está dominado por la tecnología, el conocimiento tecnocientífico, la informática y los artefactos electrónicos. Con esta caracterización coincidiría Marshall McLuhan en su tratado sobre “la aldea global” y la información.⁸

⁴ *Loc. cit.*

⁵ Para mayor extensión sobre este tema tratado desde la teoría política, se puede consultar “Las tecnologías como forma de vida”, en Winner (1987), p. 35 en adelante.

⁶ Castells (2002).

⁷ Ver más en Echeverría (1999), p. 48 y ss.

⁸ Véase McLuhan (1990).

Otra idea sobre la importancia de la tecnología para la comprensión de la sociedad contemporánea es la caracterización que Fernando Broncano ofrece desde la filosofía de la tecnología. A decir del autor, y esta posición es coincidente con la expuesta por los autores anteriores, la revolución tecnológica de la información convirtió al mundo en un “sistema complejo de interacciones” que, entre otras cosas, colocó a la tecnología como “problema filosófico de primer orden”.⁹ Esto es así, toda vez que, a decir del autor, la tecnología:

[...] ha desbancado al mundo físico y al mundo social de su lugar de objetos privilegiados de reflexión que ocuparon en las edades clásicas de la filosofía y en épocas más recientes (el siglo XIX), respectivamente. Y se ha alzado a ese puesto por la cercanía de los sistemas tecnológicos en todos los intersticios de la vida: cotidiana, social, histórica. El horizonte que nos rodea, el paisaje que observamos todos los días e incluso lo que permanece oculto, como lo están las ondas electromagnéticas que traen la información a nuestros aparatos, conforma nuestra nueva naturaleza y el ámbito de nuestras preguntas últimas.¹⁰

Si como afirma Broncano, la tecnología transformó el paisaje natural donde habitábamos configurando una “nueva naturaleza”, o “sobrenaturaleza” como lo afirma Echeverría para definir al tercer entorno, quiere decir que la racionalidad tecnológica, y particularmente la racionalidad política de la tecnología, se convierte en un fenómeno de primer orden para las reflexiones en CTS. Esto es así, toda vez que, como asegura Broncano: “La tecnología significa la irrupción de grandes sistemas en los que están implicados técnicas, conocimientos, instituciones sociales, investigadores e ingenieros y patrones de uso”.¹¹ Es decir, la tecnología implica una transformación radical de las formas de vida social y de los entornos naturales dados; y esto fue posible sólo en el advenimiento, como indicaba el economista Daniel Bell en los años sesenta y setenta, de la *sociedad postindustrial*.¹²

Se puede observar así que, desde la teoría política, la filosofía de la ciencia, la filosofía de la tecnología o la teoría sociológica es coincidente una posición sobre la relevancia de la tecnología para el análisis social y político. Más aún, parece ser una constante la idea de que una comprensión del mundo actual no puede prescindir de una discusión sobre el conocimiento, la ciencia y las tecnologías. Y de forma simultánea, un análisis sobre la realidad social y las formas de organización política contemporáneas, que deseche la comprensión de los sistemas tecnocientíficos, quedaría incompleto.

RIESGO GLOBAL, SOCIEDADES COMPLEJAS Y TECNOCIENCIAS

Tanto la moderna sociedad industrial del siglo XIX como la sociedad postindustrial del siglo XX basada en la información, el conocimiento, la tecnología y los sistemas informáticos poseen una característica similar: basaron el desarrollo social, el crecimiento económico y la organización de la vida pública en la sobreexplotación de los recursos naturales. Así, el principio casi paradigmático que permitió por mucho tiempo

⁹ Broncano, *op. cit.*, p. 19 y 20.

¹⁰ *Ibid.*, p. 20.

¹¹ *Loc. cit.*

¹² Citado en Broncano (2000), p. 21.

el funcionamiento operativo de los modernos sistemas sociales se centró en la sobreproducción tecnointustrial, el desarrollo científicotecnológico, así como en el aprovechamiento de los recursos orgánicos y físicos provenientes de la naturaleza.¹³ Las consecuencias no previstas de un modelo de desarrollo de este tipo han redundado en una crisis ecológica global sin precedentes en la historia; de aquí que pensar el mundo contemporáneo en términos de complejidad social y ambiental signifique ubicarse en el campo del riesgo global.¹⁴

Nos referimos a la noción de *riesgo global* utilizada por Ulrich Beck, para la descripción de la sociedad postindustrial en el contexto general de la modernidad reflexiva. Aquí, sirve la distinción entre primera y segunda modernidad hecha por el autor, para referirse a la transición entre “la primera modernización, simple, lineal e industrial, basada en el estado nacional” a un tipo de “modernización radicalizada” basada en el conocimiento, la invención del futuro y la generalización de los riesgos globales. En este sentido, acudimos a la idea de “riesgo global” para hacer alusión a la descripción utilizada de la modernización reflexiva que, además, incluye las distintas formas de modernidad no Occidentales, la interdependencia de las naciones, y las formas de “múltiples modernidades” no europeas.

Siguiendo esta distinción, podemos indicar con Beck que una característica de las sociedades complejas¹⁵ es la aparición de una creciente percepción social del *riesgo* como efecto no calculado, entre otras cosas, de la sobreproducción industrial, la expansión simbólica y material de los sistemas tecnológicos a casi todos los campos sociales, la sobrexplotación de los recursos naturales, así como el incremento progresivo del deterioro de los ecosistemas. Aquí, entenderemos por riesgo global la descripción utilizada por el autor para una representación de sociedades complejas: “Riesgo es el enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana, las diversas consecuencias no deseadas de la modernización radicalizada. Es un intento (institucionalizado) de colonizar el futuro [...] el régimen de riesgo es una función de un orden nuevo: no es nacional sino global”.¹⁶

Si esto es así, podríamos indicar que una de las características centrales de las sociedades complejas es la compenetración estructural entre la ciencia y la tecnología, respecto a los riesgos ambientales y sociales, como parte de un entramado de relaciones de mutua dependencia que dio paso a las formas tecnociencias de conocimiento. Las sociedades complejas generaron el surgimiento de las formas tecnocientíficas de producción de conocimiento, y éstas son, a su vez, uno de sus elementos definitorios.

¹³ Véase el diagnóstico que Javier Echeverría realiza respecto a la relación entre conocimiento científicotecnológico (tecnocientífico), desarrollo industrial y recursos naturales, en función de los cambios axiológicos sobre la concepción del conocimiento científico. Particularmente su “Caracterización de la tecnociencia” en Echeverría (2003), cap. 2. Un análisis muy sugerente en este sentido es el que proporciona Langdon Winner en su libro *La ballena y el reactor*, al hablar de los ecosistemas y bienes naturales como problemas de “exceso y límite” en la sociedad contemporánea; Winner (1987), p. 183 y ss.

¹⁴ Véase Beck (2002), sobre todo caps. 2 y 3.

¹⁵ Para ver más sobre esta idea consulta Beck (1998), apartado sobre “Perspectiva: naturaleza y sociedad a finales del siglo XX”, p. 89-92.

¹⁶ Beck (2002), p. 5.

Sociedades complejas: crisis ambiental, globalización y modernidad avanzada

Cuando hablamos de sociedades complejas, nos referimos al atributo conceptual contemporáneo dado a la “modernidad avanzada o reflexiva” (en el sentido de Ulrich Beck) o a la “modernidad tardía” (en el sentido de Anthony Giddens). Se trata de una atribución de significado de las sociedades contemporáneas en la modernidad tardía, caracterizadas por dejar de lado no sólo los pliegues de la sociedad tradicional sino, sobre todo, las bases organizativas de la moderna sociedad industrial.

En ese sentido, el término “sociedades complejas” hace alusión al tipo de sociedad moderna “avanzada” que, según Beck, posee una cualidad particular respecto a la relación que guarda con su alteridad radical (el mundo natural o entorno ambiental y ecosistémico), a saber: la sociedad contemporánea incluye a la naturaleza como un problema social, con atribuciones sociales y con consecuencias complejas para los subsistemas sociales; con ello —afirma el autor—, la modernidad reflexiva deja de lado la dicotomía sociedad–naturaleza, para integrarla en una sola realidad global.

El efecto de esta posición es que, a diferencia de la primera y segunda modernidad, ubicadas en los siglos XVI al XIX, en la *modernidad avanzada* (situada analíticamente en términos de *sociedad de riesgo*) la sociedad y sus sistemas parciales “ya no se pueden comprender de una manera ‘autónoma respecto de la naturaleza’. Los problemas del medio ambiente *no* son problemas del entorno, sino (en su génesis y en sus consecuencias) problemas *sociales*”. Esto quiere decir que, según nuestra consideración y siguiendo a Beck, las sociedades complejas como tipos de sociedades características de la modernidad tardía incluyen dentro de sus dinámicas operativas sistémicas los problemas ambientales como constitutivamente sociales. Así, por *sociedades complejas* nos referimos a aquel tipo de organización social contemporánea que asume el riesgo, la contingencia, la incertidumbre y los ecosistemas naturales, como atributos de la complejidad de los sistemas parciales de la sociedad.

Otra noción de sociedades complejas defendida en este trabajo, también es coincidente con la posición de Luhmann respecto a la modernidad contemporánea y su atributo de “complejidad estructural” de tipo organizativa. Para el autor, una característica de la sociedad contemporánea son los crecientes procesos de diferenciación, mismos que dejan atrás “la riqueza de las sociedades tradicionales” y asumen la complejidad organizativa de la sociedad actual como una base de sus operaciones: “Las diferenciaciones tan avanzadas en la actualidad, no sólo son posibles analíticamente, pertenecen a la realidad del sentido de la sociedad contemporánea como una especie de conciencia de fondo”.¹⁷

Otra manera de caracterizar la sociedad contemporánea en términos de su complejidad es a través del proceso de globalización y la expansión de la racionalidad práctica del sistema capitalista como un modelo específico de desarrollo. Aquí, habría que señalar que la racionalidad práctica de la sociedad contemporánea reducida a la eficiencia económica,¹⁸ la lógica de la acumulación, el crecimiento, el consumo y el desecho, ha generado altos grados de incertidumbre, desconfianza, inseguridad y

¹⁷ Se puede ver Luhmann, Niklas (1998b), p. 103 y 104; otras versiones de la misma idea en Luhmann (1998a); así como en Luhmann (1997).

¹⁸ Conviene hacer una precisión conceptual de inicio, sobre todo para dejar claro cuál es la intención del argumento que, en adelante, iremos construyendo respecto a las consecuencias sociales y ambientales de los excesos de la racionalidad práctico-instrumental reducida a la noción de eficiencia económica. Dicha claridad conceptual puede ser obtenida desde el campo de la filosofía de la tecnología, sobre todo en lo que respecta a la distinción entre eficiencia técnica y eficiencia económica. Como bien asegura Miguel Ángel Quintanilla

peligro en distintos ámbitos de la vida cotidiana.¹⁹ Los patrones de producción de la sociedad industrial y en general el sistema organizativo de la sociedad moderna se ordenan sobre la base de un principio de desarrollo acumulativo que generó efectos devastadores para la vida social y ambiental en muy corto plazo: de mediados del siglo XIX hasta inicios del siglo XXI, la sociedad global no había experimentado una crisis civilizatoria tan generalizada en los ámbitos ecológicos, políticos y culturales como la que presenciamos en la actualidad.²⁰

El caso de Inglaterra es altamente representativo de ello, toda vez que la Revolución industrial demostró cómo fue que la economía actual y destacados procesos de producción se consolidaron como una economía de base industrial tecnificada. El historiador Eric Hobsbawm lo señala de esta manera: “Sólo una economía estaba industrializada efectivamente en 1848, la británica, y, como consecuencia, dominaba al mundo”.²¹ Un modelo industrial que, a propósito, después sería adoptado por toda Europa y el resto del mundo, y que produciría cambios en las comunicaciones, las manifestaciones políticas, las expresiones culturales, hasta generalizarse en una verdadera transformación en la cosmovisión contemporánea, con consecuencias materiales negativas que duran hasta nuestros días: como es el caso del *cambio climático*.²²

en su texto *Tecnología: un enfoque filosófico*, regularmente suele confundirse la racionalidad práctica (racionalidad instrumental en el sentido weberiano de la relación de adecuación de medios a fines) con la idea de eficiencia económica; y ésta, a su vez, con la noción de eficiencia técnica. Más aún, regularmente se reduce la racionalidad práctica al nivel de éxito económico obtenido en un sistema de acción, cuando —como asegura Quintanilla— la racionalidad práctico-instrumental no puede ser simplificada exclusivamente a la relación costo-beneficio. La diferencia consiste, y aquí su importancia para el caso de nuestra argumentación posterior, en lo siguiente: tanto el tipo de eficiencia técnica como económica ilustran formas de racionalidad instrumental, sin embargo, el principio de eficiencia económica opera bajo los códigos de rendimiento en función de costo-beneficio; mientras que la eficiencia técnica se puede medir en función del nivel de adecuación entre los objetivos propuestos y los resultados mismos de la acción.

Es decir, la eficiencia técnica no depende de los valores de costo-beneficio, toda vez que una acción es técnicamente eficiente “en la medida en que consigue los objetivos que se propone y además consigue que no se produzcan resultados no deseados”. Aquí radica la precisión conceptual para nuestro argumento respecto a cómo la racionalidad práctica se ha vuelto puramente utilitaria, mercantil y acumulativa en la sociedad contemporánea: para Quintanilla, la eficiencia técnica no es de tipo económica porque equilibra la relación entre objetivos y resultados, sin ocasionar daños no previstos; mientras que la racionalidad económica (costo-beneficio) regularmente da lugar a consecuencias no deseadas, toda vez que una acción económica depende del sistema global de producción-consumo-ganancia-desecho. Un ejemplo de ello es la sobreproducción industrial que depende del sistema global de mercado, y las consecuencias no calculadas respecto a los profundos daños al medio ambiente, como es el hecho del cambio climático. En el caso de este trabajo, se hablará de racionalidad práctico-instrumental para aludir a su reducción en la lógica de la eficiencia económica que producen los sistemas tecnoindustriales y de mercado. Para ver más sobre esta distinción, consúltese Quintanilla (2005), p. 217-219.

¹⁹ Para esta descripción de fenómenos contemporáneos como riesgo, incertidumbre, peligro y desconfianza propios de una modernidad tardía que, entre otras cosas, contiene tipos de sociedades complejas, puede revisarse Luhmann (2006 [1]), apartados I y II, p. 45-95; Beriain (2007); en particular los atributos de la sociedad moderna en términos de “contingencia” en Luhmann, p. 173 y ss., de “ambivalencia” en Bauman, p. 73-119; así como del “riesgo” en Beck, p. 201-222. Para una exploración sistemática de los temas de desconfianza, inseguridad, angustia y peligro, véase Giddens (1997), en particular apartados 2 y 4.

²⁰ Un análisis puntual sobre la relación entre los modelos de producción industrial y las formas de organización social moderna, respecto a las consecuencias no deseadas de los desastres ambientales de carácter global como un problema civilizatorio, puede revisarse en Beck (2002) sobre todo el apartado “La globalización de los riesgos civilizatorios”, p. 40 y ss.

²¹ Hobsbawm (1971), p. 560 y ss.

²² Recordemos que para echar a andar la gran maquinaria industrial del capitalismo se ha utilizado energía no renovable desde entonces: petróleo, carbón, gas, entre otras fuentes de energía. La contradicción

Precisamente, el proceso de globalización permitió estandarizar un modo de producción y desarrollo que se extendió de Europa hacia el resto del mundo casi sin ningún tipo de obstáculo material. Los procesos de diferenciación social, los fenómenos de migración, la división social del trabajo fabril y la dinámica propia de los medios de comunicación (terrestres como la máquina de vapor en un inicio e informáticos hasta la fecha) generaron una pronta expansión del sistema de producción capitalista, que muy pronto se generalizó hasta nuestros días.²³

Además de la colonización de fines del siglo XIX, el proceso de mundialización de la racionalidad económica capitalista fue acelerado y posible gracias a las nuevas tecnologías de la información.²⁴ La comunidad global y su autocomprensión en la forma de organismos internacionales que norman la vida pública a escala planetaria (como la ONU, la UNESCO, la OMC o la misma Corte Penal Internacional por citar sólo algunas) son el resultado de esta nueva dinámica propia de las sociedades complejas. Con esta idea coincide Hobsbawm, al afirmar que tanto los procesos desatados por la Revolución francesa, como por la Revolución industrial y la Revolución científica, en el periodo comprendido de 1748 a 1848, marcaron decisivamente nuestra época actual:

Puesto que la doble revolución ocurrió en una parte de Europa, y sus efectos más importantes e inmediatos fueron más evidentes allí, es inevitable que la historia (de este suceso) sea principalmente regional [...] que por haberse esparcido la revolución mundial desde el doble cráter de Inglaterra y Francia tomase la forma de una expansión europea y conquistase al resto del Mundo [...] su consecuencia más importante para la historia universal fue el establecimiento del dominio del globo por parte de unos cuantos regímenes occidentales (especialmente por el inglés) sin paralelo en la historia.²⁵

Aquí, es importante destacar que sin el proceso de globalización y expansión de la racionalidad operativa tecnoindustrial del capitalismo, sería casi imposible conce-

es que conforme estos cambios y avances tecnológicos se producían, paralelamente se causaba un daño irreversible al planeta. Basta un ejemplo: el efecto del cambio climático, se produjo desde las primeras emisiones de carbono en el siglo XIX, según lo considera el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en la posición de enero de 2001 que a la letra establece: "Un creciente cuerpo de observaciones ofrecen una visión de un mundo en calentamiento y otros cambios en el sistema climático [...] Hay nuevas pruebas más fehacientes de que la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a actividades humanas", en IPCC, *Climate change 2001: Working group I: The scientific basis*, enero 2001, también disponible en: <<http://www.ipcc.ch/>>. [Consultado el 1 de julio de 2011]. Una versión sintética y traducida al castellano puede encontrarse en: <http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_opinion_on_climate_change>. [Consultado el 1 de julio de 2011], así como en: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/pdf/wg1sum.pdf>. [Consultado el 1 de julio de 2011].

Sobre este tema, también puede revisarse Oreskes, Naomi, *The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong?*, in DiMento, Joseph F. C., Doughman, Pamela M., *Climate change: What it means for us, our children, and our grandchildren*, The MIT Press, p. 68. Otra versión importante sobre el problema es posible consultarse en *Impacts of a warming arctic: Arctic climate impact assessment new scientific consensus: Arctic is warming rapidly*, UNEP/GRID-Arendal, [en línea], Disponible en <<http://www.grida.no/polar/news/2427.aspx>> [Consultado el 30 de enero de 2010].

²³ Véase, por ejemplo, el amplio diagnóstico descriptivo proporcionado por Manuel Castells en *La era de la información*, donde se establece una conexión indisoluble entre el capitalismo informacional, la globalización y el desarrollo de las tecnologías informáticas de operación en red. Castells (2002), en particular el punto 2 sobre: "El cuarto mundo: capitalismo informacional, pobreza y exclusión social".

²⁴ *Loc. cit.*

²⁵ *Loc. cit.*

bir tanto los desastres ecológicos actuales como las respuestas políticas generadas. El desarrollo sustentable, por ejemplo, es una estrategia contemporánea socialmente reflexiva para ordenar este proceso expansivo que dio comienzo siglos atrás. Es decir, tras el deterioro paulatino de los ecosistemas debido al indiscriminado desarrollo tecnoindustrial, el discurso de la sustentabilidad apareció como una estrategia políticamente reflexiva y socialmente responsable de política pública, capaz de orientarse sosteniblemente en el marco de complejidad organizativa propio de las sociedades complejas.

Con ello se quiere indicar que, si tomamos en cuenta las características antes referidas para la descripción del estado de cosas en la sociedad contemporánea: riesgo, alta tecnología, crisis de los ecosistemas, disminución de los recursos naturales, globalización, sistemas informáticos; simultáneamente, tenemos que considerar dos de los pilares del actual modelo de desarrollo: la expansión de la racionalidad económico-industrial como modelo operativo, así como la ciencia y la tecnología aplicada al descubrimiento y utilización de la naturaleza sometida a la técnica.²⁶

Así, una caracterización de las sociedades complejas debe correlacionar no sólo el modelo de desarrollo imperante con el medio ambiente, como piensan muchos,²⁷ sino la crisis ambiental global con las bases organizativas de la sociedad mundial, respecto a la noción de vida, bienestar, educación, racionalidad y humanidad.²⁸ A la par de ello, sería pertinente poner en juego la relación que existe entre la biodiversidad, la democracia y la pluralidad cultural.²⁹

En este sentido, la noción de *sociedades complejas* es importante, toda vez que permite una visión ampliada del problema. La tipificación que se propone al respecto sigue una línea de reflexión que, además del dictamen sociológico propuesto por Beck en su idea de *sociedad de riesgo*, propone Anthony Giddens acerca de las *consecuencias no deseadas de las acciones* en la dinámica de las sociedades contemporáneas.³⁰ Ambos autores realizan, junto a Scott Lash, un análisis sumamente sugerente

²⁶ Para más información sobre este punto, ver Broncano (2000), p. 19 y ss., sobre la “racionalidad tecnológica”.

²⁷ Desde el texto “Nuestro futuro común”, Cfr. *Informe Brudtland*, hasta las formas más concretas de planificación social de los países latinoamericanos proporcionadas por las directrices de la OCDE, el BID o la misma CEPAL, se concibe la sustentabilidad únicamente como una conciliación entre medio ambiente y desarrollo, sin proporcionar una salida alternativa al problema de fondo. Nuestra posición se centra más en el argumento que presentan Enrique Leff, Arturo Argueta y otros en su texto “Más allá del desarrollo sustentable”, al proponer el concepto de “racionalidad ambiental para la sustentabilidad”, como alternativa de modelo para el caso de América Latina. En él, los autores formulan una noción ampliada de sustentabilidad, basada en una forma de concepción de la ecología y la sociedad global. Véase más sobre esta posición en Leff, Enrique, Argueta, Arturo, Eckart Boege y Porto, Carlos, “Más allá del desarrollo sustentable. La construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: una visión desde América Latina”, en Leff, Enrique y otros (comps.), *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*, INESEMARNAT-UAM-PNUMA, México, 2002, p. 479-578.

²⁸ En este sentido se dirige Ana María López, remitiéndose a la conferencia de Carlos Julio Galano “Complejidad y diálogo de saberes, nuevo pensamiento y racionalidad ambiental” dictada en el Primer Congreso Nacional de Educación Ambiental, en abril de 2005, al plantear la posibilidad de “pensar en términos de complejidad ambiental para trascender los límites del pensamiento actual e instalar en los sistemas educativos lo que la modernidad se encargó de dejar fuera: la vida”, en López, Ana María, “La crisis ambiental, crisis de la humanidad, la cultura y las ciencias”, *Ciencia-Ergo Sum*, México, Universidad Autónoma del Estado de México, año/vol. 12, noviembre-febrero, núm. 003, p. 317-320.

²⁹ Véase Leff (2004), sobre todo cap. 9, y en particular p. 406 y ss.

³⁰ Ver Giddens (1994); así como Giddens, Lash y Beck (1997). Existe una ganancia teórica de notable importancia aportada por la teoría sociológica, respecto a la forma de caracterizar lo que de conjunto podríamos denominar *sociedades complejas*, identificadas como: sociedades de riesgo (Beck, Luhmann y Giddens),

acerca de la sociedad contemporánea en términos de *procesos de modernización reflexiva* que, entre otras cosas, asume el tema del riesgo, los desarrollos tecnológicos, la democracia, los problemas medioambientales y la participación ciudadana, como elementos constitutivos que definen la complejidad social. Esto es importante para el caso de nuestro argumento, pues para hablar de la relación entre ciencia, tecnología y política, y en particular de la tensión entre democracia y sistemas tecnocientíficos, es necesario analizar el estado por el que atraviesa la sociedad global.

Ahora bien, si las consecuencias no previstas del desarrollo industrial desde el siglo XIX han sido la sobreexplotación de los recursos, los altos consumos de energía no renovable necesaria para la producción en serie de los sistemas tecnológicos, y el deterioro ecológico mundial; la pregunta es hasta dónde es posible una reflexión sobre la racionalidad política de la tecnología, asumiendo como relevante un nuevo principio de organización social de escala planetaria, caracterizado por la emergencia de las tecnociencias. Aquí recae la reflexividad de las sociedades complejas, en que los procesos de modernización no sólo representan dinámicas de racionalización práctica de la vida social, sino la formulación de nuevos códigos normativos de convivencia que se transforman en el tiempo, al considerar la emergencia de los nuevos agentes de riesgo, contingencia e inseguridad.³¹

Para el caso de nuestro argumento, esto supone que no sólo es pertinente la pregunta por la relación entre democracia, medio ambiente y tecnociencia, en el contexto de las sociedades complejas, sino operativamente urgente, toda vez que sin estrategias de largo alcance es posible un tipo de colapso ambiental global,³² como lo registran los informes recientes sobre cambio climático, efecto invernadero o emisión de gases tóxicos.³³ Podríamos indicar que si una característica de las sociedades com-

sociedades de la información y del conocimiento (Castells y antes la teoría económica de Lane, Machlup, Drucker, Bell, Stehr), sociedades globales y reflexivas (Bourdieu, Giddens, Luhmann, Lash, Beck), sociedades líquidas y ambivalentes (Bauman) o sociedades diferenciadas y autopoieticas (Luhmann).

³¹ Una de estas entidades emergentes es la tecnología o, de forma más rigurosa, el desarrollo de los sistemas tecnológicos y su expansión. Para ver más sobre la "alta tecnología" como factor emergente de riesgo en la sociedad contemporánea, véase Luhmann (2006 [1]) p. 131 y ss.

³² La tesis de la autorregulación como efecto operativo de la sociedad global consigo misma permite calcular la estrategia de la sociedad como sistema, para autodefinirse en la forma de una situación de crisis planetaria. Por ejemplo, el principio de precaución y la creciente literatura sobre "evaluación de riesgos" pueden ser comprendidos como una dinámica de autorregulación, autocontrol y autolimitación de la sociedad contemporánea. Así lo demuestra la temprana tesis de la "entropía económica" de Georgescu-Roegen en su texto "La ley de la entropía y el proceso económico" (*The entropy law and the economic process*, Harvard University Press, 1971) considerada una obra fundacional de la "economía ecológica" y para los fundamentos de la "teoría del decrecimiento económico" (por ejemplo, de los economistas Herman Daly o Bertrand de Jouvenel). Se puede ver también Rifkin y Howard (1990).

³³ Éste fue el sentido que tuvo la Cumbre de Río de Janeiro de 1992, misma que por primera vez expondría el papel central del medio ambiente en el escenario de los sistemas sociales de la sociedad global. En la reunión, los líderes mundiales adoptaron el plan conocido como *Agenda 21*, para convertirlo en un ambicioso programa de acción para el desarrollo sostenible global. Entre sus áreas de actuación y entre sus principales competencias se encontraban, principalmente, la lucha contra el cambio climático, la protección de la biodiversidad, y la eliminación de las sustancias tóxicas emitidas. A partir de entonces, se produjeron un buen número de encuentros orientados a alcanzar un acuerdo internacional en esta materia, como lo fueron las posteriores Cumbres sobre Cambio Climático; una de ellas sería *La Cumbre de Kioto*, de 1997, en la que se alcanzaron compromisos concretos y un calendario de acciones específicas. En esta cumbre, por cierto, se lograría un acuerdo vinculante de todos los países firmantes para que, durante el periodo del 2008 al 2012, se redujeran las emisiones de gases de efecto invernadero en un 5.2% respecto a los emitidos hasta 1990; asimismo, se adoptó el Primer Protocolo (*Protocolo de Kioto*) que desarrollaba el Convenio Marco

plejas es la compenetración estructural entre la ciencia y la tecnología, como parte de un entramado de relaciones de mutua dependencia que ha generado la emergencia de los sistemas tecnocientíficos complejos, éstos involucran intereses y valores de tipo industrial, político, social, cultural y ambiental que rompen con la representación tradicional que se tenía de la sociedad moderna. Cabe decir, además, que estos sistemas generan nuevas formas de producción de conocimiento y organización social, que ya no responden a los esquemas epistémicos de las sociedades industriales, ni a las teorías políticas clásicas; sino a modelos analíticos de epistemología política, ciencia posnormal, filosofía política de la ciencia³⁴ o ecología política, por citar sólo algunos ejemplos de saberes propios de la modernidad reflexiva.

Es decir, los sistemas tecnológicos de alta complejidad, y sus respectivas consecuencias no previstas, operan en el trasfondo de una modernidad reflexiva;³⁵ de aquí que sólo sea posible señalar la interpenetración indistinta del conocimiento científico-tecnológico con la política, el mercado, la ética, el medio ambiente y la cultura, como una manifestación objetiva de una segunda modernidad. Y en este escenario es donde se mueven las tecnociencias que, entre otras cosas, constituyen formas globales de dominación.

Tecnociencia y nuevas formas de producción de conocimiento

Según Javier Echeverría, una revisión filosófica sobre los cambios que ha sufrido la ciencia desde el siglo XIX con el proceso de industrialización y tecnificación, no tiene que darse sólo en los términos de ritmo y aumento de tamaño, sino sobre todo en el cambio estructural producido al interior de las prácticas científicas. Esto es, que el cambio característico de la ciencia en el siglo XX es el producto de una profunda revolución en la ciencia y la tecnología y, más específicamente, en la estructura de las actividades tecnocientíficas.

En este sentido, según lo indicado por el autor, lo que se observa en la revolución tecnocientífica del siglo XX, es una “transformación radical de la estructura de la actividad científica”³⁶ que incluye cambios teóricos, pero también de tipo normativo y axiológico y, según nuestra consideración, también de tipo político. A decir de Echeverría, este cambio estructural puede ser observado en distintos niveles: tanto en el tamaño y el ritmo (como lo indicaba Solla Price), como en los objetivos, el comportamiento de las comunidades científicas, los modos de organización de la investigación, los criterios de valoración de los resultados, o los valores de operación con que se gestiona, se crea y se distribuyen los resultados/productos tecnocientíficos.³⁷

Todo en conjunto que puede ser comprendido como la estructura de las prácticas tecnocientíficas, sin embargo, no es más que el resultado de una fuerte simbio-

de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Un informe detallado sobre cambio climático producto de la reunión de Río en 1992, se puede ver en The Royal Society of New Zealand, «Climate change statement from the Royal Society of New Zealand» [en línea]. Disponible en: <http://www.royalsociety.org.nz/Site/news/media_releases/2008/clim0708.aspx>. [Consultado el 1 de julio de 2011].

³⁴ Por ejemplo, la propuesta de epistemología política de Silvio Funtowicz, en su idea de *ciencia posnormal*, que es coincidente, según lo asegura el propio autor, con las tesis centrales de la ecología política. Ver más en Funtowicz y Ravetz (2000). También se puede consultar sobre el tema de epistemología política Fuller (2000).

³⁵ Así lo indica Hughes para el caso de “los grandes sistemas tecnológicos modernos”.

³⁶ Echeverría (2003), p. 23.

³⁷ *Ibid.*, p. 24.

sis entre la ciencia y la tecnología durante el siglo XX. Parece ser que este proceso de hibridación es el rasgo característico de la tecnociencia y del cambio estructural que se observa a nivel de la estructura de la actividad científica y tecnológica, aunado a la emergencia del poder industrial y empresarial para el control de las macro ciencias, por un lado, y a la informatización de todos los sistemas tecnocientíficos a fines del siglo XX.

Esto es, las tecnociencias se distinguen de la ciencia convencional, por un lado, y de lo que se llamó macrociencia (*big science*), por otro, sobre todo por la existencia de tipos de financiamiento primordialmente privado para el desarrollo científico y tecnológico, con fuertes implicaciones éticas y políticas, toda vez que este desarrollo del conocimiento está dirigido fundamentalmente al sector comercial, político o militar. Lo anterior significa que el conocimiento tecnocientífico generado se privatiza (por medio de las patentes) y tiene como propósitos centrales, el agrandamiento del sector industrial, del capital privado y no el beneficio social.

De este modo, la tecnociencia tiene como característica central la privatización del conocimiento, y se dirige a producir una economía del conocimiento dentro de una sociedad del conocimiento. Al interior de las tecnociencias se generan proyectos económico-industriales con fines privados y comerciales, dejando a la investigación científica subordinada a los intereses de las empresas transnacionales: esto quiere decir que la producción del conocimiento se encuentra subsumida a la dinámica del mercado global, de libre circulación y de tipo transnacional, es decir, a las dinámicas políticas de control, sometimiento, poder y participación política de tipo privatizadora.

Otra de las características centrales de la tecnociencia tiene que ver con una novedad en la forma de producción de conocimiento: el trabajo en red. Se trata de un cambio en la forma, pero sobre todo en la topología, ya que tiene que ver con el espacio de operación de la actividad científica. Según Echeverría, a diferencia de la ciencia de tipo tradicional que se edificaba sobre la base de operación directa en el laboratorio, en la tecnociencia las prácticas científicas ya no pueden desarrollarse de esta manera, toda vez que requieren de universos más abiertos y con mayor complejidad organizativa. Así, se pasa del laboratorio tradicional a los *laboratorios-red*.³⁸

La forma característica que adoptaría este tipo de espacios de operación de las tecnociencias es la de grandes conjuntos organizados de espacios coordinados de una manera abierta, y operados a través de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's). De esta manera, más que tratarse de espacios físicos de operación como lo considera Echeverría, se trata de sistemas complejos de organización y coordinación que adquieren funcionalidad mediante la utilización de centros virtuales y de conexiones en red.

Así, el laboratorio tradicional de la ciencia moderna se reestructura en la forma de nuevos espacios de organización, donde se trabaja en equipo, formando redes de información, compartiendo datos, transfiriendo códigos y cooperando de forma recíproca para la obtención de un fin primordial: generar conocimiento útil para el aumento de la ganancia y el desarrollo comercial. En esto radicará, entre otras cosas, la ruta de la innovación tecnológica.

Esto quiere decir que se pasa de un espacio topográficamente ubicado como *espacio físico* de obtención de información (el laboratorio tradicional), a un tipo de espacio de cooperación y coordinación virtual operado a través de tecnologías cibernéticas.

³⁸ *Ibid.*, p. 70.

Aquí, el centro monárquico de obtención de información cambió su constitución a un espacio heterárquico de cooperación y colaboración en red, apoyado y sostenido por un complejo soporte tecnológico. En nuestra opinión, esta heterarquía de los roles y prácticas investigativas, que se caracteriza por ser policéntrica y diferenciada, constituye el nuevo espacio descentrado de la producción del conocimiento de tipo tecnocientífico.

Sin embargo, no sólo se modifica el espacio de organización y producción del conocimiento, sino los ritmos con que se generaba tradicionalmente el conocimiento científico. Esto supone que a toda transformación espacial le sigue una de tipo temporal. Es decir, la operación en red, permite un desarrollo tecnocientífico más apresurado, controlando el tiempo físico y disponiendo de nuevas pautas de estabilización de los productos tecnocientíficos. Esto implica que el aumento del ritmo de la producción tecnocientífica es coincidente con el aumento de la producción industrial de los fines comerciales que todo proyecto tecnocientífico persigue.

Así, la simultaneidad se ha vuelto un sello característico de la tecnociencia: el acortamiento de las distancias físicas y temporales mediante el uso de tecnologías de información, la facilidad de la transferencia de datos e información a través de lo que se denominó en los años 80' *la red de redes*. Esta dinámica organizativa, propia de la complejidad social contemporánea, supone al mismo tiempo un tipo de intercambio tecnológico, así como la participación coordinada y simultánea de equipos de investigadores que realizan comunicaciones de forma transcultural y transnacional.

A decir de Javier Echeverría, la red ARPANET, que sirvió para conectar diversas agencias y universidades norteamericanas en los años 80, es un claro ejemplo de esta transformación tecnológica que experimentó el trabajo científico de fines de siglo XX, así como la World Wide Web (www), creada por Berners-Lee para permitir la comunicación del CERN europeo. En este sentido, según indica el autor, habría por lo menos tres características que poseían los laboratorios de la ciencia tradicional que ya no pueden constituir parte del trabajo tecnocientífico:

- a) Había un recinto físico, es decir, un dispositivo espacial ubicado geográficamente en alguna región del algún país, regularmente dentro de una universidad o centro de investigación.
- b) En ese espacio determinado, coincidían presencialmente los investigadores que realizaban una serie de técnicas de investigación.
- c) Había objetos, maquinaria, aparatos e instrumentos de investigación.

Esta forma de producción científica tradicional se rompe con el surgimiento de la tecnociencia, dando paso a nuevas formas de producción del conocimiento propias de sociedades cada vez más complejas. Esta nueva forma de organización de la actividad científica modificó de forma radical tanto los escenarios culturales de acción, como los valores, los criterios, los usos, las costumbres, las normas y los códigos con que operaba la ciencia moderna hasta inicios del siglo XX: "En conjunto, el atomismo institucional que caracterizó la ciencia moderna se ha visto remplazado por una tecnociencia en red, con todas las consecuencias que ello tiene para la organización de la actividad científica y para la práctica investigadora".³⁹

³⁹ *Ibid.*, p. 71.

Sin embargo, a diferencia de Echeverría, consideramos que este giro epistemológico que adoptó la práctica científica característica de las sociedades complejas (globales, heterárquicas, diferenciadas y multiculturales) de la segunda mitad del siglo XX en adelante, sólo puede ser íntegramente tratado si se consideran por lo menos cinco elementos que, según nuestra posición, constituirían el soporte que subyace en el fondo del cambio tecnocientífico, y que permite comprender de mejor forma su funcionamiento:

- 1) El aumento de la diferenciación y de la complejidad organizativa de las sociedades contemporáneas, caracterizadas como: sociedades del riesgo, complejas y reflexivas, así como sociedades del conocimiento y la información.
- 2) La emergencia de escenarios multiculturales producto de los flujos migratorios y los intercambios informacionales entre culturas diferenciadas que, de forma general, afectan casi todos los campos de la vida social incluyendo el de la ciencia, determinada cada vez más por un pluralismo epistemológico y axiológico.
- 3) El propio desarrollo de los sistemas tecnológicos que se caracterizan por ser complejos y por utilizar técnicas, operaciones y acciones de segundo orden, típicos de las llamadas TIC's y de todo el soporte cibernético y digital en la era de la información, por citar sólo un ejemplo.
- 4) El hecho de la globalización en todos los campos, matices y espacios, como fenómeno característico de las sociedades de fines del siglo XX.
- 5) La modernidad como hecho tecnológico que, simultáneamente, presenta dos fenómenos sin precedentes en las sociedades antiguas o tradicionales: los procesos de modernización, la especialización y división social del trabajo, así como el desarrollo del capitalismo.

Considerando lo anterior, sostenemos que la dinámica que desarrollan las prácticas tecnocientíficas lleva implicada una serie de consecuencias epistemológicas, políticas, sociales, ambientales y éticas importantes, ya que si los proyectos tecnocientíficos tienen fines comerciales, el principio de objetividad de la ciencia se rompe, toda vez que intereses extracientíficos se priorizan en la generación de conocimiento, por un lado. Por otro, es plausible indicar que el valor científico de la neutralidad valorativa, compartido en principio como una norma primaria de la ciencia normal y valorado por cualquier tipo de comunidad científica se fractura, debido a que los propósitos, fines y alcances de los productos tecnocientíficos se dirigen a satisfacer intereses privados. Esto es un argumento central para fundamentar una reflexión política de los sistemas tecnocientíficos y sus impactos sociales.

SISTEMAS TECNOLÓGICOS Y RIESGOS ECOLÓGICAMENTE CRÍTICOS

Una vez delineada la estrategia argumentativa, por medio de la cual se hace plausible la pregunta de hasta dónde es posible sostener que las formas tecnológicas de vida generadas por el desarrollo de la tecnociencia se han convertido en los nuevos espacios imaginarios de poder en el marco de las sociedades complejas, es necesario formular la pregunta de si es operativamente viable una reflexión de este tipo en el escenario de un creciente desarrollo tecnológico. Pero ¿por qué sería relevante formu-

lar un problema como este? Inicialmente diríamos que la pregunta es pertinente, toda vez que otra de las características centrales de la modernidad reflexiva y su correlato en las sociedades de tipo complejas es la creciente expansión de los sistemas tecnológicos y la aparición de altos grados de riesgo como efecto de los mismos; lo que vuelve a una reflexión sobre la racionalidad política de la tecnociencia, una deliberación respecto a la relación entre tecnología, política y evaluación del riesgo.

La definición aquí utilizada de “sistemas tecnológicos” se refiere a la proporcionada por el sociólogo de la tecnología Thomas P. Hughes, en su artículo “La evolución de los grandes sistemas tecnológicos”.⁴⁰ Para el autor, los sistemas tecnológicos son socialmente construidos pero, al mismo tiempo, configuran a la sociedad. Sus componentes son artefactos técnicos, organizaciones, redes de científicos, sistemas de enseñanza e investigación, trayectorias artefactuales, programas de investigación, relaciones entre componentes, instituciones, códigos y normas, entre otros. Además de estos elementos, los sistemas tecnológicos tienen tres tipos de propiedades: “están socialmente construidos y adaptados para funcionar dentro de sistemas”, “se orientan a la resolución de problemas” y “parecen evolucionar de acuerdo con un patrón”.

En este sentido, la pregunta acerca de si las formas tecnológicas de vida generadas por el desarrollo de la tecnociencia, se han convertido en los nuevos espacios imaginarios de poder lleva de la mano una reflexión crítica sobre la producción del costo social, ambiental y energético de los desarrollos tecnológicos que, además de otras cosas, tienen la peculiaridad de ser irreversibles.⁴¹

El problema de fondo puede ser formulado, incluso, de una forma más radical. Se podría indicar, de forma problemática, si es posible sostener que el desarrollo de los sistemas tecnológicos contemporáneos ha generado un mundo de vida altamente artificial, capaz de configurar una nueva ontología social dominada por la informática, el conocimiento, la percepción pública del riesgo y la crisis ambiental global, como una condición de necesidad para la generación de políticas que administren democráticamente la vida pública. Somos de la opinión que sí, pero no sólo eso, sino que sería un error la posibilidad abierta de dejar fuera un análisis sobre la producción tecnológica, cuando se habla acerca de la vida política de las sociedades contemporáneas. Me explico: una tesis sobre las formas democráticas de planificación de la vida pública sería simplemente contrafáctica si no toma en cuenta el creciente desarrollo tecnológico, toda vez que éste es, por decirlo así, su némesis: su principal detractor.

Esto es, no puede comprenderse la crisis ambiental global y los efectos sociales de la tecnociencia sin la proliferación de los sistemas tecnológicos, toda vez que éstos han desatado, como efecto no deseado de su expansión, la generación de riesgos ecológicos críticos. El cambio climático, por ejemplo, no se entiende sin la existencia del efecto invernadero que produce la emisión de gases tóxicos, como tampoco pueden

⁴⁰ Ver el artículo originalmente publicado como “The evolution of larger technological systems”, en Bijker *et al.* (1987). Adelante, se ampliará esta definición con la noción de “tecnociencia” de Javier Echeverría.

⁴¹ Con esta posición coincide Scott Lash en su “Fenomenología tecnológica”, al argumentar que los sistemas tecnológicos han generado un mundo de vida artificial y técnicamente irreversible, puesto que su expansión no depende de decisiones, sino de los sistemas de producción y modernización reflexiva; véase más en Lash (2005), tercera parte, p. 263 y ss. Una argumentación respecto a la irreversibilidad de los sistemas tecnológicos y las consecuencias no esperadas de su proliferación puede encontrarse también en Broncano (2000), en particular el argumento sobre “El cambio tecnológico y la evolución”, p. 173 y ss. Otra exposición exhaustiva sobre el tema en Quintanilla (2005), sobre todo “El desarrollo tecnológico” y el apartado sobre “Tecnología y sociedad”, p. 61-64; Echeverría (1999) para el caso de sistemas tecnocientíficos, cap. 4; también puede revisarse León Olivé para una caracterización de los “sistemas técnicos” en Olivé (2006), p. 87 a 90.

ser entendibles las reuniones sobre bioseguridad sin la proliferación de las biotecnologías. Las discusiones actuales sobre crisis alimentaria están correlacionadas por la sobreexplotación de los recursos naturales y la concentración de alimentos en transnacionales monopólicas. Asimismo, el debate acerca de la utilización de energías renovables, tecnológicamente limpias, para reducir el gasto energético y la contaminación atmosférica tiene que tomar en cuenta la sobreproducción industrial de petróleo y energía nuclear. Los desastres ambientales y sociales de la planta química en Bhopal y la explosión del reactor nuclear en Chernobyl son testigos de esta relación interdependiente entre medio ambiente, democracia, sociedad y alta tecnología.

Es decir, toda discusión política sobre la democracia, la equidad, la justicia, la diversidad y la igualdad que no incorpore la dimensión del riesgo producido por los sistemas tecnológicos (y su correlato en las formas tecnocientíficas de conocimiento) tiene garantía de fracaso. El cálculo y la evaluación de riesgos, así como el propio diseño de los sistemas tecnológicos (piénsese, por ejemplo, en la planta nuclear de Laguna Verde en Veracruz) tienen que ser puestos a disposición de una estrategia integral en la generación de políticas públicas sustentables.

Así, tras la pregunta de ¿qué elementos permiten sostener que la racionalidad tecnocientífica se ha convertido en la imagen contemporánea del poder material y simbólico? diríamos que uno de ellos es la consideración central de los sistemas tecnológicos y sus efectos colaterales.⁴² Optar por otro camino, y evadir la historia de los desastres tecnológicos ocurridos a lo largo de todo el siglo XX, sería asumir una posición contradictoria, superficial, simulada, poco realista y, sobre todo, contrafáctica; ¿por qué?, porque la reflexión sobre los sistemas de organización social y política actuales, pueden ser consideradas como tipos de sistemas tecnológicos que no está exento de errores, riesgos, consecuencias no calculadas y daños adyacentes.⁴³

Es decir, una evaluación de las tecnologías en términos de sus consecuencias sociales y ambientales, así como de administración pública de los riesgos implica ya la puesta en juego de sistemas tecnológicos, porque para administrar la vida pública se requiere de tecnologías sociales y políticas, tales como códigos, leyes, normas, regulaciones, principios, investigaciones o instituciones. Todos estos elementos pueden ser considerados como artefactos tecnológicos que hacen posible la administración eficiente de la vida pública.

¿Cuáles son las implicaciones analíticas de las afirmaciones anteriores? Podríamos indicar al menos dos. Primero, el argumento respecto a que el desarrollo de los sistemas tecnológicos contemporáneos ha generado un mundo de vida altamente artificial, capaz de configurar una nueva ontología dominada por la informática, el conocimiento, la percepción pública del riesgo y la crisis ambiental global, como punto de partida para la generación de estrategias en materia de administración de la vida pública. Y, segundo, la importancia de la evaluación del riesgo en la reflexión política de la vida pública, asumiendo que todo desarrollo tecnológico es simultáneo a un tipo de daño no calculado. En este sentido, los riesgos contienen una relevancia política

⁴² En adelante, cuando se hable de sistemas tecnológicos, se aludirá a la relación de interdependencia entre ciencia y tecnología descrita por Javier Echeverría como "tecnociencia". La centralidad de la tecnociencia es su novedad en la forma de producción de conocimiento científicotecnológico, mismo que opera en red, el global, transcultural, y dependiente de: a) la hibridación entre ciencia, tecnología e industria, y, b) las tecnologías de la información (TIC's) por ser su plataforma operativa. En Echeverría (2003), p. 70 y ss.

⁴³ Sobre una comprensión de la administración pública, la normatividad, los códigos de comunicación o los diseños escritos como *formas de tecnología*, ver Bueno y Santos (2003), p. 7 y ss.

de primer orden, no sólo por su dimensión constitutiva en los sistemas tecnológicos, sino por la dimensión simbólica y reflexiva que admiten.

A MANERA DE CONCLUSIÓN. REFLEXIVIDAD POLÍTICA DE LOS RIESGOS GLOBALES Y RIESGOS POLÍTICAMENTE REFLEXIVOS

Como hemos mencionado, para el análisis de la racionalidad política de la tecnociencia en el contexto actual es posible identificar una relación problemática entre la ciencia, la tecnología, la política y la cultura.⁴⁴ En el escenario de las sociedades complejas, esta relación puede observarse tanto a nivel de los procesos de diferenciación social, como en el ámbito de la producción de información o la generación de conocimiento. Así, podemos indicar que existe una interdependencia de los factores de riesgo, respecto a los sistemas tecnocientíficos, la complejidad organizativa de la sociedad, la administración del espacio público y la democracia misma.

Más aún, el marco general de las sociedades complejas permite establecer la relación entre el sistema de la política y los sistemas tecnocientíficos, perfilando el problema de cómo es posible la democracia frente al dominio sociocultural de las industrias tecnocientíficas. Aquí, el tema de la democracia se hace presente, toda vez que (más allá de definiciones sobre ella) el problema radica en cómo administrar la vida pública, generando políticas sustentables acordes a los tres problemas descritos: la desigualdad, la crisis ecológica y el desarrollo. Si éste es uno de los marcos problemáticos, y uno de los retos para la vida pública, se entiende la necesidad de correlacionar la gobernabilidad democrática y el desarrollo sustentable con la dinámica propia de la complejidad social: riesgo, desarrollos tecnológicos y sistemas tecnocientíficos.

Si esto es así, el problema que se presenta es la posible contradicción que se expresa de manera contemporánea entre democracia, sustentabilidad y tecnociencia. En este sentido, es factible preguntar, nuevamente, si ¿puede haber un modo democrático de planificar, evaluar y regular el desarrollo de los sistemas tecnocientíficos, o bien, si éstos pueden considerarse como intrínsecamente antidemocráticos? Lo que este trabajo ha venido planteando hasta aquí, en función de las preguntas anteriores, es que los problemas que se derivan de los desarrollos tecnológicos inherentes a la constitución de sociedades complejas pueden advertirse como problemas constitutivamente políticos.⁴⁵

En este sentido, tanto Winner como Lash y Beck apuntan a que es posible establecer un tratamiento crítico y reflexivo de la forma en cómo se construye la relación entre los sistemas tecnológicos y el poder político en la sociedad contemporánea, como un problema propio de teoría política y social. Según nuestra consideración, este planteamiento puede ser extendido, incluso, para el ámbito de la administración pública, para el diseño de políticas sociales, y para la generación de condiciones sustentables de gobernabilidad y gobernanza.⁴⁶

⁴⁴ Véase por ejemplo Bueno y Santos (2003). Un análisis sugerente sobre el tema es el que proporciona José Antonio López Cerezo en su artículo "Ciencia, técnica y sociedad" en Ibarra y Olivé (2003), p. 113-158.

⁴⁵ Sobre la hipótesis de los sistemas tecnológicos como inherentemente políticos se puede revisar el texto de Langdon Winner "¿Tienen política los artefactos?", sobre todo si se quiere explorar con mayor atención la relación entre política, tecnología, sociedad y medio ambiente, y de forma particular, la relación entre democracia y sistemas tecnológicos. Ver Winner (1987), p. 55-105.

⁴⁶ Respecto a la idea de *gobernanza*, véase Mayntz (2000), pp. 35-51.

Considerando esto, el problema radica en indagar cuál es, por un lado, el impacto de los sistemas tecnológicos en las formas de organización sociopolítica de las sociedades complejas; y, por otro, cómo es que las estructuras de poder político moderno han moldeado o influido en el desarrollo de las tecnociencias, con impactos no calculados en el medio ambiente.

Ahora bien. Si queda claro el argumento anterior, podría formularse un nuevo tipo de preguntas: ¿qué relación guardan los debates contemporáneos de la teoría social y política centrados en la democracia, la diversidad cultural, la justicia, el diálogo, los derechos civiles, la normatividad y el espacio público entre otros, con la emergencia de los sistemas tecnocientíficos y su relación con el medio ambiente? Y, más aún, ¿estos sistemas han contribuido a consolidar las instituciones y prácticas de las democracias liberales o, por el contrario, han interferido u obstaculizado su desarrollo? Aquí, somos de la opinión de que el problema radica en preguntarse hasta qué punto existe una relación indisoluble entre los sistemas tecnológicos y las formas de organización política que se desarrollan en las sociedades contemporáneas como espacios interdependientes que, de hecho, muestran al observador realidades políticas heterogéneas, conflictivas, multiculturales y diferenciadas.

Como se puede observar, la crisis de los ecosistemas mundiales es transversal, debido a que impacta casi cualquier tipo de campo. Al mismo tiempo que los sistemas tecnológicos se generalizan de forma crítica y riesgosa sobre la biósfera. Ambos aspectos, ecosistemas y sistemas tecnológicos, se traducen en consideraciones políticas de primer orden para la sociedad global. Aquí valdría la pena, incluso, acudir a la imagen híbrida de la mutua constitución entre biósfera y tecnósfera a la que alude Riechmann; y más aún, entre biósfera, tecnósfera y tecnopolítica, en alusión a Echeverría.⁴⁷

En tanto que los sistemas tecnológicos se construyen socialmente, pero al mismo tiempo configuran la sociedad e impactan al medio ambiente, consideramos la idea de que cualquier estudio acerca del desarrollo tecnológico debe considerar un orden de problemas vigentes planteados por la teoría política como la desigualdad, la democracia y la eficiencia técnica de la administración pública. Pero, al mismo tiempo, la teoría abstracta debe incorporar la crisis ambiental global, el riesgo, la percepción social de la incertidumbre y los desastres ecológicos como un soporte fenoménico, por decirlo de algún modo.

Ahora bien, si la comprensión de los sistemas tecnológicos es un prerrequisito, por decirlo así, para la sustentabilidad y la democracia, lo deben ser también las consecuencias no calculadas de su generalización. De nuevo, se trata de un problema de carácter político. Para entender cómo se lleva a cabo la participación ciudadana y política desde una lógica que rebase las formas convencionales de dominación, control de la naturaleza y producción industrial, es necesario dar cuenta de la *sociedad de riesgo*.

A decir de Ulrich Beck, una característica de las sociedades contemporáneas es el fenómeno de *riesgo* como un efecto causado por el desarrollo científicotecnológico dentro de lo que él reconoce como sociedades postindustriales. Para el autor, es importante pensar lo social como un universo de riesgo global, toda vez que la socie-

⁴⁷ Sobre conceptos como eco eficiencia, biomímesis o tecnósfera se puede consultar Riechmann, entre las más destacadas Riechmann (2000; 2003; 2004; 2006). Para el concepto de tecnopolítica puede consultarse Echeverría (1999).

dad industrial contemporánea se ha transformado considerablemente en los últimos treinta años como resultado de la forma en que se ha dado el desarrollo científico y tecnológico, sobre todo en los campos de la ingeniería nuclear, la microelectrónica y la genética. Este desarrollo ha desencadenado nuevas fuerzas, materiales y simbólicas, que modelan la sociedad actual surgida del industrialismo.

Beck considera que dicho cambio consiste en la sustitución de lo que denomina la “lógica de la producción de la riqueza”, que supone la idea del progreso mediante el crecimiento económico sostenido por la “lógica de la producción de riesgo”. Así, la sociedad de riesgo se entiende como una forma sistemática de tratar los peligros e inseguridades introducidos por el propio proceso de modernización, que va de la sociedad industrial del siglo XIX a la sociedad postindustrial del siglo XX.⁴⁸ Esto se puede describir en el sentido de que los riesgos que se producen en la temprana modernidad son sustancialmente diferentes del tipo de riesgos creados en las etapas fuertes de industrialización y la postindustrialización. Para el autor, las diferencias básicas consisten en lo siguiente:

- Los riesgos tradicionales de la modernidad no son causados por agentes externos como la naturaleza, sino que se deben a decisiones propias de la sociedad.
- Los riesgos contemporáneos son ocasionados por la sobreproducción tecnológica, con características de tipo global y transcultural.
- No están limitados a sus lugares de origen, sino que pueden poner en peligro todas las formas de vida.
- El conocimiento sobre estos riesgos también es diferente del que se tenía de los riesgos tradicionales.
- Estos riesgos tienen un efecto global y suelen ser fuentes generadoras de devoluciones ecológicas o de otro tipo.

Estas diferencias son sólo un aspecto —dice el autor— de la complejidad de la sociedad del riesgo. Otro componente es el problema del proceso de “destradicionalización” dentro de la sociedad industrial, en que el “instinto social de individualización” disuelve los parámetros establecidos de clase, cultura, género y roles familiares. Son riesgos e inseguridades que la gente enfrenta al liberarse de los compromisos tradicionales originalmente establecidos en el siglo XIX, cuando se formó la sociedad industrial.⁴⁹

Por otra parte, cabe señalar que para el autor, y esto es relevante en nuestro argumento, la forma contemporánea de los riesgos tiene un atributo fundamental: son riesgos “políticamente reflexivos” y “globales”. Es decir, que son fuertemente administrados y evaluados a partir de dinámicas de control político global (así lo demuestran las cumbres, tratados, pactos, acuerdos, protocolos y reuniones internacionales), toda vez que se tiene plena conciencia de los efectos e impactos sociales y medioambientales que producen; pero también de los efectos colaterales que no están calculados.

Además de ello, se puede señalar que los riesgos tienen una relevancia política de primer orden, en tres sentidos distintos: 1) son democráticos, 2) tienen un efecto igualador, y, 3) son socialmente objetivos. Es decir, tienen la particularidad de ser *políticamente reflexivos* en función de su transversalidad, al afectar a la mayoría de las

⁴⁸ Ver Beck (2002), 87 y 88.

⁴⁹ *Ibid.*, p. 13 y ss.

personas; de su igualdad, al desplegarse de la misma forma en casi todos los ámbitos de la vida pública y al afectar de manera equitativa los distintos campos de la vida social. Al mismo tiempo, su expansión no depende de decisiones individuales o locales, ya que se generalizan con tanta rapidez que logran desbordar los ámbitos de las elecciones subjetivas. Son riesgos con una carga política globalizada.⁵⁰

Además de esta característica, los riesgos producen un efecto paradójico constitutivo. Al mismo tiempo que son objetivos, democráticos e igualadores, en el sentido de que se generalizan, se estandarizan y se expanden en todas las esferas sociales sin distinción alguna; la consecuencia de este despliegue genera un efecto diferenciado. Un ejemplo de ello es el cambio climático: en tanto que su crecimiento como riesgo es plano y de carácter global, nos afecta por igual a todos, sin embargo, sus efectos son socialmente diferenciados, toda vez que los daños y peligros que causa dependen del contexto en el que se presenten. Los efectos de gas invernadero no alcanzan de la misma forma a una comunidad indígena que a un socio de Microsoft, no penetran en la misma proporción a los daños registrados en el mundo rural y agrícola, que al efecto de producción en una textilera ubicada dentro de una metrópoli. Es decir, el cambio climático perturba a todos por igual, pero de forma diferenciada, de aquí su efecto ambivalente y paradójico.⁵¹

Otro mecanismo igualmente importante de los riesgos es su carácter reflexivo. Este atributo tiene una doble dimensión: son políticamente reflexivos por lo que ya hemos comentado (por su carácter democrático, objetivo e igualitario), pero al mismo tiempo porque sabemos que sabemos acerca de ellos. Y más aún, sabemos que sabemos que no podemos erradicarlos, que no dependen de decisiones personales, que no podemos calcular las consecuencias no planeadas de sus efectos, así como los daños colaterales propiciados por su dispersión. Así, la planeación, la evaluación, la anticipación y el cálculo de los riesgos no son otra cosa que dispositivos de reflexión respecto al daño, la incertidumbre y la intranquilidad que nos causan. Es decir, la percepción social del riesgo es inversamente proporcional a la dinámica políticamente reflexiva de las respuestas que damos ante su adecuación, y al nivel de su ensanchamiento.

En este sentido, la valoración política de los riesgos es más cercana a la noción de eficiencia técnica que a la racionalidad económica de costo-beneficio. Esto es así porque la racionalidad práctica de la eficiencia técnica prefiere equilibrar el “nivel de ajuste o adecuación entre objetivos y resultados de la acción”,⁵² tratando de evitar daños colaterales y consecuencia indeseables. La evaluación de los riesgos y el cálculo de daños, por ejemplo, de un desarrollo tecnológico, tiene que pasar por una *óptima adecuación de sentido*, para decirlo en un registro weberiano, más que por un cálculo instrumental de los costos, los bienes y las ganancias económicas.⁵³ Claro está que

⁵⁰ *Ibid.*, p. 5-10, y 25 y ss.

⁵¹ Para mayor profundidad sobre este efecto paradójico y sobre la relevancia política de los riesgos, ver *ibid.*, p. 42 y 43.

⁵² Ver Quintanilla (2005), p. 220.

⁵³ Se puede ver esta atribución weberiana de la acción racional respecto a la relación medios-fines en función de “la óptima adecuación de sentido”. Para Weber la racionalidad instrumental no es exclusivamente utilitaria en un sentido economicista, sino que tiene que ver con las estrategias de eficiencia del cálculo racional en un sistema de acción alcanzado. No se trata de evaluación racional en el sentido de qué ganancias se obtienen al menor costo, sino de qué manera un curso de acción puede adecuar de mejor manera los medios requeridos para alcanzar determinados fines, evaluando racionalmente los ajustes temporales a las decisiones que se pretenden tomar respecto a medios y fines. A esta característica de la acción típicamente racional Weber la describe como el proceso de “una óptima adecuación de sentido”.

para construir un parque industrial en una zona geográfica protegida, por caso, a los socios y empresarios no les interesa la eficiencia técnica, sino que guían sus cursos de acción y sus decisiones, por el nivel de éxito (costo-beneficio) que les arroja el complejo a construir, sin evaluar los daños, los peligros y los riesgos potenciales al medio ambiente.⁵⁴

Así, en un mundo que se vuelve cada vez más “tecnológico”,⁵⁵ donde el despliegue de los riesgos ambientales y sociales está atravesado por el desarrollo de sistemas tecnocientíficos, esta “concepción tecnológica del mundo”⁵⁶ configura una nueva realidad, una ontología tecnológica de la que dependen las relaciones, los sistemas y las formas de organización social. Se trata de un mundo técnico, tecnológicamente homogeneizado, informático y de poder. Este mundo tecnológico de vida, que despliega formas artificiales de vida social, se convierte en un “mundo técnico de poder”.⁵⁷ Y éste es el punto central de lo que se ha dicho hasta ahora, toda vez que en el mundo tecnológicamente construido, las tecnologías y las tecnociencias en general, se convierten en dispositivos modernos de poder, control y dominación.

Si el sentido de este trabajo consistió en reflexionar acerca de las consecuencias sociales, políticas y ambientales que presentan los sistemas tecnocientíficos en los distintos campos de la sociedad contemporánea; diríamos que toda planificación democrática de la vida pública, se obliga a considerar la relación de funcionalidad entre formas tecnológicas de vida, participación política, evaluación de riesgos y democracia. No habría escapatoria alguna para la gestión pública, más que la de administrar políticamente los riesgos extendidos en la aldea global que, además, son producidos reflexivamente por la expansión de los sistemas tecnológicos y la proliferación de formas tecnocientíficas de producción de conocimiento. Se trata, para decirlo de algún modo, de “gobernar los riesgos”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beck, Ulrich. (1998). *La sociedad del riesgo*, Paidós, Barcelona.
- _____. 2002. *La sociedad del riesgo global*, Siglo XXI, Madrid.
- Beriain, Josetxo (comp.). (2007). *Las consecuencias perversas de la modernidad*, Anthropos, Barcelona.
- Bijker, W. E., Hughes, T. P., y Pinch, T. J. (eds.). (1987). *The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology*, The MIT Press, Cambridge.
- Broncano, Fernando. (2000). *Mundos artificiales. Filosofía del cambio tecnológico*, Paidós-UNAM, México-Buenos Aires-Barcelona.
- Bueno, Carmen y Santos, Ma. Josefa. (2003). *Nuevas tecnologías y cultura*, Anthropos-UIA, México.
- Calva, José Luis. (2007). *Sustentabilidad y desarrollo ambiental*, Porrúa, México.

⁵⁴ La historia y la sociología de la tecnología está llena de estos ejemplos. Para una muestra, véase Thomas, Hernán y Buch, Alfonso, *Ibid.*, en particular el texto de Thomas P. Hughes “La evolución de los grandes sistemas tecnológicos”, p. 101-145., y “La construcción social de la baquelita” de Wiebe E. Bijker, p. 63-100.

⁵⁵ Queraltó (1993), p. 80 y ss.

⁵⁶ *Ibid.*, p. 95 en adelante.

⁵⁷ *Ibid.*, p. 114.

- Castells, Manuel. (2002). *La era de la Información. Vol. I: La sociedad red*, Siglo XXI, México.
- Castoriadis, Cornelius. (1989). *La institución imaginaria de la sociedad. El imaginario social y la institución*, Tusquets, Barcelona.
- Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1988). *Nuestro futuro común*, Alianza Editorial, Madrid.
- Comité Ecuménico de Proyectos-FLACSO. (2003). *La ecología a la cola de la política*, Editorial Abya Yala-FLACSO-Sede Ecuador, Programa Gestión Sostenible de Recursos Naturales, Ecuador.
- Chávez Salinas, Eduardo. (2002). *Desarrollo sustentable y ecodesarrollo*, Facultad de Geografía-Universidad de La Habana, Cuba.
- Echeverría, Javier. (1999). *Los señores del aire: Telépolis y el tercer entorno*, Ed. Destino, Barcelona.
- _____. (2003). *La revolución tecnocientífica*, FCE, Madrid.
- Fuller, Steve. (2000). *The governance of science*, Open University Press, Buckingham.
- Funtowicz, S. y Ravetz, J. (2000). *La ciencia posnormal: ciencia con la gente*, Icaria, Barcelona.
- Georgescu-Roegen, Nicholas. (1971). *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press.
- Giddens, Anthony. (1994). *Consecuencias de la modernidad*, Madrid, Alianza.
- _____. (1997). *Modernidad e identidad del yo. El yo y la sociedad en la época contemporánea*, Ed. Península, Barcelona.
- Giddens, Anthony; Lash, Scott y Beck, Ulrich. (1997). *Modernización Reflexiva*, Barcelona, Alianza Editorial.
- Hobsbawm, E. J. (1971). *La era de las revoluciones burguesas 1789-1848*, Guadarrama, Madrid.
- Ibarra, Andoni y Olivé, León. (2003). *Cuestiones éticas en ciencia y tecnología en el siglo XXI*, OEI-UPV.
- Lash, Scott. (2006). *Crítica de la información*, Amorrortu, Buenos Aires.
- Leff, Enrique. (1986). *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*, Siglo XXI, México.
- _____. (2000). *La complejidad ambiental*, Siglo XXI-UNAM-PNUMA, México.
- _____. (2002). *Saber ambiental: racionalidad, sustentabilidad, complejidad, poder*, Siglo XXI-UNAM-PNUMA, México.
- _____. (2004). *Racionalidad ambiental. La reapropiación social de la naturaleza*, Siglo XXI, México,
- Leff, Enrique y otros (comps.) (2002). *La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe*, INE-SEMARNAT-UAM-PNUMA, México.
- Linares, Jorge. (2008). *Ética y mundo tecnológico*, FCE, México.
- López, Ana María. (2005). "La crisis ambiental, crisis de la humanidad, la cultura y las ciencias", *Ciencia-Ergo Sum*, México, Universidad Autónoma del Estado de México, año/vol. 12, noviembre-febrero núm. 003, p. 317-320.
- López, Ana María. (2005). "La crisis ambiental, crisis de la humanidad, la cultura y las ciencias", *Ciencia-Ergo Sum*, México, Universidad Autónoma del Estado de México, año/vol. 12, noviembre-febrero, núm. 003, p. 317-320.
- Luhmann, Niklas. (1997). *Observaciones de la modernidad. Racionalidad y contingencia en la sociedad moderna*, Paidós, Barcelona.

- _____. (1998a). *Complejidad y modernidad. De la unidad a la diferencia*, Trotta, España.
- _____. (1998b). *Sistemas sociales. Lineamientos para una teoría general*, Anthropos, Barcelona.
- _____. (2006 [1]). *Sociología del riesgo*, Universidad Iberoamericana, México.
- _____. (2006 [2]). *La sociedad de la sociedad*, Herder-Universidad Iberoamericana.
- Mayntz, R. (2000). "Nuevos desafíos de la teoría de la gobernanza", *Instituciones y Desarrollo*, núm 7, noviembre, pág. 35-51.
- McLuhan, Marshall. (1990). *La aldea global*, Gedisa, Barcelona.
- Mitcham, Carl. (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Anthropos, Barcelona.
- Morin, Edgar. (1996). *El paradigma perdido. Ensayo de bioantropología*, Kairos, Barcelona.
- Olivé, León. (2006). *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y de la tecnología*, Paidós-UNAM, México.
- _____. (2003). *Introducción al pensamiento complejo*, Gedisa, Barcelona.
- Oreskes, Naomi. "The scientific consensus on climate change: How do we know we're not wrong?", en DiMento, Joseph F. C., Doughman, Pamela M., *Climate change: What it means for us, our children, and our grandchildren*, The MIT Press.
- Queraltó, Ramón. (1993). *Mundo, tecnología y razón en el fin de la modernidad*, PPU, Barcelona.
- _____. (2003). *Ética, tecnología y valores en la sociedad global. El caballo de Troya al revés*, Técnicas, Madrid.
- Quintanilla, Miguel Ángel. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*, FCE, México.
- Riechmann, Jorge. (2000). *Un mundo vulnerable*, Los Libros de la Catarata, Madrid.
- _____. (2003). *Todos los animales somos hermanos*, Universidad de Granada, Granada.
- _____. (2004). *Gente que no quiere viajar a Marte*, Los Libros de la Catarata, Madrid.
- _____. (2005). *Dimensiones profundas de la sostenibilidad*, Cuadernos de comunicación, interpretación y educación ambiental, España, núm. 17, p. 5-7.
- _____. (2006). *Biomímesis*, Los Libros de la Catarata, Madrid.
- Riechmann, Jorge, Naredo, José Manuel y otros. (1995). *De la economía a la ecología*, Trotta, Madrid.
- Rifkin, Jeremy y Howard, Ted. (1990). *Entropía: hacia el mundo invernal*, Urano, Barcelona.
- Rojas Orozco, Cornelio. (2003). *El desarrollo sustentable: nuevo paradigma para la administración pública*, INAP, México.
- Winner, Langdon. (1987). *La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología*, Gedisa, Barcelona.

Referencias en línea:

- IPCC. *Climate change 2001: Working group I: The scientific basis*, enero 2001, también disponible en: <<http://www.ipcc.ch/>>. [Consultado el 1 de julio de 2011].
- _____. [Versión sintética y traducida al castellano de *Climate change 2001: Working group I: The scientific basis*] en: <http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&langpair=en%7Ces&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_opinion_on_climate_change>. [Consultado el 1 de julio de 2011].

____. [Versión traducida al castellano de *Climate change 2001: Working group I: The scientific basis*] en: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/spanish/pdf/wg1sum.pdf>. [Consultado el 1 de julio de 2011].

The Royal Society of New Zealand. *Climate change statement from the Royal Society of New Zealand*, [en línea]. Disponible en: <http://www.royalsociety.org.nz/Site/news/media_releases/2008/clim0708.aspx>. [Consultado el 1 de julio de 2011].

UNEP/RID-Arendal. *Impacts of a warming arctic: Arctic climate impact assessment new scientific consensus: Arctic is warming rapidly*, [en línea]. Disponible en <<http://www.grida.no/polar/news/2427.aspx>>. [Consultado el 30 de enero de 2010].

El nitruro de galio y sus aleaciones: ¡y se hizo la luz... azul!*

JOAQUÍN DARÍO TUTOR SÁNCHEZ**
ALEXYS BRUNO ALFONSO***

RESUMEN: El estudio de los dispositivos semiconductores emisores de luz azul ha sido un tema de trascendental importancia tanto desde el punto de vista científico como tecnológico. En el presente artículo se presta especial atención al desarrollo científico y tecnológico de los diodos emisores de luz y los diodos láser basados en la tecnología del nitruro de galio. Las principales propiedades del nitruro de galio y dos de sus aleaciones, el nitruro de indio-galio y el nitruro de aluminio-galio, se presentan cualitativamente. Una breve introducción a las nuevas fuentes de luz basadas en los dispositivos semiconductores emisores de luz sirve de base argumental para hacer una breve reseña histórica de la investigación, el desarrollo y la innovación llevadas a cabo por Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura que dieron como resultado el diseño, construcción y posterior comercialización de los diodos emisores de luz azul y láser de luz azul. Finalmente, se hace una valoración de la trascendencia social, económica y medioambiental del los dispositivos emisores de luz con base en la tecnología del nitruro de galio.

PALABRAS CLAVE: Nitruro de galio y sus aleaciones, LED azul, LD azul.

ABSTRACT: The study of blue light emitting semiconductor devices has been a topic of transcendental importance since the point of view of science as well as technology. In the present paper special attention is paid to the scientific and technological development of light emitting diodes and laser diodes based on the gallium nitride technology. The principal properties of gallium nitride and two of its alloys, indium-gallium nitride and aluminum-gallium nitride are qualitatively presented. An introduction to the new sources of light based on the light emitting semiconductor devices allows a brief historical review of the researches, the developments and the innovations carried out by Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura. Such scientific and technological works gave as results the design, fabrication and commercialization of blue light emitting diodes and blue laser diodes. Finally, an analysis of the economical, social and environmental importance of the blue emitting devices based on gallium nitride technology is done.

KEY WORDS: Gallium nitride and its alloys, blue LED, blue LD.

INTRODUCCIÓN

Un gran amigo, el físico brasilero José Roberto Leite,[†] nos comentaba hace algunos años que “los nitruros” eran los peores materiales desde el punto de vista estructural y los mejores desde el punto de vista óptico y optoelectrónico. Y cuando José Roberto

* Este artículo se ha escrito en el marco de las acciones de la Red Temática “José Roberto Leite” de Divulgación y Formación en Nanotecnología, perteneciente al área 6 de Ciencia y Sociedad del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED.

** ETSI-ICAI, Universidad Pontificia Comillas, c/ Alberto Aguilera 25. Madrid. 28015, Madrid. España. Despacho 421. Teléfono:(+34) 915422800, Extensión: 4233. FAX: (+34) 915596569

*** Universidade Estadual Paulista. Ave. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, São Paulo. Brasil. Teléfono: (55) (14) 3103-6086. Extensión 7701. Fax (55) (14) 3103-6096. <alexys@fc.unesp.br>.

[†] José Roberto Leite (09/04/1942-11/06/2004)

se refería a “los nitruros”, lo hacía específicamente al nitruro de galio (GaN) y una de sus aleaciones, el nitruro de galio-indio ($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$). Y esas malas y buenas propiedades, muy influyentes tecnológicamente, se extienden desde sus tamaños volumétricos hasta cualquiera de sus variantes nanométricas, como pueden ser los pozos cuánticos y multicapas cuánticas, los hilos cuánticos y los puntos cuánticos

Los dispositivos semiconductores emisores de luz roja y verde se desarrollaron desde los años setenta del siglo XX. Con la aparición en el mercado, al inicio de los 90s, de los primeros dispositivos semiconductores emisores de luz azul con base en la tecnología GaN, se completaba el espectro de luz con los colores fundamentales. Eso dio paso a nuevas aplicaciones como nuevas fuentes de luz para pantallas con más definición de colores, más brillantes, más eficientes energéticamente, que comenzaron a aplicarse en la iluminación de edificios, en las señales de tráfico, dispositivos de alta densidad de almacenamiento de información como son las nuevas generaciones de CDs y DVDs, etcétera.

“Los últimos avances logrados con el nitruro de galio y sus aleaciones como base de los nuevos dispositivos semiconductores emisores de luz podrían revolucionar la iluminación de los hogares y las oficinas en un plazo de unos cinco años”, según afirma un experto en ciencia de los materiales, Colin Humphreys, catedrático de la Universidad de Cambridge en el Reino Unido (La Flecha, 2009). El uso de estas fuentes de luz brillante podría contribuir a reducir hasta un 75% el consumo eléctrico y la consecuente reducción de la generación de CO_2 en millones de toneladas anuales.

Conozcamos pues un poco más de estos maravillosos materiales que asegurarán a la población mundial salud, riquezas y felicidad.

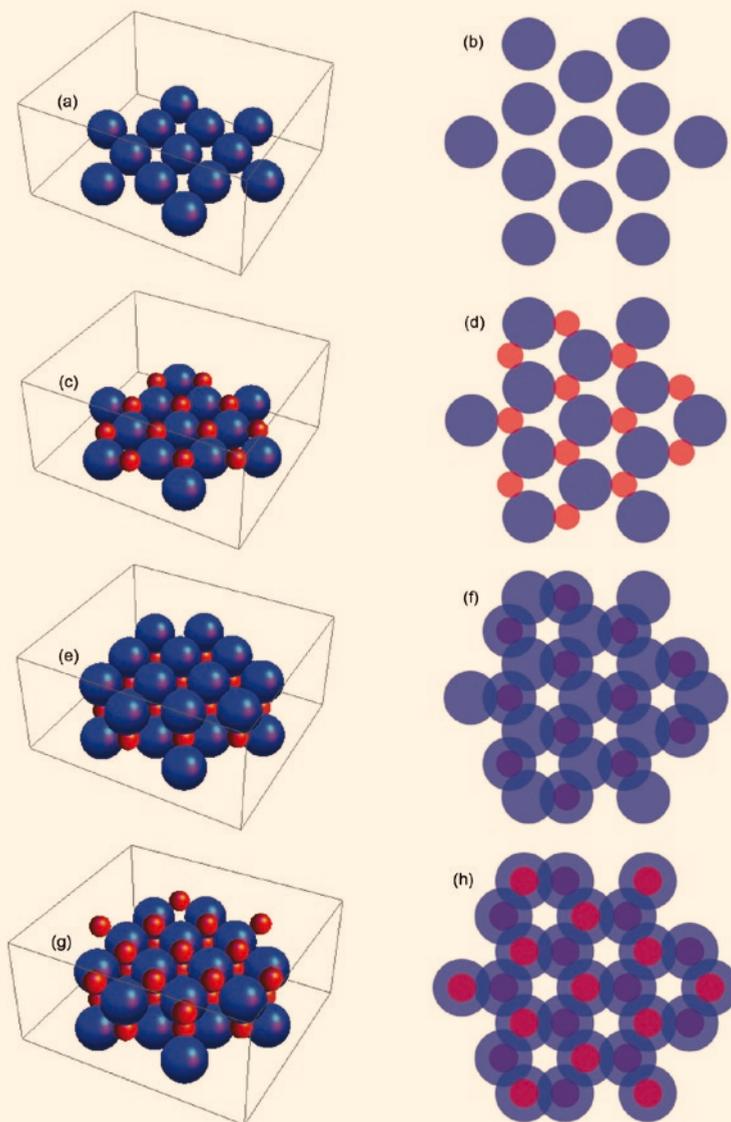
PROPIEDADES DEL GAN Y SUS ALEACIONES

El GaN es un compuesto del tipo III-V. De hecho, el Galio (Ga) y el Nitrógeno (N) pertenecen a los grupos III y V de la Tabla Periódica, respectivamente. En ese material los átomos de Ga y N pueden acomodarse de modo que formen una estructura cristalina. Por definición, una estructura de ese tipo consiste en una repetición periódica en el espacio de un motivo, que a su vez es formado por un grupo de átomos. Consecuentemente, un minúsculo observador situado en uno de los átomos del motivo tendría la misma visión de la estructura, si fuera trasladado a una de las copias de ese átomo. A la forma de repetir el motivo se le llama red cristalina, mientras que el motivo en sí es denominado base de la estructura cristalina. Es interesante notar que los átomos de la base pueden ser enumerados, y podemos imaginar que a cada uno de ellos corresponde una red periódica de átomos, la cual llamamos naturalmente subred atómica. Así, la estructura cristalina puede ser imaginada como un conjunto de subredes geoméricamente idénticas que difieren en su posición y en la especie atómica constituyente. En particular, hasta donde sabemos, hay dos posibles estructuras cristalinas del nitruro de galio: wurtzita y blenda de zinc. Aquí nos limitaremos al estudio del GaN con estructura wurtzita.

La estructura de wurtzita debe su nombre a un mineral de sulfuro de zinc y hierro, y consiste de una red hexagonal tridimensional y una base de cuatro átomos: dos átomos de Ga y dos de N. A su vez, la red hexagonal tridimensional es formada por una red hexagonal bidimensional con distancia interatómica $a \approx 3.19 \text{ \AA}$ y sus copias periódicas en la dirección perpendicular al plano, con periodicidad $c = a\sqrt{8/3} \approx 5.21 \text{ \AA}$. En la casa podemos crear un modelo de la estructura wurtzita con cuentas de vidrio de dos

tamaños posibles. Para facilitar la visualización, es bueno que a cada diámetro corresponda un color diferente. Las mayores corresponden naturalmente al Ga (mayor radio atómico) y pueden ser de color azul, mientras que las menores, para el N, serían rojas. Podemos dividir el trabajo en las siguientes cinco etapas (ver figura 1):

FIGURA 1. Secuencia de cuatro capas atómicas de la estructura wurtzita del GaN.



La columna izquierda muestra esferas que representan los átomos de Ga (azul) y Nitrógeno (rojo). A la derecha están las proyecciones horizontales correspondientes.

1. Comenzamos con un arreglo hexagonal bidimensional de átomos de Ga (cuentas mayores y azules). Primero, pegamos una cuenta en un papel sobre la mesa y la rodeamos por seis cuentas que pegamos en el mismo papel, de modo que sus centros formen un hexágono regular con la primera en el centro. La distancia entre los centros de las bolitas debe ser $a = (r_{\text{Ga}} + r_{\text{N}})\sqrt{8/3}$. Después podemos adicionar más y más bolitas, completando las seis vecinas de cada una de las que ya están en la mesa [ver figuras 1(a) y 1(b)]. En ese experimento, usaríamos una pequeña parte del total de cuentas disponibles. Pero debemos recordar que el arreglo ideal sería de infinitas bolitas.
2. Seguimos con un arreglo hexagonal bidimensional de átomos de N (cuentas menores y rojas). Colocamos una cuenta de forma que se acomode, por gravedad, en una posición estable sobre el arreglo anterior de átomos de Ga. Después adicionamos más y más cuentas rojas encima de las azules, de modo que todas se encuentren en posiciones equivalentes [ver figuras 1(c) y 1(d)].
3. El tercer arreglo será de átomos de Ga, y se hace necesario pegar una cuenta azul exactamente encima de cada bolita roja correspondiente al N de la segunda etapa [ver figuras 1(e) y 1(f)].
4. La gravedad nos ayuda nuevamente en la cuarta etapa, que es parecida con la segunda. La novedad es que las posiciones de los átomos de N deben alinearse verticalmente con los átomos de Ga de la primera etapa [ver figuras 1(g) y 1(h)].
5. La quinta etapa consiste en repetir la secuencia de etapas 1, 2, 3 y 4 (en ese orden), tantas veces cuanto queramos (o hasta que se nos agoten las cuentas). Ahora sí, en cada etapa 1 debemos tomar el cuidado de pegar un átomo de Ga exactamente encima de cada átomo de N de la etapa 4.

Desde el punto de vista químico, es importante notar que la estructura que acabamos de describir es tal que cada átomo posee cuatro vecinos más próximos, los cuales son de N para el Ga y viceversa. Además, los enlaces de cada átomo con cada par de vecinos forman un ángulo de $\arccos(-1/3) \approx 109.471^\circ$. Éste no es más que el ángulo entre los enlaces C-H en la molécula de metano (CH_4), y sabemos que está asociado a la hibridación sp_3 . En el caso del metano los orbitales híbridos son solamente del carbono, mientras que en el GaN participan orbitales híbridos de las dos especies químicas, Ga y N.

Se trata de un material muy duro, mecánicamente estable, con alta capacidad de transmisión de calor. Su sensibilidad a la radiación ionizante es baja (igual que otros nitruros del grupo III), por lo que es un material adecuado para fabricar componentes de satélites.

Las aleaciones del GaN que han sido más ampliamente utilizadas en óptica y electrónica son nitruro de galio e indio (InGaN) y el nitruro de galio y aluminio (AlGaN). Las siglas que usamos aquí omiten la estequiometría del material. En esas aleaciones, el número total de átomos de N coincide con la suma de las cantidades de átomos de los elementos del grupo III. Además, es usual denotar por x el porcentaje de In con respecto al total de In y Ga en el InGaN. Esas dos informaciones son expresadas en la fórmula global $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$. También es importante tener en cuenta que, en general, una aleación como el InGaN no posee la periodicidad de un cristal. Sin embargo, si ignoramos por un momento la diferencia entre los átomos de In y Ga, sí tendremos un

cristal. Por ejemplo, la estructura podría ser wurtzita. La diferencia entre el GaN y la aleación InGaN está en que los sitios del Ga en el primer material son ocupados desordenadamente por átomos de In o Ga en el segundo material.

El GaN es un semiconductor, o sea, aislante cerca del cero absoluto de temperatura (-273,15 °C) y un conductor razonable a la temperatura ambiente. Para comprender esto, podemos imaginar que cada electrón sólo se puede mover en el cristal si su energía está en alguna de las bandas permitidas, que a su vez son separadas por bandas prohibidas. Convenientemente, esa energía es expresada en electrón-Volt (eV), que no es más que la energía potencial que un electrón adquiere al pasar por una diferencia de potencial de un Volt, o sea, $1.60218 \cdot 10^{-19}$ Joules. Además, en el equilibrio a bajas temperaturas, los electrones llenan los niveles de energía en orden creciente. En un aislante, la última banda que contiene electrones está llena y se llama banda de valencia. La banda inmediatamente superior, que se llama banda de conducción, está totalmente vacía. Ambas bandas están separadas por una banda prohibida o *gap* (del inglés). Entonces, cuando la temperatura aumenta, los niveles de energía inferiores (superiores) de la banda de conducción (valencia) quedan parcialmente ocupados (desocupados). Lo más importante es que, en la presencia de un campo eléctrico débil, los electrones en bandas parcialmente ocupadas producen una corriente eléctrica. Por cierto, a la hora de describir la conducción producida por la banda de valencia, es más fácil concentrarse en los estados desocupados o huecos (de carga positiva) que en los propios electrones. Además, la incidencia de luz en el GaN puede producir más huecos y electrones de conducción, si su frecuencia es mayor que E_g/h , donde E_g es el ancho del *gap* y h es la constante de Planck ($4.13567 \cdot 10^{-15}$ eV s). Si pensamos en longitud de onda, ésta debería ser menor que ch/E_g , donde c es la velocidad de la luz en el vacío (299792458 m/s) y, por tanto, $ch \approx 1239.84$ eV nm.

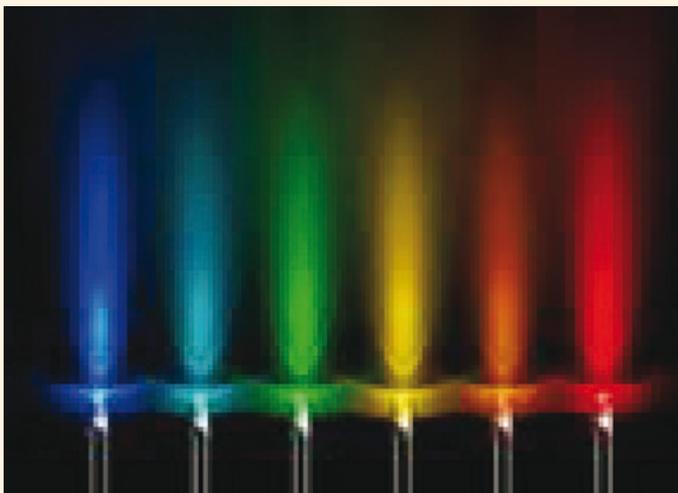
El *gap* del GaN es 3,4 eV, cuando la estructura es wurtzita y 3,2 eV, cuando es blenda de zinc. La primera estructura es la más usada en electrónica de alta potencia y dispositivos de alta frecuencia. Desde el decenio de 1990 ha sido utilizada en diodos emisores de luz (LED). El valor de longitud de onda que corresponde al ancho de su *gap* es 365nm. Si estudiamos el espectro electromagnético notamos que ese valor corresponde a una luz ultravioleta y está muy próximo del límite con la luz visible (380nm).

En su forma pura resiste el agrietarse y puede ser depositado sobre películas finas de zafiro (mineral de Al_2O_3) o de carburo del silicio (SiC). El GaN puro puede ser modificado mediante la introducción de átomos de silicio en los sitios de Ga, o átomos de oxígeno en los de N. Ese proceso es llamado dopaje y produce un exceso de electrones de conducción en el semiconductor, que pasa a ser clasificado como tipo n (de negativo). Alternativamente, el dopaje puede consistir en sustituir átomos de Ga por magnesio. De esa forma se obtiene un semiconductor tipo p (de positivo), pues la falta de electrones es un exceso de huecos. Sin embargo, la inclusión de impurezas en el nitruro de galio, en particular de silicio y de magnesio, afecta considerablemente la estructura cristalina convirtiéndolo en un material frágil. En general, el GaN y sus aleaciones también tienden a tener una alta concentración de defectos o dislocaciones, en el orden de cien millones hasta diez mil millones de defectos por centímetro cuadrado, cuando son dopados con impurezas de silicio y/o magnesio. Por otro lado el crecimiento de cristales de GaN no es tan fácil como el crecimiento de silicio. El GaN funde a una temperatura de 2500 °C, por lo que es necesario mantener presión de 64 mil atmósferas para evitar la descomposición del material.

El AlGaN es una aleación de AlN y GaN y su comportamiento electrónico es de semiconductor. Las aleaciones de AlGaN de alta calidad son de especial interés debido a que ellas poseen una respuesta espectral de emisión y absorción que va desde los 3,4 eV (aproximadamente la respuesta espectral del GaN) a los 6,2 eV (que es la respuesta espectral del AlN). Como puede observarse, hay una variación energética del espectro del AlGaN de 2,8 eV. Esta propiedad óptica permite que este tipo de aleación pueda ser fabricada para operar en rangos que van desde el espectro visible hasta el ultravioleta con sólo modificar la composición del aluminio en la aleación. Al igual que el GaN, esta aleación puede ser depositada sobre sustratos de carburo de silicio o de zafiro. Cuando se usa en la composición de heteroestructuras AlGaN/GaN, presenta una desventaja óptica que le hace disminuir su eficiencia: la llamada "luminiscencia amarilla" (*yellow luminescence*). Se trata de una banda muy ancha de luminiscencia amarilla que se presenta independientemente del método de deposición de los materiales y del tipo de sustrato sobre el que se realiza la deposición (D. R. Hang *et. al.* 2001). Si bien es cierto que este efecto empobrecedor de la eficiencia óptica del sistema se presenta en todas las aleaciones del GaN, el mismo se sobredimensiona en el AlGaN.

Por otro lado, tenemos al nitruro de galio e indio (InGaN o $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$). Es una aleación semiconductora de nitruro de galio (GaN) y de nitruro de indio (InN). Este sistema se trata de un semiconductor cuyo *gap* se puede ajustar, variando la cantidad de indio en la aleación. La proporción de In/Ga está normalmente entre 0,02/0,98 y 0,3/0,7. La longitud de onda emitida por esta aleación va desde el ultravioleta, pasando por el violeta-azul, hasta el azul (figura 2). Para proporciones mayores de In/Ga pueden alcanzarse emisiones en el rojo. Esta aleación tiene una alta capacidad calorífica y su sensibilidad a la radiación ionizante es baja, por lo cual es también potencialmente un material adecuado para componentes en satélites. Al igual que el GaN y el AlGaN puede ser depositado en forma de capas sobre sustratos de zafiro y carburo de silicio. Y, del mismo modo que en la aleación AlGaN, en el InGaN se presen-

FIGURA 2. Emisiones de dispositivos optoelectrónicos en base a InGaN.



Tomado de: <http://www.tradenote.net/Lamps_2/>.

ta también la llamada luminiscencia amarilla aunque en menor grado, lo que la hace algo más eficiente.

Sin embargo, el InGaN tiene una desventaja “ventajosa”. Se ha comprobado que, cuando la proporción de indio de encuentra entre un 15% y un 85%, se presenta un efecto llamado descomposición espinoidal (*spinoidal decomposition*) en esta aleación. Este efecto es un mecanismo por el cual dos o más componentes de un sistema pueden separarse en distintas regiones o fases con distinto porcentaje de composición química, las cuales tienen diferentes propiedades físicas. Esto hace que se formen estructuras nanométricas inmersas en capas muy delgadas de la aleación InGaN (Rodríguez-Coppola, H. *et al.*, 2004). Por confinar portadores de carga en forma análoga a lo que hacen los núcleos atómicos en el vacío, esas estructuras inmersas son llamadas puntos cuánticos. De esta manera, las propiedades ópticas capas ultradelgadas de $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, con puntos cuánticos de $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ inmersos (donde $y \neq x$), serán muy diferentes y, ciertamente, aprovechables.

No estaría nada mal, antes de continuar el tema de las sorprendentes propiedades optoelectrónicas del GaN y sus aleaciones, hacer mención en este momento a algunas características de dispositivos optoelectrónicos. Tales dispositivos presentan comportamiento óptico que puede ser controlado electrónicamente. A continuación, hablaremos más sobre ellos.

¿CÓMO FUNCIONAN LOS DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS?

Las principales fuentes de luz en la optoelectrónica son:

- Diodo emisor de luz.
- Diodos láser o diodos láser por inyección.

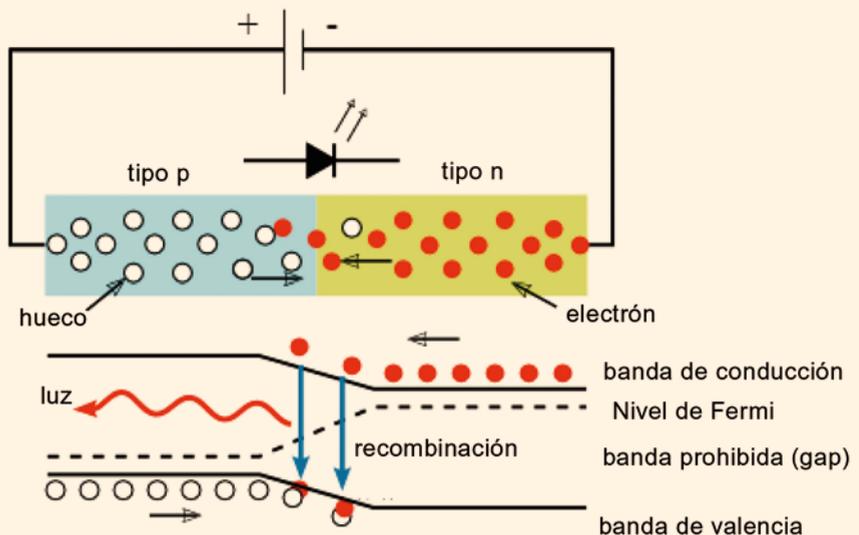
Para comprender su funcionamiento, conviene recordar que un diodo es una válvula electrónica, o sea, un dispositivo que permite el paso de la corriente en un sentido, y lo dificulta en el sentido contrario. Los primeros diodos funcionaban en tubos de vacío e hicieron parte de los circuitos de los primeros aparatos receptores de radio y televisión a mediados del siglo XX. La corriente que pasaba a través de ellos era controlada por el voltaje entre sus **dos** electrodos, de donde se desprende el nombre de **diodo**. Felizmente, en la electrónica moderna, fue posible sustituir los tubos de vacío por diodos semiconductores. Estos últimos son mucho menores y más económicos, y se basan en junturas p-n, o sea, en la unión de un semiconductor tipo p con otro tipo n. Como el dispositivo tiene dos terminales, el término diodo continúa siendo adecuado.

En una juntura p-n, ocurre una difusión natural de los portadores de carga excedentes: una pequeña parte de los huecos va al lado tipo n, mientras que una minoría de electrones de conducción va hacia el lado tipo p. A su vez, esas cargas se acumulan en ambos lados de la superficie de separación, y esto viene acompañado de voltaje de equilibrio que inhibe una mayor difusión de cargas. Y éste se debe a un potencial electrostático que aumenta gradualmente en la medida que recorremos el dispositivo en el sentido p→n. Entonces, cuando se le aplica una caída de potencial a la juntura p-n, se facilita el flujo de huecos en el sentido p→n y electrones en el sentido n→p. Como los portadores tienen signos de carga diferentes, esas corrientes se refuerzan, en lugar de anularse. Ése es el sentido de voltaje en que la corriente es permitida y se llama

ma polarización directa. Lo más interesante es que, al aplicar una subida de potencial, lo que se estimula es el regreso de los portadores de carga difundidos hacia su región original. Pero éstos son portadores minoritarios y la corriente resultante será despreciable. Por tanto, se trata de la configuración en que la corriente es prácticamente bloqueada, y que es llamada polarización inversa.

La descripción que acabamos de presentar sobre el principio de funcionamiento del diodo semiconductor sugiere que cosas más interesantes todavía pueden ocurrir. De hecho, en la polarización directa, una parte de los portadores mayoritarios (huecos del lado p, electrones de conducción del lado n) encontrará portadores opuestos durante su paso por el dispositivo (ver figura 3). En esas condiciones, el electrón de conducción puede “llenar un hueco”. Ese proceso, llamado recombinación, presupone una transición del electrón de conducción desde un estado cerca del borde inferior de la banda de conducción hasta otro próximo del borde superior de la banda de valencia. La energía emitida en ese proceso es cedida al campo electromagnético, en otras palabras, la recombinación viene acompañada de la emisión de radiación electromagnética. Y así, tenemos un diodo emisor de luz, ¡que es un dispositivo optoelectrónico! Ese tipo de dispositivo es más conocido por las siglas LED (acrónimo inglés de *light-emitting diode*), y ha estado presente en aparatos electrónicos en las últimas décadas. Además, su popularidad aumentó recientemente con el lanzamiento de las pantallas de televisión basadas en una matriz de LEDs. Claro, el color de la luz (longitud de onda de la radiación electromagnética) emitida por cada LED depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo. En un principio, ella puede variar desde el infrarrojo, pasando por el visible (ver figura 2), hasta el ultravioleta. Los LEDs que emitan luz infrarroja recibirán la denominación de IRED (Infra-Red Emitting Diode), mientras que los que emitan luz ultravioleta llevarán el nombre de UV LED (*ultraviolet light-emitting diode*).

FIGURA 3. Funcionamiento interno de un LED.

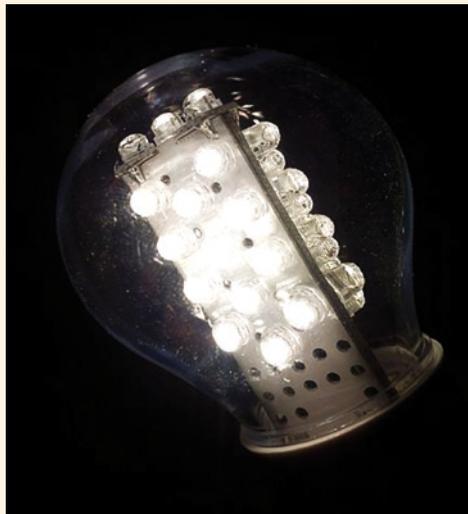


Esta cuestión de usar LEDs para producir luz de varios colores también nos hace pensar naturalmente en el arco iris. La luz blanca que usamos en nuestro quehacer diario se puede descomponer en una gama de colores e, invirtiendo el proceso, ¡podemos producir una luz blanca mediante la combinación de varios colores! Y cómo hacer eso mediante un LED? Bueno, habría que modificar el dispositivo de forma que sean posibles diversos procesos de recombinación electrón-hueco, y que cada uno de ellos produzca un color diferente. Sin entrar en más detalles, podemos decir que el LED de luz blanca ya es una realidad (ver figura 4). Su desarrollo es un intento muy bien fundamentado para sustituir las bombillas actuales por dispositivos mucho más ventajosos caracterizados por:

- un consumo de un 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común;
- un consumo de un 30% menos que la mayoría de los sistemas de iluminación fluorescentes;
- una duración de hasta 20 años.

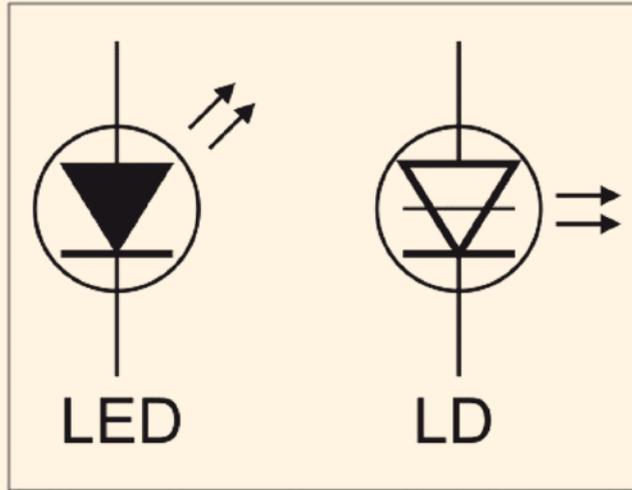
Por otro lado, existen los llamados diodos láser, LD (acrónimo inglés de *laser diode*), también llamados a veces diodos láser de inyección, ILD (acrónimo inglés de *injection laser diode*). El diodo láser es un dispositivo semiconductor similar a un LED, pero es capaz de emitir luz láser. Ese tipo de radiación electromagnética tiene la propiedad de ser temporal y espacialmente coherente. Esto significa que puede producir patrones de interferencia debido a una alta correlación de la fase de las oscilaciones a lo largo del haz, que a su vez puede ser focalizado sobre regiones pequeñas a grandes distancias. La simbología para diseños optoelectrónicos es diferente respecto a los LED, como puede verse en la figura 5. Estos dispositivos pertenecen a las llamadas

FIGURA 4. LED de luz blanca.



Tomado de: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:LED_light_bulb.jpg>.

FIGURA 5. Simbología de diseño de un LED y un LD.



Tomado de: <<http://laserpointerforums.com/f44/symbol-laser-diode-64064.html>>.

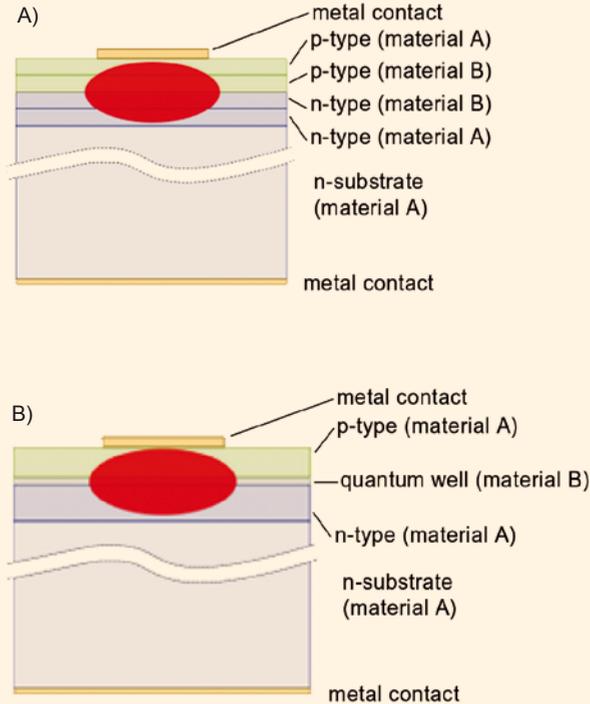
luces de estado sólido (*solid state light*; SSL) y resultan ser muy ventajosos respecto a los láseres gaseosos porque:

- son muy eficientes;
- son muy fiables;
- tienen tiempos medios de vida muy largos;
- son económicos;
- permiten la modulación directa de la radiación emitida, pudiéndose modular a décimas de Gigahercio;
- su volumen y peso son pequeños;
- el umbral de corriente que necesitan para funcionar es relativamente bajo;
- su consumo de energía es reducido (comparado con otras fuentes de luz);
- el ancho de banda de su espectro de emisión es angosto (puede llegar a ser de sólo algunos KHz).

¿Y, cómo funcionan estos dispositivos?

El esquema de funcionamiento de estos dispositivos, LED y LD, son muy similares porque dependen del proceso de recombinación de electrones y huecos en la región activa de una unión p-n, o sea, de la región activa de un diodo. En la figura 6 se muestra el esquema de funcionamiento genérico de estos dispositivos. La figura 6(a) muestra el esquema de un diodo de doble heteroestructura, donde la capa intermedia de material B está rodeada de un material A con diferente tipo de dopaje: tipo n o tipo p. La ventaja que tiene este tipo de diodo es que la región activa de recombinación de electrones y huecos es la capa de material B, que debe tener un *gap* menor que el material A. Esto contribuye a que haya mayor cantidad de pares electrón-hueco que se recombinan, aumentando la eficiencia del dispositivo.

FIGURA 6. A) esquema de diodo de doble heteroestructura. **B)** esquema de diodo de pozo cuántico



Tomado de: <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_diode>.

¿Y qué ocurre si la capa de material de B se hiciera extremadamente fina, con una espesura de pocos nanómetros? Bueno, desde el punto de vista teórico eso trae un importante confinamiento de los portadores de carga. Por tanto, se nos hace necesario usar conceptos y métodos de la mecánica cuántica para describir adecuadamente los nuevos estados posibles para electrones de conducción y huecos. Eso justifica que tales capas superfina se llamen pozos cuánticos semiconductores. Mientras tanto, del punto de vista experimental, el crecimiento o la fabricación de pozos cuánticos semiconductores hace parte de lo que naturalmente denominamos de nanotecnología. Los avances en esta área del conocimiento han permitido la creación del diodo de pozo cuántico (ver figura 6(b)). Así se alcanza una mayor eficiencia energética, a la vez que un mayor confinamiento de la región en que se emite la radiación. Ésos son ingredientes fundamentales para la emisión de luz láser.

Entonces, conocidos estos detalles de los dispositivos optoelectrónicos, ¿cómo aparecen el nitruro y sus aleaciones en estos sistemas de emisión de luz?

Y SE HIZO LA LUZ... AZUL

Si se quiere conocer cómo se introdujeron el nitruro de galio y sus aleaciones en la sorprendente aventura de los diseños y construcciones de los LED y los LD, tenemos

FIGURA 7.

De izquierda a derecha: Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura.

que hacer un breve recorrido por la ciencia y la tecnología japonesa de la época. Y este recorrido tendrá que pasar, ineludiblemente, por tres personalidades científicas: Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura (figura 7).

Desde los años setenta del siglo xx ya se utilizaban y comercializaban los LED de emisiones roja y verde; entre sus mayores usos se destacaban los indicadores y las señales. Y ya, desde estos mismos años se comenzó la búsqueda de los LED azules.

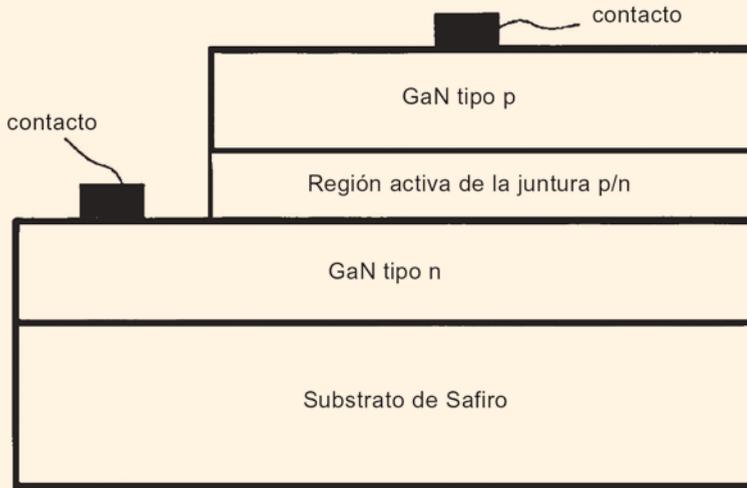
Los principales materiales, potencialmente soportes de los LED azules, eran el carburo de silicio (SiC), el seleniuro de zinc (ZnSe) y el nitruro de galio (GaN). En el carburo de silicio, la recombinación entre estados en los bordes de las bandas de conducción y valencia requiere la participación de vibraciones de la estructura cristalina. Eso reduce la eficiencia del proceso y el SiC dejó de ser un candidato al reto de la tecnología de emisión azul. El seleniuro de zinc no presentaba esa desventaja, pero su vida útil como emisor de luz era muy efímera, debido a la migración electrónica del contacto metálico en el diodo, a la capa semiconductor (región activa) de emisión de luz.

Entonces, la ciencia y la tecnología japonesa apostaron por el GaN. El trabajo de investigación y desarrollo alrededor del GaN como base material de LED y LD se realizó prácticamente en paralelo en la Universidad de Nagoya y en el área de Innovación y Desarrollo (I+D) de la Nichia Chemical Industries, Ltd.; Akasaki y Amano en la Universidad de Nagoya y Nakamura en la Nichia Chemical Industries. Y en todo este trabajo científico y tecnológico se enfrentaron a los mismos problemas experimentales y de desarrollo tecnológico (Takeda Award, 2002).

El problema principal encontrado por Akasaki y Amano era la deposición (o crecimiento) de las capas de GaN sobre los sustratos o sobre capas con diferente tipo de dopaje. Desechando el método de epitaxia de hidruros en fase vapor HVPE (siglas en inglés de *hydride vapor phase epitaxy*) y, sustituyéndolo por el método de epitaxia por haces moleculares MBE (siglas en inglés de *molecular beam epitaxy*), se mejoraba la eficiencia óptica del LED. La eficiencia óptica usando el método HVPE era de un 0,12 %, bastante pobre, y con el método MBE se incrementaba algo, pero no sensiblemente diferente. La figura 8 muestra un esquema simplificado de aquellos LED de GaN.

Ambos métodos de deposición o crecimiento de capas de GaN presentaban desventajas considerables desde el punto de vista tecnológico. El método HVPE no aseguraba la cristalinidad de las capas a una alta velocidad de crecimiento. El método MBE acarrea problemas de estequiometría del compuesto (GaN), por la extracción

FIGURA 8. Esquema simplificado de un diodo emisor de luz de GaN, según patente US 6, 787, 435 B2 de septiembre 7 de 2004.



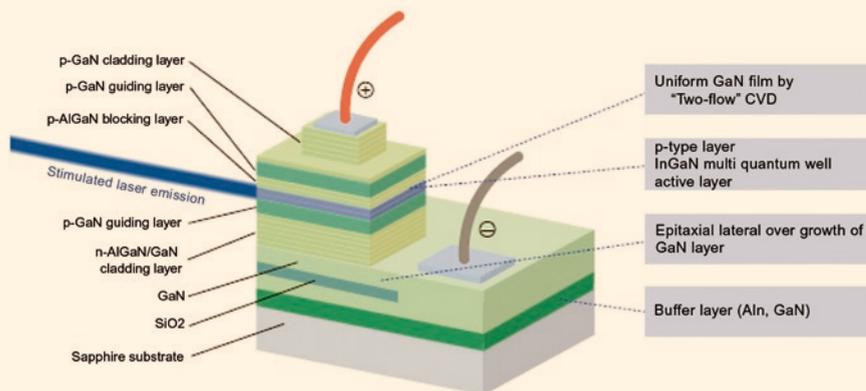
del nitrógeno en condiciones de ultra alto vacío. Finalmente, Akasaki y Amano diseñaron y desarrollaron un equipo de deposición de vapores químicos metalorgánicos, MOCVD (siglas en inglés de *metal organic chemical vapor deposition*) y con este método realizaron alrededor de 1500 experimentos en dos años. La buena calidad cristalina de las capas de GaN, así como la uniformidad de espesores fueron confirmadas con caracterizaciones ópticas, eléctricas y mecánicas. Con mucho esfuerzo experimental, lográndose capas de GaN tipo p con buena calidad y disminuyendo la región activa del diodo a espesores nanométricos, se aseguraba un LED azul de buen rendimiento óptico (Hiroshi Amano *et al.*, 1989). Akasaki y Amano llevaron a cabo el desarrollo tecnológico del LED azul en la empresa Toyoda Gosei Co. Ltd., y en 1992 lograron un LED azul de 1,0% de eficiencia, y Toyoda Gosei lanzó este producto al mercado en 1995. Por aquellos años, y simultáneamente con los estudios del LED azul, Akasaki y Amano habían emprendido también el estudio, diseño y construcción de un LD azul y sus positivos resultados fueron publicados en 1990 (ver Hiroshi Amano *et al.*, 1990). En estos estudios experimentales volvió a estar presente la nanotecnología: la región activa de recombinación del diodo láser estaba constituida por una estructura de pozos cuánticos múltiples. No obstante, los buenos resultados obtenidos, este diodo láser azul, diseñado y construido por Akasaki y Amano, no fue comercializado.

Nakamura también apostó por el GaN en la empresa Nichia Chemical Industries, Ltd. Y confrontó las mismas dificultades experimentales que Akasaki y Amano, hasta que llegó a la necesidad del uso del método MOCVD. La única diferencia en la utilización de este método de depositar o crecer capas de GaN, respecto a los trabajos de Akasaki y Amano, radicaba en que para lograr buena uniformidad de las capas, Nakamura se basaba en el control del esquema de flujos de gases durante la deposición, mientras que Akasaki y Amano se basaban en las condiciones de baja temperatura a que debía estar el sustrato y la capa amortiguadora o *buffer*. Parece ser que existe cierta solución de compromiso entre estos dos parámetros de deposición de capas,

pues un buen balance de ambas produce buenos resultados. Nakamura tuvo mejor suerte que Akasaki y Amano, con sólo 500 ensayos, logró un buen LED azul, con una buena eficiencia. Sin embargo, tuvo una idea novedosa: ¡sustituir la capa intermedia de región activa por una capa de InGaN! En 1992, logró una capa intermedia de InGaN de muy buena calidad que sirvió para optimizar la luz emitida y aumentar la eficiencia de emisión (Nakamura y Mukai, 1992). Nakamura también utilizó métodos muy novedosos para obtener capas de GaN con dopaje tipo p, que era ciertamente difícil, y logró sus primeros LED con eficiencia de 0.18 %; posteriormente con la introducción de las capas de InGaN en la región activa del diodo logró un 2,7% de eficiencia de emisión y esto fue suficiente para la Nichia Chemical Industries, Ltd., que lanzó su primer LED azul al mercado en 1993. Claro que los logros de la nanotecnología no se podían dejar de tener en cuenta: sustituyendo la capa intermedia de InGaN por una estructura de pozos cuánticos múltiples, Nakamura logró un LED azul de 9,2% de eficiencia de emisión y un tiempo de vida de 100 mil horas. Con todos estos resultados Nakamura se lanzó al diseño y construcción del LD azul. Su diseño de diodo láser tenía la particularidad de ser una extensión del diseño del diodo con región activa con base en una estructura de pozos cuánticos múltiples de InGaN. Su excelente resultado fue publicado en Nakamura, S. *et al.* (1996). En 1999 la Nichia Chemical Industries, Ltd., lanzó al mercado su primer LD azul con una eficiencia de más de 9% y un tiempo de vida estimado en más de 10 mil horas. La complicación del diseño y construcción tecnológica de estos dispositivos ha ido creciendo con los desarrollos y las innovaciones tecnológicas en universidades, centros de investigación y empresas. En la figura 9 se muestra el esquema del LED azul de Nakamura.

Nuevos modelos de LED y LD han sido desarrollados a partir de los éxitos en el conocimiento y aprovechamiento de las propiedades físicas del grafeno. Se trata de una monocapa atómica que entra en la composición del grafito, donde los enlaces entre los átomos de carbono imitan la geometría de un panel de abejas (*honeycomb*, en inglés). La novedad en los dispositivos radica en que el contacto metálico ha sido sustituido por capas de grafeno, mejorando considerablemente las propiedades electrónicas de estos dispositivos (G. Jo *et al.*, 2010).

FIGURA 9. Esquema del LED azul de Shuji Nakamura. Takeda Award (2002).



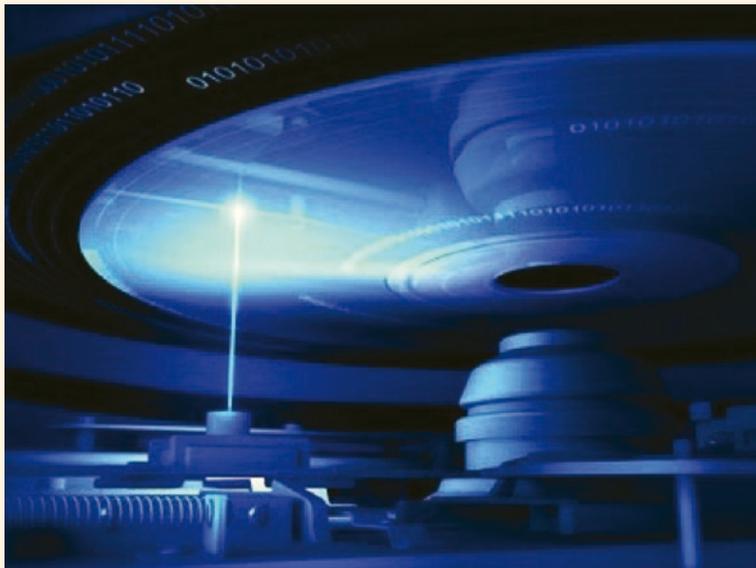
Fuente: Achievement Facts Sheet Techno-Entrepreneurial Achievements for Social/Economic Well-Being. The Development of Blue Light Emitting Semiconductor Devices.

¿Y TODO ESTO PARA QUÉ HA SERVIDO?

De manera ingenua, podíamos decir que el LED azul y el LD azul sirven para completar el espectro de dispositivos emisores de luz, junto con los LED y LD verdes y rojos. Pero esto va mucho más allá.

El nitruro de galio se ha convertido en el compuesto clave para la producción de emisores de luz ultravioleta, azul, verde y amarilla, con tan solo cambiar la composición del indio en la capa activa intermedia de los diodos. El desarrollo del LD azul permitió que en 2002 saliera al mercado la nueva generación de CDs y DVDs conocidos como los “Blu-ray Disc” (ver figura 10). Cada vez más se usan los LED azules con base en GaN, para reemplazar bombillas incandescentes domésticas y públicas, así como en señalizaciones de tránsito (ver figura 11). Ya en el año 2002, el Departamento de Transito de California había reemplazado 200 mil señales de tráfico por LED y en Japón un millón de señales de tránsito y 770 mil señales peatonales estaban basadas en la tecnología de los LED azules, y las combinaciones de colores que brinda la tecnología de los LED con base en el GaN. Claro que esto podría pensarse que se hace por novedad, pero no, gracias a las excelentes propiedades de estos dispositivos emisores de luz, su uso o remplazo de otras fuentes de luz permiten un millonario ahorro de energía eléctrica y una reducción de emisión de CO₂ de más de 110 mil toneladas anuales. Desde la primera comercialización de los LEDs de GaN de Shuji Nakamura, la comercialización ha aumentado en 400 mil millones de dólares en los EUA. Por otro lado, la industria de TV ha logrado éxitos inalcanzados anteriormente con el uso de las combinaciones de LEDs azules, rojos y verdes para lograr las pantallas planas de “full-color” que desde hace años ya se están comercializando.

FIGURA 10. Tecnología del Blu-ray Disc.



Tomado de: <<http://www.es.globaltalentnews.com/articles/328/la-revolucion-luminica.html>>.

FIGURA 11. Encendido navideño con LED azules en Tokio. 2008.



Tomado de: <www.eurotechnology.com/market_reports/lighting/>.

CONCLUSIONES

Ninguna conclusión podría ser mejor que la que se hizo cuando Akasaki, Amano y Nakamura fueron galardonados con el premio Takeda Award (2002). En este premio se concluyó que:

El desarrollo del diodo emisor de luz azul y el láser azul han completado el espectro de luz para los dispositivos semiconductores. La luz azul que emiten los dispositivos semiconductores se espera que permita una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la electrónica (grandes y brillantes pantallas de televisores a todo color, señales de control de tráfico y las lámparas de alumbrado). De especial importancia, es el hecho de que se espera que los LED de luz blanca contribuyan a la reducción del consumo de energía eléctrica a través de un alto nivel de eficiencia de emisión de luz y la reducción de residuos contaminantes a través de su vida útil.

Akasaki, Amano, y Nakamura, respectivamente, lograron el desarrollo, a través de enfoques muy creativos, de dispositivos semiconductores emisores de luz azul, que permiten muchas aplicaciones en la vida humana, y extender el valor, la riqueza y la felicidad de las personas.

REFERENCIAS

- La Flecha. (2009). "El nitruro de galio podría revolucionar la iluminación a corto plazo". *Tu Diario de Ciencia y Tecnología*. 03 julio 2009.
- D. R. Hang, C. H. Chen, and Y. F. Chen, H. X. Jiang and J. Y. Lin. (2001). "Al_xGa_{1-x}N/GaN band offsets determined by deep-level emission". *Journal of Applied Physics*, vol. 90, núm. 4, agosto 2001.
- Rodríguez-Coppola, H., Tutor-Sánchez, J., Leite, JR., Scolfaro, LMR., García-Moliner, F. (2004). "The absorption coefficient of low dimensional semiconductor systems: The photoluminescence of InGaN quantum dot". *Microelectronics Journal*, 35 (2): 103-110, febrero.
- Takeda Award. (2002). Achievement Facts Sheet Techno-Entrepreneurial Achievements for Social/Economic Well-Being. The Development of Blue Light Emitting Semiconductor Devices. To Isamu Akasaki (Meijo University) and Hiroshi Amano (Meijo University) Shuji Nakamura (University of California, Santa Barbara).
- Hiroshi Amano, Masahiro Kito, Kazumasa Hiramatsu y Isamu Akasaki. (1989). "P-type conduction in Mg-Doped GaN treated with low-energy electron beam irradiation (LEE-BI)". *Japanese Journal of Applied Physics*. 28: L2112-L2114.
- Hiroshi Amano, Tsunemori Asahi y Isamu Akasaki. (1990). "Stimulated emission near ultraviolet at room temperature from a GaN film grown on sapphire by MOVPE using an AlN buffer layer". *Japanese Journal of Applied Physics*. 29: L205-L206.
- Nakamura, S. y Mukai, T. (1992). "High-quality InGaN films grown on GaN films". *Japanese Journal of Applied Physics*. 31, L1457 (1992).
- Nakamura, S. *et al.* (1996). "InGaN-based multiquantum-well-structure laser diode". *Japanese Journal of Applied Physics*. 35, L74 (1996).
- G. Jo *et al.* (2010). "Large-scale patterned multi-layer graphene films as transparent conducting electrodes for GaN light-emitting diodes". *Nanotechnology*. 21, 175201 (2010).

Protegiendo fármacos con nanomateriales inteligentes

SANDRA LOERA SERNA*, JAZMÍN RUIZ ANGELES**,
JORGE FLORES MORENO[†] Y LÍDICE SOTO PORTAS^{††}

RESUMEN: La salud humana se enfrenta constantemente a nuevas amenazas ante las cuales es indispensable que los medicamentos actúen rápidamente. Por ello, en la actualidad se buscan nuevas formas de administración y liberación de fármacos utilizados en el combate de ciertas enfermedades. La implementación y desarrollo de nanomateriales para actuar como transportadores y dosificadores se ha convertido en una línea de investigación a nivel mundial.

En este contexto, se han probado diversos tipos de materiales como son: las nanopartículas poliméricas, los polímeros conjugados, los liposomas, las micelas, las dendritas, los nanotubos de carbono y las nanoesferas o nanocajas (poliméricas o metálicas), que en ocasiones, no son los mejores candidatos para transportar un fármaco de manera eficiente y segura.

En este trabajo se pone en evidencia la necesidad de desarrollar nuevos materiales, con características específicas, como las redes metal orgánicas, MOF por sus siglas en inglés (*metal organic framework*). Las MOF constituyen un grupo de materiales cuyas propiedades pueden ser reguladas según se requiera en cada aplicación. Desde el punto de vista estructural, el diseño de las MOF depende del centro metálico y el ligando orgánico que las constituyen, los cuales pueden aportar características fisicoquímicas acordes al fármaco que se desee encapsular, para luego ser liberado en el organismo. Estos materiales pueden ser sintetizados de manera sencilla a un bajo costo; además, sus propiedades pueden modularse desde la síntesis o bien pueden funcionalizarse, todas estas características constituyen ventajas que podrían superar a los materiales existentes.

PALABRAS CLAVE: nanomateriales inteligentes, fármacos, MOF.

ABSTRACT: Human health is constantly the subject of new threats, demanding for efficient and fast-acting drugs. Nowadays, new ways for delivering and dosing drugs are under investigation, and nanomaterials have become a major research field. Several materials have been studied for drug transportation and dosage: polymer nanoparticles, conjugated polymers, liposomes, micelles, dendrites, carbon nanotubes, gold nanoparticles or nanocages of different elements. However, in many cases, these materials have not been as efficient as expected.

In this work we make evident the need for developing new materials with specific properties, such as the MOFs (metal organic frameworks). The MOF are a group of materials with properties that can be tailored to suit specific applications. MOF design involves a metal center and an organic ligand, which provide the required physicochemical properties, depending on the drug to be encapsulated, for latter release, in the organism. MOF synthesis can be simple and low-cost; desired properties can be introduced during the synthesis procedure, or after it, by functionalization. Because of these advantages, MOF may work better than other materials.

KEY WORDS: intelligents nanomaterials, drugs, MOF.

* Profesora investigadora de la Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco (UAM-A), Área de Química de Materiales (AQM). <sls@correo.azc.uam.mx>.

** Estudiante de ingeniería ambiental de la UAM-A.

† Profesor investigador de la UAM-A, AQM.

†† Profesora investigadora de la UAM-A, AQM.

¿QUÉ ES UN FÁRMACO?

Un fármaco es una sustancia química capaz de prevenir, controlar, tratar, curar o modificar, procesos fisiológicos no deseados. Existen diferentes tipos de fármacos, entre los más comunes se encuentran algunos compuestos orgánicos, derivados de ácidos nucleicos y derivados de tipo carbohidrato (Hoffman, 2011).

Existen distintos factores que pueden mermar la disponibilidad de los fármacos en el sitio requerido, entre ellos, la degradación (debida a los ácidos estomacales o al sistema inmunológico), la interacción con el medio biológico e incluso la penetración intracelular (Peer *et al.*, 2007). En algunos casos los fármacos pueden dañar órganos sanos, por ejemplo los fármacos que se utilizan en el tratamiento contra el cáncer tienen como objetivo matar las células cancerosas sin eliminar las sanas. Las células cancerosas se multiplican a un ritmo mayor que las sanas (de 2 a 4 veces más rápido). Sin embargo, los fármacos no son capaces de reconocer las células sanas que también se dividen con rapidez; por ejemplo, las de la médula ósea, los folículos pilosos y el recubrimiento del tracto digestivo. Esta falta de reconocimiento de las células tiene como consecuencia los efectos secundarios de los tratamientos contra el cáncer, como anemia, pérdida del cabello y alteraciones gastrointestinales (Ackerman, 2008).

Los fármacos que se utilizan en el tratamiento contra el VIH generan toxicidad hepática, debido a que las enzimas metabolizan o descomponen el fármaco en sustancias químicas activas (metabolitos) que generalmente son tóxicos. Si una sustancia inhibe las enzimas, el procesamiento de los fármacos es lento y los niveles de medicamento en el cuerpo aumentan, intensificando la toxicidad y los efectos secundarios. Si la sustancia estimula la producción de las enzimas, se acelera el metabolismo de los fármacos y éstos se eliminan rápidamente, haciendo que las concentraciones del medicamento caigan hasta niveles ineficaces. Si se metabolizan múltiples fármacos a través de una vía compartida, puede producirse un bloqueo del metabolismo, ya que todos los fármacos compiten por las mismas enzimas.

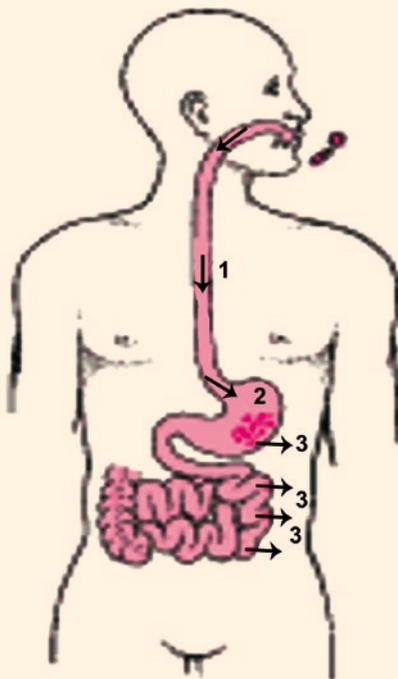
No sólo los fármacos contra el VIH generan toxicidad hepática, el paracetamol es un fármaco dañino para el hígado a partir de ciertas dosis, es uno de los principales causantes de insuficiencia hepática aguda, siendo responsable de más de 50 mil visitas a urgencias médicas (Highleyman, 2003).

Para que los fármacos puedan cumplir con sus funciones (prevenir, controlar, tratar, curar o modificar) es necesario que no se modifiquen las propiedades fisicoquímicas de las moléculas que los forman, que los factores externos con los que interactúa en el organismo no cambien la naturaleza del fármaco y, finalmente, que no decrezca la concentración cuando se absorben.

VÍAS DE ADMINISTRACIÓN

Existen diferentes vías de administración de un fármaco, como son: oral, intravenosa, intramuscular, subcutánea, sublingual, rectal, ocular, nasal, inhalación, tópica o transdérmica. El suministro oral es la vía más conveniente, segura y menos costosa, sin embargo, fármacos como la insulina, que se utiliza en pacientes con diabetes, no pueden ser suministrados mediante esta vía, debido a que se digieren y se eliminan sin adsorberse (MMIMH). Cuando un fármaco es suministrado vía oral, comienza a absorberse en el tracto gastrointestinal, pasando por el tubo digestivo hasta el esófago, donde se fragmenta en pequeñas partículas. Posteriormente llega hasta el estómago donde co-

FIGURA 1. Esquema que representa los órganos por los que circula un fármaco cuando es suministrado por vía oral [3]. 1. Paso al tubo digestivo por el esófago, 2. Disolución del medicamento en pequeñas partículas, 3. Absorción, que puede tener lugar a nivel del estómago, pero que se lleva a cabo principalmente en el intestino.



mienza la absorción, la cual se lleva a cabo principalmente en el intestino, una vez absorbido a nivel de la circulación sanguínea, el fármaco se propaga a través del cuerpo y penetra diferentes tejidos (figura 1).

¿CÓMO OPTIMIZAR LA ADMINISTRACIÓN DE UN FÁRMACO?

Los efectos secundarios, la toxicidad, la concentración y la degradación son características de los fármacos que pueden controlarse con el uso de nanomateriales “inteligentes”. En este caso los nanomateriales inteligentes serán aquellos que cumplan con algunas de las siguientes funciones: trasladar el fármaco sin ninguna modificación hasta el lugar del organismo donde se requiera, liberar la sustancia química de forma controlada, no generar residuos químicos tóxicos, ser biocompatibles, incrementar la vida útil del fármaco, tener baja velocidad de degradación, eliminarse completamente del organismo una vez liberado todo el fármaco y tener tamaño nanométrico (10^{-9} m).

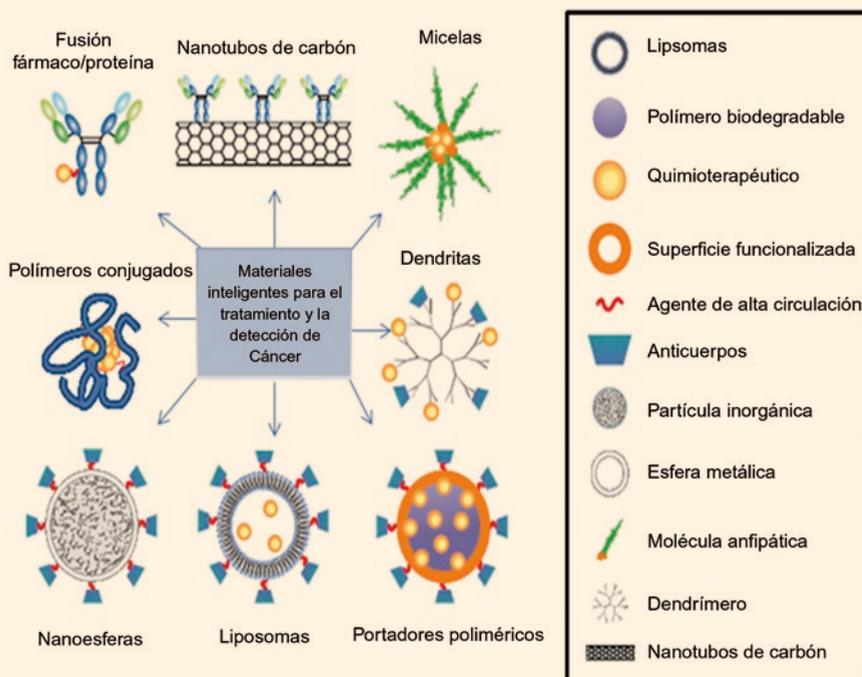
En la literatura científica internacional existen trabajos de investigación dedicados al diseño, síntesis y caracterización de materiales con dichas propiedades. Entre los nanomateriales inteligentes más estudiados se encuentran las nanopartículas poliméricas, los polímeros conjugados, los liposomas, las micelas, las dendritas, los nanotubos de carbono y las nanoesferas o nanocajas (poliméricas o metálicas) (figura 2) (Peer *et al.*, 2007).

NANOMATERIALES INTELIGENTES

Las nanopartículas poliméricas son materiales comúnmente utilizados como portadores de fármacos. Entre las primeras investigaciones sobre el uso de polímeros para la dosificación de fármacos anticancerígenos destaca la que se realizó en el año 1979, por el grupo de Couvreur y col. (Duncan, 2006), donde utilizaron nanopartículas de polialquilmcianoacrilato. Los polímeros multifuncionales siguen desarrollándose, ya sea como polímeros conjugados o como portadores poliméricos (figura 2). En el año 2006, Duncan y col. (Satchi-Fainaro *et al.*, 2006; Couvreur *et al.*, 1979) realizaron trabajos sobre el uso de polímeros químicamente conjugados con fármacos, para el tratamiento de varios tipos de tumores cancerígenos. Sin embargo, estos materiales presentan una distribución de tamaño de partícula poco homogénea, y algunos tienen grupos funcionales en la superficie de las partículas, como carboxilos o hidroxilos, que pueden ser altamente reactivos y generar modificaciones químicas desfavorables para aplicaciones biológicas (Guo *et al.*, 2007).

Para controlar el tamaño de partícula se diseñaron nanoesferas poliméricas, las cuales constituyen un grupo de materiales que tienen como característica, además del tamaño nanométrico, una forma que facilita su absorción (Hassan *et al.*, 2007). Esta protección polimérica del fármaco, permite que la liberación esté controlada por la velocidad de degradación del polímero, la cuál puede prolongarse hasta por 24 horas; también permite que el fármaco no se absorba antes de llegar al lugar afectado.

FIGURA 2. Materiales inteligentes utilizados como portadores y dosificadores de fármacos en el tratamiento y la detección de cáncer [2].

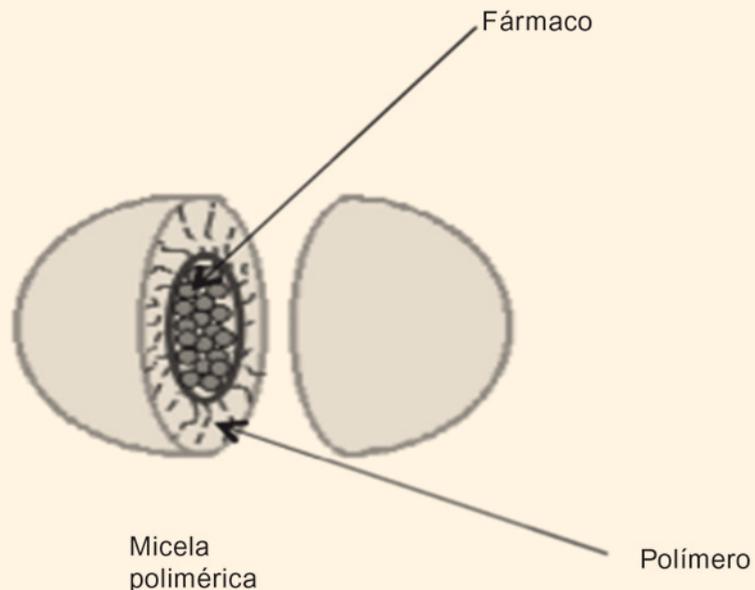


El tamaño y la forma del material proporcionan una mejor difusión. Muchos fármacos que se ingieren vía oral utilizan este tipo de polímeros para protegerlos de los ácidos estomacales. Las nanoesferas de PLGA (ácido poli-láctico glicólico), con diámetro de 90 a 150 nm, pueden almacenar hasta 45% en peso de fármaco y logran eficiencias de 95% (Gref *et al.*, 1994). Las nanoesferas también pueden estar constituidas por cascarones metálicos que contienen el fármaco, aunque estos materiales no tienen ventajas sobre otros tipos de portadores debido a que la mayoría no son materiales biodegradables y no tienen un tamaño suficientemente pequeño para eliminarse (Peer *et al.*, 2007).

Por otra parte, los liposomas son coloides (1000 nm, aproximadamente) de portadores que se forman espontáneamente cuando algunos lípidos son hidratados en medio acuoso (Sharma *et al.*, 1997). Los liposomas están compuestos por materiales biocompatibles y biodegradables, que consisten en un componente acuoso, atrapado en bicapas de lípidos que pueden ser naturales o sintéticos. Los fármacos pueden retenerse en la parte acuosa de los liposomas, o bien en las intercapas que los forman. Hasta el momento se han logrado encapsular vacunas, esteroides, agentes anti-coagulantes, fármacos antimicrobianos, material genético, entre otros (Gregoriadis, 1993).

Otro material que ha sido evaluado en la retención y dosificación de fármacos son las micelas que están formadas por moléculas hidrofóbicas ensambladas, capaces de solubilizar sustancias lipofílicas, y se encuentran rodeadas por extremos hidrofílicos estabilizados por una interface (figura 3). Las propiedades fisicoquímicas de las micelas como: tamaño, carga y funcionalización de la superficie, son controladas en función del método de preparación (Francis *et al.*, 2004).

FIGURA 3. Representación esquemática de de una micela polimérica, donde el polímero tiene características anfifílicas y un fármaco lipofílico.



Los liposomas y las micelas son materiales que portan diferentes tipos de fármacos, pero no resuelven los problemas de dosificación controlada, pues son materiales que pueden circular rápidamente por el torrente sanguíneo cuando se aplican por vía intravenosa, y bajo ciertas condiciones liberan el fármaco antes de llegar al lugar indicado (Peer *et al.*, 2007). La combinación de fosfolípidos y polímeros se ha utilizado para lograr la liberación de dos fármacos, combinando sus propiedades para lograr un material bifuncional, que reduce la toxicidad y evita la metástasis (propagación de un foco canceroso en un órgano distinto de aquel en que se inició); sin embargo, es un material costoso (Sengupta *et al.*, 2005).

Las dendritas, por su parte, son macromoléculas globulares altamente ramificadas, que tienen un núcleo central, y son capaces de enlazar fármacos, grupos funcionales específicos (que puedan dirigir o solubilizar el compuesto químico) y anticuerpos (figura 4). La complejidad química de las dendritas permite que estos materiales puedan retener mayor cantidad de fármaco y se pueda controlar la cinética de liberación (Gillies *et al.*, 2005). Sin embargo, en comparación con otros materiales que se utilizan como dosificadores de fármacos, las dendritas se sintetizan en varias etapas y son altamente costosas, lo que impide la producción a gran escala (Peer *et al.*, 2007).

Las nanopartículas metálicas, son materiales que pueden ser dispersados y funcionalizados para introducir fármacos. Por ejemplo, las nanopartículas de oro se utilizan en terapias fototérmicas en tratamiento contra el cáncer de mama (Chen *et al.*, 2005). Estas nanopartículas pueden estructurarse en forma de cascarones con diámetros entre 100 y 200 nm, o en forma de cajas con tamaño menor a 50 nm. Aunque es otra opción en el uso de materiales inteligentes, el uso de partículas metálicas tienen varias desventajas debido a que no son biodegradables, no son lo suficientemente pequeñas para liberarse fácilmente y pueden acumularse en diferentes órganos del cuerpo causando toxicidad a largo plazo.

FIGURA 4. Estructura química de un dendrímero de poliéster con base de glicerol y ácido succínico.

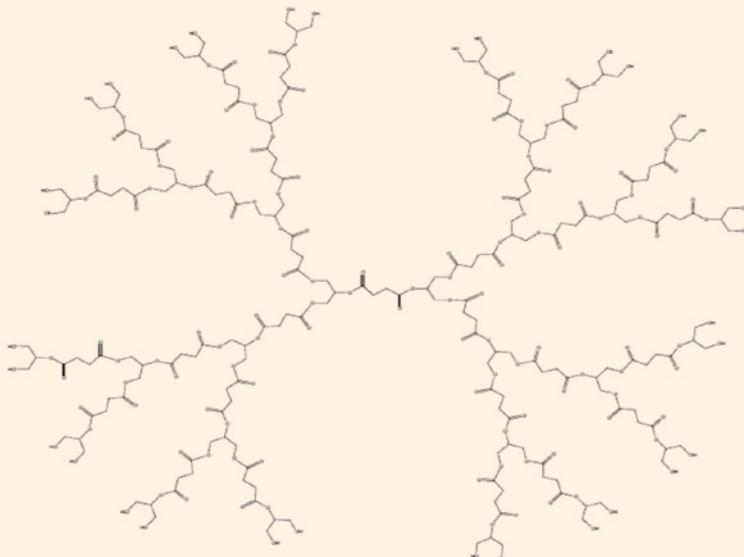
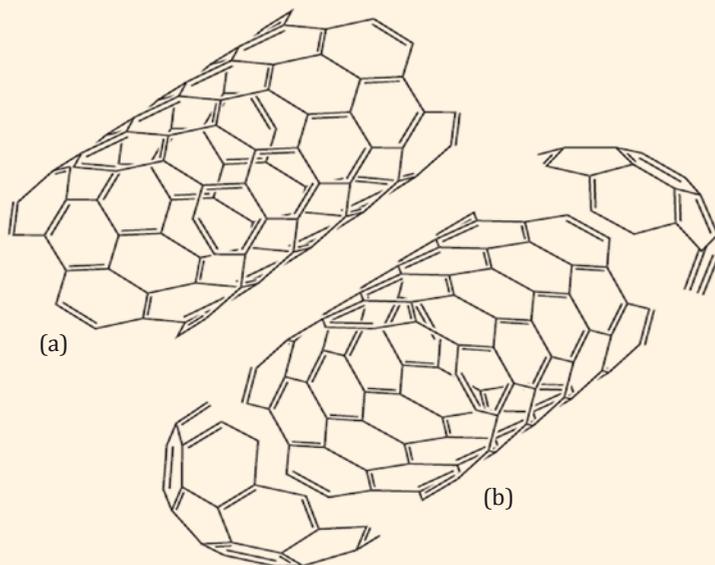


FIGURA 5. Estructura de nanotubos de carbón: a) abiertos, y, b) cerrados por fullerenos.

Los nanotubos de carbono están constituidos por átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal cilíndrica, de forma que su estructura es la misma que se obtendría si se enrollara sobre sí misma una lámina de grafito. Sus extremos pueden estar abiertos o cerrados por media esfera de fullereno (figura 5) (Sinha, 2005). La característica principal de estos materiales es que muestran una relación longitud/diámetro muy elevada: su diámetro es del orden de los nanómetros y su longitud puede variar desde una micras hasta varios centímetros (Rivas-Martínez *et al.*, 2007). Los nanotubos de carbono pueden utilizarse en el encapsulamiento de medicamentos debido a que no modifican las características fisicoquímicas del fármaco y son resistentes a la degradación durante el tránsito por el interior del cuerpo. El carbono que los forma es una sustancia biocompatible, que puede descomponerse y excretarse después de liberar el fármaco. Además, hay estudios que demuestran que el reducido tamaño de los nanotubos los capacita para penetrar en el interior de las células, requisito necesario para esta aplicación. Sin embargo, la dosificación utilizando nanotubos de carbono, no puede ser controlada debido a que no existe una conexión química con el fármaco (Klingeler *et al.*, 2011; Rivas-Martínez *et al.*, 2007; Sinha, 2005).

NUEVAS OPCIONES EN LA DOSIFICACIÓN CONTROLADA DE FÁRMACOS

Recientemente se han desarrollado nuevos materiales híbridos cuyas características fisicoquímicas pueden ser aprovechadas en la dosificación controlada de fármacos. Estos materiales son llamados MOF (Metal Organic Framework) y están constituidos por un centro metálico que puede ser Co, Fe, Al, Cr, V, Ga, Cu, Ni, Sc, entre otros; y un ligando orgánico aniónico que conecta los centros metálicos, que comúnmente son carboxilatos, imidazoles o fosfonatos (Horcajada *et al.*, 2010 y 2006; Taylor-Pas-

how *et al.*, 2009). La figura 6 muestra el esquema de una MOF, donde los octaedros representan los centros metálicos de hierro, los cuales están unidos por carboxilatos orgánicos con diferente estructura. Cada uno de los ligandos genera un material con tamaño de poro que puede ir desde 0.6 hasta 2.4 nm. Se elige como centro metálico al hierro, debido a que para encapsular un fármaco es necesario que el metal sea inocuo al organismo para que no se acumule, y este metal tiene una naturaleza no tóxica y es biocompatible. La elección del ligando orgánico está en función del tamaño del fármaco. La combinación del metal con el ligando permite la formación de nanopartículas homogéneas que pueden ser fácilmente suministradas al organismo (Horcajada *et al.*, 2006).

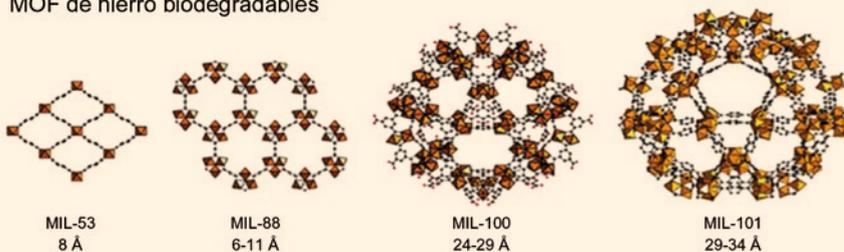
La síntesis de las MOF es sencilla en comparación con otros materiales que se utilizan como dosificadores. Comúnmente se requieren condiciones solvotérmicas con solventes que puede ser agua y etanol, y temperaturas inferiores a 100°C. También puede utilizarse la síntesis asistida por ultrasonido o microondas, las cuales disminuyen el tiempo de síntesis y aumentan la homogeneización del tamaño de las partículas. En el ámbito biomédico estos materiales funcionan como esponjas que atrapan a las moléculas de fármaco con diferentes características (polaridad, tamaño o grupo funcional), con una simple inmersión del sólido en la solución adecuada del fármaco (Horcajada *et al.*, 2010).

FIGURA 6. Redes metal orgánicas de hierro utilizadas en la dosificación de fármacos. En la parte superior se representan los carboxilatos utilizados para la síntesis de las MIL (*Metal organic framework* sintetizadas en el Institut Lavoisier); enseguida se muestran las estructuras de las MOF, donde los octaedros representan los centros metálicos de hierro; finalmente, se presentan las estructuras de algunos fármacos que pueden retenerse en los poros de cada MOF.

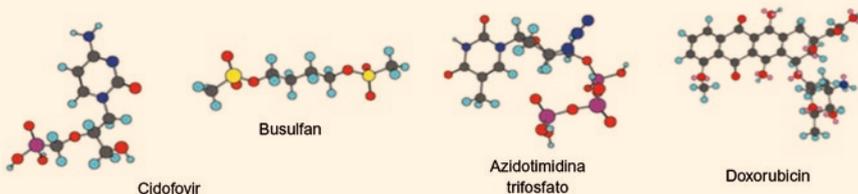
Ligandos orgánicos precursores de MOF



MOF de hierro biodegradables



Fármacos retenidos en MOF



CONCLUSIONES

Desde 1960, cuando se sintetizaron por primera vez los polímeros para dosificar fármacos, han surgido numerosos trabajos con aportaciones importantes en el desarrollo de nuevos materiales para controlar los efectos nocivos de los fármacos. En la actualidad, más del 90% de los trabajos está enfocado en nanomateriales, por ser éstos los que presentan mayor control en la liberación y mejor distribución cuando son introducidos por alguna vía al organismo. Sin embargo, no existe todavía un material que cumpla con todas las especificaciones que se requieren para transporte y dosificación adecuada de fármacos. Por lo cual, la línea de investigación de nanomateriales capaces de controlar la liberación, de llegar al lugar afectado, de degradarse una vez liberado todo el fármaco y de no tener que metabolizarse por órganos como el hígado (que terminan muy afectados), sigue dando paso al desarrollo de nuevos materiales. En este sentido las MOF se presentan como otra opción en el control de fármacos, debido a que constituyen un grupo de materiales cuyas propiedades pueden ser modificadas. El diseño de las MOF depende del centro metálico y el ligando orgánico, los cuales aportan características fisicoquímicas acordes al fármaco que se desee encapsular. La síntesis sencilla, el bajo costo, la facilidad con la que se modulan sus propiedades y la posibilidad de funcionalizarlos (para encapsular anticuerpos u otras moléculas que puedan atacar diferentes problemas) son ventajas que podrían superar a los materiales existentes.

REFERENCIAS

- Ackerman, J. (2008). *Un día en la vida del cuerpo humano*. Ariel, p. 215.
- Chen J., Saeki F., Wiley B. J., Cang H., Cobb M. J., Li Z. Y., Au L., Zhang H., Kimmey M. B., Li X., Xia Y. (2005). "Gold nanocages: Bioconjugation and their potential use as optical imaging contrast agents. *Nano Letters*, vol. 5, 473.
- Couvreur P., Kante B., Roland M., Speiser P. (1979). "Adsorption of antineoplastic drugs to polyalkylcyanoacrylate nanoparticles and their release in calf serum". *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 68, 1521.
- Duncan, R. (2006). "Polymer conjugates as anticancer nanomedicines". *Nature Reviews Cancer*, vol. 6, 688.
- Francis M. F., Cristea M., Winnik F. M. (2004). Polymeric micelles for oral drug delivery: Why and how". *Pure and Applied Chemistry*, vol. 76, 1321.
- Gillies E. R., Fréchet J. M. J. (2005). "Review dendrimers and dendritic polymers in drug delivery". *Drug Discovery Today*, vol. 10, 35.
- Gref R., Minamitake Y., Peracchia M. T., Trubetskoy V., Torchilin V., Langer R. (1994). "Biodegradable long-circulating polymeric nanospheres". *Science*, vol. 263, 1600.
- Gregoriadis G., Florence A. T. (1993). "Liposomes in drug delivery: Clinical, diagnostic and ophthalmic potential". *Drugs*, vol. 45, 15.
- Guo R., Zhang L., Jiang Z., Cao Y., Ding Y., Jiang X. (2007). "Synthesis of alginate-chitosan-poly[2-(diethylamino)ethyl methacrylate] monodispersed nanoparticles by a polymer-monomer pair reaction system". *Biomacromolecules*, vol. 8, 843.
- Hassan A. S., Socha M., Lamprecht A., Ghazouani F. E., Spain A., Hoffman M., Maincent P., Ubrich N. (2007). "Effect of the microencapsulation of nanoparticles on the reduction of burst release". *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 344, 53.

- Highleyman, L. (2003). "Los medicamentos y el hígado". *Hepatitis C Support Project*, www.haltctrial.org.
- Hoffman, A. (2011). III Simposio Nanotecnología. Avances en Biología, Química y Ciencias de Materiales. IPN. México.
- Horcajada P, Chalati T, Serre C, Gillet B, Sebrie C, Baati T, Eubank J. F., Heurtaux D., Clayette P, Kreuz C., Chang J.-S., Hwang Y. K., Marsaud V, Bories P.-N., Cynober L., Gil S., Férey G., Couvreur P, Gref R. (2010). "Porous metal-organic-framework nanoscale carriers as a potential platform for drug delivery and imaging". *Nature Materials*, vol. 9, 172.
- Horcajada P, Serre C, Vallet-Reg M., Sebban M., Taulelle F, Frey G. (2006). "Metal-organic frameworks as efficient materials for drug delivery". *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 45, 5974.
- Klingeler R, Sim R. B. (2011). *Carbon nanotubes for biomedical applications*. Springer.
- MMIMH, Manual de MERCK, información médica para el hogar. http://www.msd.es/publicaciones/mmerckhogar/seccion_02/seccion_02_006.html
- Peer D., Karp J. M., Hong S., Farokhzad O. C., Margalit R., Langer R. (2007). "Review nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy". *Nature*, vol. 2, 751.
- Rivas-Martínez M. J., Ganzer J. R., Cosme Huertas M. L. (2007). *Aplicaciones actuales y futuras de los nanotubos de carbón*. Ed. Fundación Madrid para el conocimiento, p. 58.
- Satchi-Fainaro R., Duncan R., Barmes C. (2006). In polymer therapeutics II: Polymers as drugs, conjugates and gene delivery systems, vol. 193 (eds. Satchi-Fainaro, R. & Duncan, R.) 1-65 (Springer-Verlag, Berlin).
- Sengupta S., Eavarone D., Capila I., Zhao G., Watson N., Kiziltepe T., Sasisekharan R. (2005). "Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system". *Nature*, vol. 436, 568.
- Sharma A., Sharma U. S. (1997). "Review, Liposomes in drug delivery: progress and limitations". *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 154, 123.
- Sinha N., Yeow J. T.-W. (2005). "Carbon nanotubes for biomedical applications". *IEEE Transactions on Nanobioscience*, vol. 4, 180.
- Taylor-Pashow K. M. L., Rocca J. D., Kie Z., Tran S., Lin W. "Postsynthetic modification of iron-carboxylate nanoscale metal-organic frameworks for imaging and drug delivery". *Journal of American Chemistry Society*, vol. 131, 14261.

Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño

RODOLFO ZANELLA*

RESUMEN: La manipulación de las condiciones de síntesis permite el control racional del tamaño y la forma de las partículas y provee los medios para adaptar las propiedades de los materiales a una aplicación específica. En este trabajo se describen los principales métodos de síntesis de nanomateriales. En la aproximación de “arriba hacia abajo”, que involucra principalmente métodos físicos que describen la evaporación térmica, la preparación de clusters gaseosos, la implantación de iones, el depósito químico en fase vapor y la molienda o activación mecanoquímica. Por otro lado, la aproximación «de abajo hacia arriba» involucra principalmente métodos químicos. Los métodos de esta aproximación que se describen en este trabajo son el método coloidal, la reducción fotoquímica y radiolítica, la irradiación con microondas, la utilización de dendrímeros, la síntesis solvotermal y el método sol-gel. Además, se describen algunos métodos para depositar nanopartículas sobre soportes (principalmente sobre óxidos), como son: la impregnación, la adsorción iónica, el depósito-precipitación, el depósito de coloides y el depósito fotoquímico.

PALABRAS CLAVE: síntesis de nanomateriales, nanopartículas, métodos físicos, métodos químicos.

ABSTRACT: Manipulating the synthesis conditions allows for rational control of nanoparticles size and morphology and provides a means to tailor materials properties in specific applications. In this work the main synthesis methods of nanomaterials are described. For the “top-down” approach, involving mainly physical methods, the thermal evaporation, the synthesis of gaseous clusters, the ion implantation, the chemical vapor deposition and the mechanical activation or mecano-synthesis are described. On the other hand for the “bottom-up” approach, involving mainly chemical methods, the following methods are described: the colloidal method, the photochemical and radiation-chemical reduction, the microwave irradiation, reactions in dendrimers, the solvothermal synthesis and the sol-gel method. Moreover some methods for the deposition of nanoparticles on supports (mainly on oxides) are described: impregnation, ionic adsorption, deposition precipitation, deposition of colloids and photochemical deposition.

KEYWORDS: Nanomaterials synthesis, nanoparticles, physical methods, chemical methods.

§

Uno de los objetivos centrales de la nanociencia es construir pequeñas estructuras para el diseño de materiales avanzados, nanodispositivos de alto rendimiento y miniaturización de dispositivos electrónicos. Las nanopartículas inorgánicas son particularmente atractivas como piezas de construcción para tales propósitos, debido a sus propiedades ópticas, electrónicas, magnéticas y catalíticas únicas (Daniel y Astruc, 2004; Grieve *et al.*, 2000; Lu *et al.*, 2007; Medintz *et al.*, 2005; Pérez-Juste *et al.*, 2005; Shipway *et al.*, 2000), muchas de las cuales pueden ser moduladas simplemente cambiando su tamaño, forma, o la funcionalización de la superficie de la nanopartícula, sin cambiar la composición del material. Hasta ahora se han realizado avances significativos utilizando estrategias de química húmeda, para sintetizar nanopartículas de alta calidad de una gran variedad de materiales inorgánicos, incluyendo oro, pla-

* Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México. <rodolfo.zanella@ccadet.unam.mx>, tel. +52 (55) 56228635.

ta, óxido de hierro y semiconductores (Daniel y Astruc, 2004; Grieve *et al.*, 2000; Lu *et al.*, 2007; Medintz *et al.*, 2005; Pérez-Juste *et al.*, 2005; Shipway *et al.*, 2000). La manipulación de las condiciones de síntesis permite el control racional de la morfología de las partículas y provee los medios para adaptar las propiedades de los materiales durante el proceso de síntesis. Otro aspecto fundamental de la síntesis de nanopartículas es su estabilización, de tal manera que pueda mantenerse su tamaño y su forma en función del tiempo.

Debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, las nanopartículas son con frecuencia descritas como átomos artificiales (Alivisatos, 1996; Banin *et al.*, 1999; Collier *et al.*, 1997). Los avances en los procesos de síntesis han permitido el control preciso sobre los parámetros estructurales que gobiernan la formación de las nanopartículas lo que ha permitido adaptar las propiedades de estos átomos artificiales de acuerdo con su uso específico. La síntesis y el ensamblado modular de nanopartículas permite explotar sus propiedades únicas, lo que puede llevar a nuevas aplicaciones en catálisis, electrónica, fotónica, magnetismo así como sensado químico y biológico.

Los métodos de síntesis de nanopartículas suelen agruparse en dos categorías, las aproximaciones «de arriba hacia abajo» y las «de abajo hacia arriba» (Rao *et al.*, 2004; Schmid, 2004). La primera consiste en la división de sólidos másicos en porciones más pequeñas. Este enfoque puede involucrar la molienda o el desgaste, métodos químicos, y la volatilización de un sólido seguido por la condensación de los componentes volatilizados. La segunda aproximación, «de abajo hacia arriba», consiste en la fabricación de nanopartículas a través de la condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o en solución. Este último enfoque es mucho más popular en la síntesis de nanopartículas. Las nanopartículas pueden ser soportadas o no. El soporte da estabilidad a las nanopartículas, además de que les puede conferir propiedades específicas (Wachs, 2001).

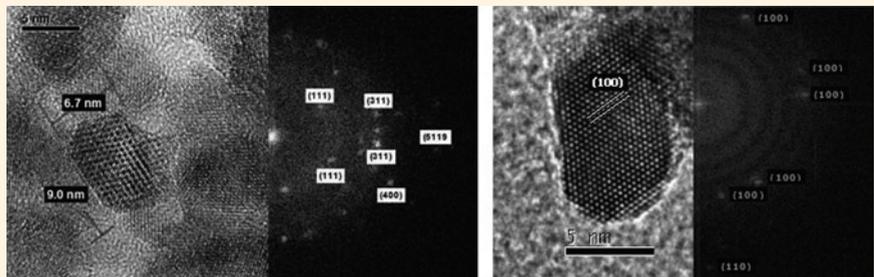
Existen varios métodos que utilizan la aproximación «de arriba hacia abajo», los más representativos son (Rao *et al.*, 2004; Schmid, 2004): a) **La evaporación térmica**, que consiste en el calentamiento hasta la evaporación del material que se pretende depositar. Se lleva a cabo en una cámara de vacío en la que se condensa el vapor sobre una lámina fría requiriendo en todo momento un control preciso de las condiciones de crecimiento para no producir una modificación de la morfología de la capa depositada. b) **El depósito químico en fase vapor** (CVD, por sus siglas en inglés) que consiste en la descomposición de uno o varios compuestos volátiles, en el interior de una cámara de vacío (reactor), en o cerca de la superficie de un sólido para dar lugar a la formación de un material en forma de capa delgada o de nanopartículas. c) **La preparación de clusters gaseosos**, que utiliza un láser pulsado de alta potencia para producir vapores atómicos metálicos que son acarreados en un gas inerte y posteriormente son depositados en un óxido monocristalino u otro sustrato, bajo condiciones de ultra-alto vacío. d) **La implantación de iones**, que consiste en que los iones de un material pueden ser implantados en un sólido, cambiando por tanto las propiedades físicas y químicas de este último, ya que el ion implantado puede ser de un elemento distinto al que lo compone, también se pueden causar cambios estructurales en el sólido implantado, puesto que la estructura cristalina del objetivo puede ser dañada. El equipamiento necesario para la implantación de iones suele consistir en una fuente de iones que produce los iones del elemento deseado, un acelerador donde dichos iones son electrostáticamente acelerados hasta alcanzar una alta energía, y una cámara donde

los iones impactan contra el objetivo. Cada ion suele ser un átomo aislado, y de esta manera la cantidad de material que se implanta en el objetivo es en realidad la integral respecto del tiempo de la corriente de ion. Esta cantidad es conocida como dosis. Las corrientes suministradas suelen ser muy pequeñas (microamperios), y por esto la dosis que puede ser implantada en un tiempo razonable es también pequeña. Por todo esto, la implantación de iones encuentra aplicación en los casos en que el cambio químico necesario es pequeño. Las energías típicas de ion se encuentran en el rango de 10 a 500 keV. La energía de los iones junto con la especie de ion y la composición del objetivo determinan la profundidad de penetración de los iones en el sólido. e) **La molienda** de partículas de tamaño macro o micrométrico, por medio de molinos de alta eficiencia; las partículas resultantes son clasificadas por medios físicos, recuperándose las de tamaño nanométrico. Dado que la molienda enérgica y continua de los materiales iniciales puede inferir cambios energéticos en los sólidos, debido a la acumulación de defectos en situación de no-equilibrio, lo que puede causar una disminución de las energías de activación, activando los sólidos para llevar a cabo reacciones químicas en estado sólido. La activación mecanoquímica de sólidos cristalinos puede producir también alteraciones y cambios tanto texturales como estructurales, que pueden resultar de gran interés en el desarrollo de materiales (Boldyrev, 2006; Imamura *et al.*, 1984). La mecano-síntesis por reacción entre metales y óxidos ha sido estudiada en algunos sistemas con el objeto de obtener materiales compuestos nanoestructurados (Schmid, 2004; Takacs, 1993). En la figura 1, se presentan imágenes HRTEM de nanopartículas de Fe_3O_4 y de nanopartículas de $\text{ZnO}@Fe_3\text{O}_4$ sintetizadas por mecano-síntesis.

Como puede constatarse en lo aquí descrito, varios de los métodos que utilizan la aproximación «de arriba hacia abajo», salvo la molienda, requieren de instrumentación compleja y complicada, lo cual los hace costosos, por tanto, muchas veces se prefieren los métodos que utilizan la aproximación «de abajo hacia arriba».

Existen diversos métodos que utilizan la aproximación de “abajo hacia arriba” para la síntesis de nanopartículas, los más empleados son aquellos que utilizan procedimientos químicos. Por lo general, inician con la reducción de los iones metálicos a átomos metálicos, seguido por la agregación controlada de estos átomos. El método químico es el más conveniente para la obtención de nanopartículas uniformes y pequeñas. Los métodos más representativos de esta aproximación son:

FIGURA 1. Micrografías obtenidas por HR-TEM de nanopartículas de Fe_3O_4 (izquierda) y de nanopartículas de $\text{ZnO}@Fe_3\text{O}_4$ (derecha) sintetizadas por mecano-síntesis.



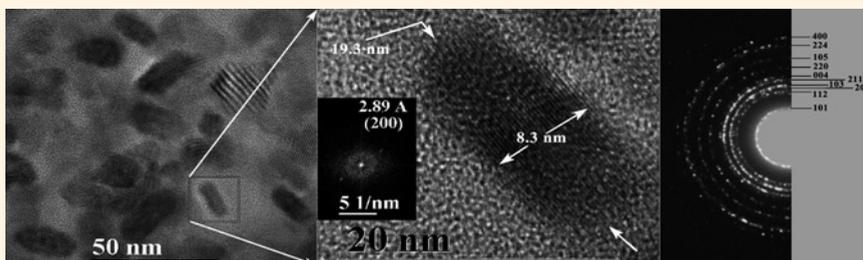
Fuente: A. Vázquez Olmos *et al.*, trabajo en preparación.

a) El método coloidal

Los coloides son partículas individuales, que son más grandes que las dimensiones atómicas, pero lo suficientemente pequeño como para exhibir movimiento browniano. Si las partículas son lo suficientemente grandes, entonces su comportamiento dinámico en suspensión en función del tiempo se registrará por las fuerzas de la gravedad y se dará el fenómeno de sedimentación, si son lo suficientemente pequeños para ser coloides, entonces su movimiento irregular en suspensión puede ser atribuido a bombardeos colectivos de una multitud de moléculas térmicamente agitados en una suspensión líquida. Este rango de tamaño de partículas en una solución coloidal suele oscilar en el rango de nanómetros, por ello el método coloidal es un método eficiente de producción de nanopartículas (de-Jong, 2009; Schmid, 2004). Este método consiste en disolver una sal del precursor metálico o del óxido a preparar, un reductor y un estabilizante en una fase continua o dispersante (un líquido en este caso). Este último puede jugar el papel de reductor, de estabilizante o ambos. En principio el tamaño promedio, la distribución de tamaños y la forma o morfología de las nanopartículas pueden ser controlados variando la concentración de los reactantes, del reductor y del estabilizante así como la naturaleza del medio dispersante. Por este método se pueden formar dispersiones estables por periodos de tiempo muy largos, por ejemplo, Michel Faraday, en 1857, creó dispersiones coloidales de oro, que hoy en día aún permanecen estables (Faraday, 1957). A principios de los años cincuenta del siglo pasado, Turkevitch reportó el primer método estándar y reproducible para la preparación de coloides metálicos (partículas de oro de 20 nm por medio de la reducción de $[\text{AuCl}_4^-]$ con citrato de sodio). Adicionalmente fue el primero en proponer un mecanismo paso a paso de la formación de nanoclusters basado en la nucleación y crecimiento (Turkevich *et al.*, 1951; Turkevich y Kim, 1970).

En la figura 2, se muestran micrografías obtenidas por TEM y HR-TEM de nanovaras de Mn_3O_4 sintetizadas por el método coloidal, obtenidas en el Grupo de Materiales y Nanotecnología del CCADET-UNAM (Vázquez-Olmos *et al.*, 2005). El depósito de coloides sobre soportes (por ejemplo, sobre óxidos) es posible, aunque la mayoría de las veces hay incremento del tamaño de las partículas cuando es necesario remover el estabilizante por medio de un tratamiento térmico.

FIGURA 2. Micrografías obtenidas por TEM y HR-TEM de nanovaras de Mn_3O_4 obtenidas por el método coloidal. En el extremo derecho se presenta su correspondiente patrón de difracción de electrones.



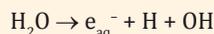
Tomado de Vázquez-Olmos *et al.*, 2005), con autorización de los autores.

b) Reducción fotoquímica y radioquímica

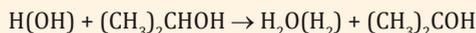
La síntesis de nanopartículas metálicas modificando el sistema químico por medio de altas energías se asocia con la generación de reductores fuertes altamente activos como electrones, radicales y especies excitadas.

La reducción fotoquímica (fotólisis) y la radiación-química (radiólisis) difieren en el nivel de energía utilizado. La síntesis fotoquímica está caracterizada por energías por debajo de 60 eV, mientras que la radiólisis utiliza energías de 103-104 eV. Los métodos de reducción fotoquímica y radioquímica tienen las ventajas sobre el método de reducción química. Debido a la ausencia de impurezas formadas cuando se usan reductores químicos, estos métodos producen nanopartículas de alta pureza. Además, la reducción fotoquímica y radioquímica permiten producir nanopartículas en condiciones de estado sólido y a bajas temperaturas.

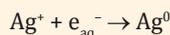
La reducción fotoquímica en solución se emplea frecuentemente para sinterizar partículas de metales nobles. Estas partículas se obtienen a partir de las correspondientes sales en agua, alcohol o solventes orgánicos. En estos medios, bajo la acción de la luz, se forman las siguientes especies activas:



En el caso de reacción con alcoholes, un átomo de hidrógeno y un radical hidroxilo producen un radical alcohol:

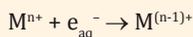


Un electrón solvatado interacciona con, por ejemplo, un átomo de plata, reduciendo el metal (Sergeev, 2006):



Se ha descrito también la síntesis de nanopartículas de plata en nanoemulsiones por reducción utilizando radiólisis (Revina *et al.*, 1999), obteniéndose distribuciones de partícula muy estrechas. Debido a su disponibilidad y reproducibilidad, la reducción por radiación-química para sintetizar nanopartículas está teniendo una gran aceptación. En la fase líquida, las etapas asociadas con la distribución espacial de los productos intermediarios juegan un papel esencial en la producción de nanopartículas metálicas. En contraste con la fotólisis, la distribución de los intermediarios generados durante el proceso de síntesis es más uniforme, lo que permite obtener partículas con distribuciones de tamaño más estrechas.

El método de radiólisis pulsada permite la síntesis de partículas metálicas activas con estados de oxidación inusuales (Ershov, 1997). La reacción con un electrón hidratado e_{aq}^- que tiene un alto potencial de reducción, procede de la siguiente manera:



La presencia de un electrón unitario en el orbital exterior de un átomo o de un ion metálico determina su alta reactividad química. En el transcurso de la reducción por radiación-química, inicialmente se forman átomos o pequeños clusters metálicos, los

cuales son transformados en nanopartículas, para estabilizarlos se pueden agregar aditivos similares a los usados en la reducción química para formar coloides.

c) Irradiación con microondas

La técnica de irradiación con microondas produce nanopartículas con una muy baja dispersión de tamaño, aunque no siempre se logre un control preciso en la morfología, como pasa en la mayoría de las técnicas de “abajo hacia arriba”. Las microondas actúan como campos eléctricos de alta frecuencia, capaces de calentar cualquier material conteniendo cargas eléctricas como las moléculas polares en un disolvente o iones conductores en un sólido. Los solventes polares se calientan y sus componentes moleculares se ven obligados a girar con el campo y pierden energía en colisiones. Las muestras conductoras y semiconductoras se calientan cuando los iones y los electrones contenidos en ellas forman una corriente eléctrica y la energía se pierde debido a la resistencia eléctrica del material. En los últimos años, el proceso de calentamiento asistido por microondas se ha utilizado como una alternativa atractiva para la síntesis de materiales a escala nanométrica, dado que es un método rápido, uniforme y efectivo, que permite incrementar las cinéticas de reacción en uno o dos órdenes de magnitud.

Nanopartículas coloidales de Pt, Ru, Ag y Pd estabilizados por polímeros han sido preparadas por calentamiento con microondas, a partir de las sales precursoras del metal disueltas en soluciones de etilenglicol (Zhu *et al.*, 2004).

Por otra parte, el calentamiento por microondas de las muestras líquidas permite la disminución de las fluctuaciones de temperatura en el medio de reacción, proporcionando, así, un entorno más homogéneo para la nucleación y el crecimiento de las partículas metálicas (Patel *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2004).

d) Utilización de dendrímeros

La síntesis de nanopartículas también se ha llevado a cabo usando micelas, emulsiones y dendrímeros como nanorreactores que permiten la síntesis de partículas de forma y tamaño definidos. Esto se logra alterando la naturaleza de los dendrímeros. Los dendrímeros son moléculas altamente ramificadas, las que incluyen un núcleo central, unidades intermediarias repetitivas y grupos funcionales terminales (Muzafarov y Rebrov, 2000). Los dendrímeros representan nuevos tipos de macromoléculas que combinan el alto peso molecular y baja viscosidad de sus soluciones con su forma molecular tridimensional y la presencia de una estructura espacial. El tamaño de los dendrímeros varía de 2 a 15 nm y representan nanorreactores naturales. Los dendrímeros con un número pequeño de unidades intermediarias existen en forma “abierta” mientras que los que involucran muchas unidades forman estructuras esféricas tridimensionales. Los grupos terminales de los dendrímeros pueden ser modificados con grupos hidróxidos, carboxilos, hidroxicarboxilos, entre otros.

Los dendrímeros de diferentes generaciones con varios grupos funcionales terminales han probado ser templetas adecuados para la síntesis de nanopartículas monometálicas y bimetálicas. Diferentes poly(amidoaminas) han sido muy populares como dendrímeros para la síntesis de nanopartículas. Con estos dendrímeros se han sintetizado nanopartículas de oro de 1-3 nm (Kim *et al.*, 2004; Zheng y Dickson, 2002). Otros trabajos, por ejemplo, han informado que este método es útil para la síntesis de nanopartículas de platino y paladio con tamaños de partícula entre 1 y 2 nm incorporadas

en dendrímeros poly(amidoaminas) funcionalizadas con grupos amino. Los dendrímeros han también sido activamente utilizados para la síntesis de nanopartículas bi-metálicas (Sergeev, 2006).

e) Síntesis solvotermal

Con el nombre general de síntesis solvotermal se agrupan una serie de técnicas en las que un precursor metálico disuelto en un líquido, en un recipiente cerrado, es calentado por encima de su punto de ebullición, lo que genera una presión superior a la atmosférica (normalmente moderada). El líquido habitual es el agua, y de ahí el nombre de “síntesis hidrotermal”; sin embargo, cada vez se van utilizando con mayor frecuencia otros medios líquidos: disolventes orgánicos, amoníaco líquido, hidracina, etc., y tenemos entonces la síntesis solvotermal. En este tipo de técnicas normalmente los tiempos de reacción son largos (comparados con otros métodos químicos).

La síntesis hidrotermal se refiere a reacciones heterogéneas en medio acuoso por encima de 100 °C y 1 bar. Una característica distintiva de la síntesis hidrotermal es que los reactivos que difícilmente se disuelven en agua pasan a la disolución por acción del propio disolvente o de mineralizadores. El objetivo de esta técnica es lograr una mejor disolución de los componentes de un sistema y así se logran disolver o hacer reaccionar especies muy poco solubles en condiciones habituales (p. ej., la sílice, aluminosilicatos, titanatos, sulfuros) (Xie y Shang, 2007). En este sentido cabe señalar que el agua, calentada a 600 °C (lo que obviamente requiere presión que evite su paso al estado de vapor) experimenta una disociación (H_3O^+ , OH^-) mucho mayor que lo habitual a presión ordinaria: llega a ser de 10^{-6} en lugar de 10^{-14} , lo que quiere decir que en estas condiciones, el agua, como anfótero que es, se comportará a la vez como un ácido y una base bastante fuertes, capaz por tanto de ataques ácido-base mucho más agresivos. Por otra parte, pueden añadirse distintas especies conocidas como “mineralizadores”, tanto básicos (carbonatos, hidróxidos) como ácidos (nítrico, clorhídrico, sales amónicas) oxidantes o reductores, complejantes, etc., que potenciarán la capacidad de disolución del agua en una u otra dirección. Además, el agua en estas condiciones suele actuar como agente reductor (liberando oxígeno), por lo que cabe esperar también variaciones en el estado de oxidación de los elementos implicados en la síntesis. No menos importante es la adición de especies utilizables como “plantilla” con el fin de nuclear el producto en su entorno y generar así cavidades o porosidad “a la medida” y, en este sentido, cationes orgánicos, con geometría definidas como el teramilamonio (TMA) y otros, están siendo utilizados con gran éxito en la síntesis de nuevas especies nanométricas (Xie y Shang, 2007).

f) Método sol-gel

El método sol-gel es un proceso químico en fase húmeda ampliamente utilizado en la ciencia de los materiales. Este método se utiliza principalmente para la fabricación de nanomateriales (normalmente un óxido metálico). Se parte de una solución química o sol que actúa como precursor de una red integrada ya sea de partículas discretas o de una red de polímeros. Los precursores típicos del proceso sol-gel son los alcóxidos metálicos y los cloruros metálicos, que sufren varias reacciones de hidrólisis y policondensación para formar una dispersión coloidal, que luego de una polimerización lenta forma un gel. En general, los alcóxidos son muy sensibles a la humedad (se des-

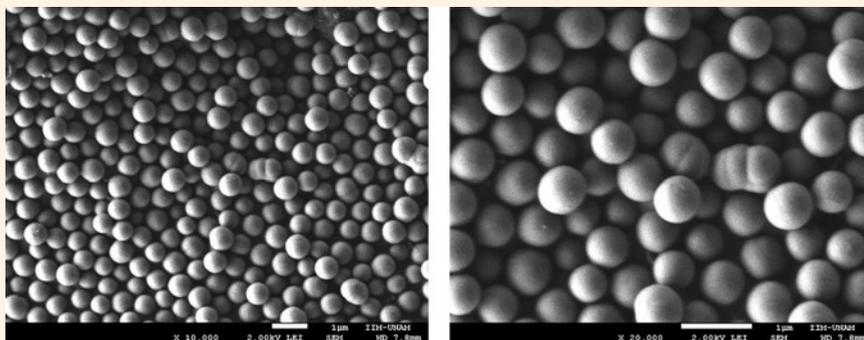
componen muy fácilmente ante la presencia de ésta), es por ello que la hidrólisis para la formación del gel es llevada a cabo usando alcoholes como un solvente común para los diferentes líquidos inmiscibles. Un gel polimérico es una red macromolecular infinita, la cual está hinchada por solvente. Un gel puede ser creado cuando la concentración de la especie dispersa aumenta. El solvente es atrapado en la red de partículas y así la red polimérica impide que el líquido se separe, mientras el líquido previene que el sólido colapse en una masa compacta. La deshidratación parcial de un gel produce un residuo sólido elástico que se conoce como *xerogel*. Finalmente, este material es completamente deshidratado y eventualmente tratado térmicamente en flujo de gas para obtener el material nanoestructurado final (de-Jong, 2009).

El método sol-gel ha sido usado en los últimos años para preparar una amplia variedad de materiales nanoestructurados. El método es atractivo porque involucra procesos a baja temperatura. También la alta pureza y homogeneidad son atribuibles a su forma de preparación en sistemas multicomponente (de-Jong, 2009). La figura 3 muestra imágenes de microscopía electrónica de barrido de pequeñas esferas de óxido de silicio sintetizadas por el método sol-gel.

Las dispersiones de nanopartículas son termodinámicamente metaestables, debido a su muy alta área superficial, lo que representa una contribución positiva a la entalpía libre del sistema. Si las energías de activación no son lo suficientemente altas, se produce una evolución de la dispersión de nanopartículas causando un aumento en el tamaño de las nanopartículas por un proceso de maduración de Ostwald (*Ostwald ripening*). Por lo tanto, las nanopartículas altamente dispersas están estabilizadas sólo cinéticamente y no pueden producirse en condiciones que superen un cierto umbral, por lo que se prefieren los métodos de la llamada «química suave». Un método que se utiliza comúnmente para estabilizar las nanopartículas es depositarlas en un soporte, generalmente un óxido metálico, para impedir su sinterización, re-cristalización y agregación. Este tipo de materiales nanoestructurados soportados son de gran utilidad en áreas como la catálisis, aplicaciones ópticas, médicas, entre otras. Los métodos clásicos de depósito de nanopartículas en óxidos metálicos son:

- 1) La **impregnación**, que consiste en el llenado de los poros del soporte con una solución del precursor metálico (normalmente una sal) en el que el volumen

FIGURA 3. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de pequeñas esferas de óxido de silicio sintetizadas por el método sol-gel.

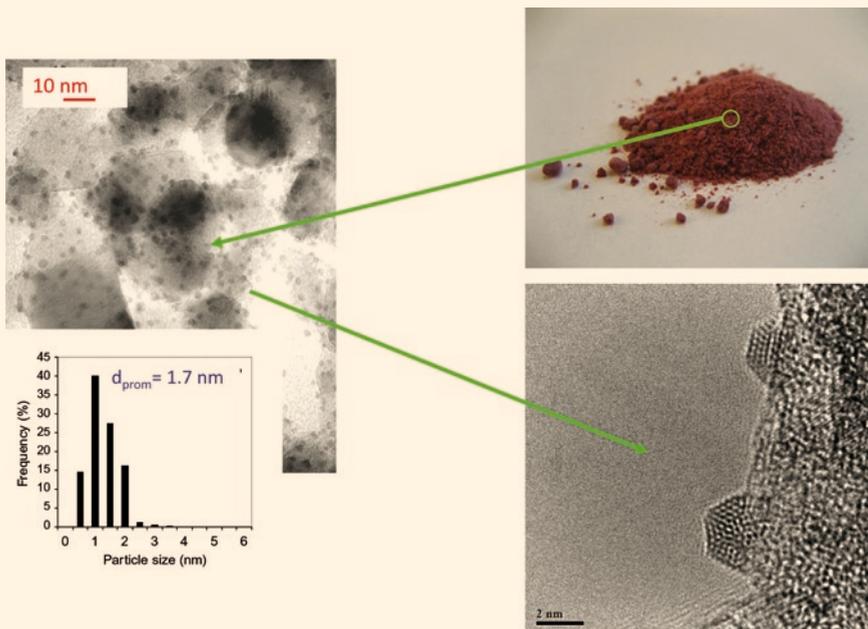


Fuente: Cortesía del Dr. José Ocotlán Flores del Grupo de Materiales y Nanotecnología del CCADET-UNAM.

puede ser el necesario para llenar el volumen de poros o bien un exceso de volumen que luego de un periodo de maduración es removido por evaporación, de tal forma que el precursor metálico y su contraion permanecen sobre la superficie del soporte. Éste es un método sencillo y barato, por tanto, es el método clásico de preparación de catalizadores a nivel industrial; sin embargo, con la desventaja de que se tiene muy poco control de la manera en que interacciona el precursor metálico con el soporte, además de que no se logra una eliminación eficiente del contraion del precursor metálico. Una vez que se logra la interacción de los precursores metálicos con el soporte, el material obtenido se somete a tratamientos térmicos en mezclas de gases reductoras u oxidantes, para obtener las nanopartículas depositadas en el soporte (Bond *et al.*, 2006; Zanella *et al.*, 2002).

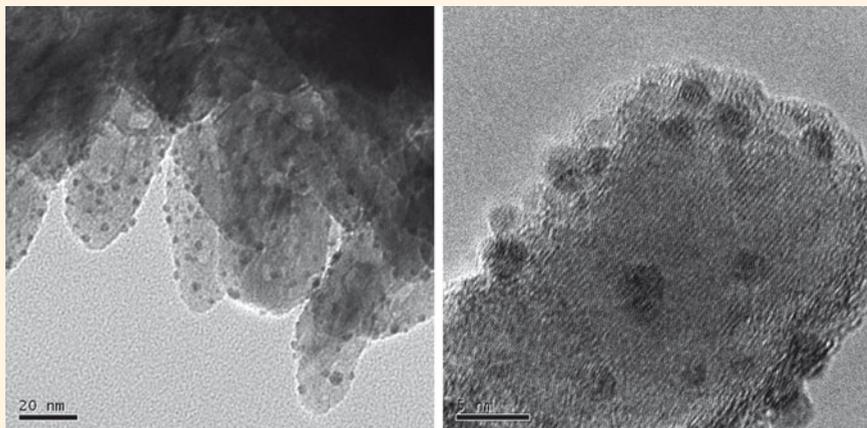
- 2) **Adsorción iónica**, en este método se puede utilizar tanto la adsorción de aniones como de cationes. Los cationes pueden ser adsorbidos a través de interacción electrostática con los grupos superficiales del soporte cargados negativamente (O^-), esto se logra cuando el pH de la solución en la que está suspendido el soporte es superior al punto aisléctrico del soporte (PIE). Las especies aniónicas pueden ser adsorbidas en los grupos superficiales del soporte cargados positivamente (OH_2^+), cuando el pH de la solución es inferior al PIE (Bond *et al.*, 2006; Zanella *et al.*, 2005; Zanella *et al.*, 2002). Las superficies de óxidos o hidróxidos pueden ser protonadas o deprotonadas dependiendo del pH de la solución. El valor en el cual la carga eléctrica total de la superficie es cero es el punto de carga cero, que tiene el mismo valor en pH que el PIE.
- 3) **Depósito-Precipitación (DP)**, que consiste en el depósito de un óxido hidratado o de un hidróxido sobre la superficie de un soporte, como resultado de un aumento gradual y homogéneo del pH de la solución en la que el soporte es suspendido. Los agentes basificantes típicos son los hidróxidos, como el NaOH, o el KOH, los carbonatos o las bases de retardo como la urea (Zanella *et al.*, 2005; Zanella *et al.*, 2002). El precipitado puede ser nucleado por la superficie del soporte, y cuando se lleva a cabo correctamente toda la fase activa es ligada al soporte sin que permanezca flotando en la solución. Este método así como las adsorciones iónicas presentan la ventaja sobre la impregnación de que la mayor parte de los contraiones del precursor metálico pueden eliminarse de manera eficiente por medio de lavados repetidos de las muestras luego del depósito del precursor metálico. Como en los métodos anteriores, la obtención de las nanopartículas depositadas se logra luego de un tratamiento térmico del precursor metálico en interacción con el soporte, en atmósferas de gases reductoras u oxidantes, dependiendo de las propiedades químicas de la especie depositada y el estado de oxidación deseado del material depositado. El tamaño y la morfología de partículas soportadas es altamente dependiente de los parámetros utilizados durante la síntesis (temperatura de depósito, tiempo de contacto, pH, tipo de gas y temperatura utilizados durante el tratamiento térmico), del soporte utilizado (características electrónicas, morfológicas, defectos superficiales, etc.), y del precursor metálico (Zanella *et al.*, 2005; Zanella *et al.*, 2002). Las figuras 4 y 5 muestran ejemplos de catalizadores compuestos por nanopartículas de oro soportadas en óxido de

FIGURA 4. Catalizador consistente en nanopartículas de oro soportadas en óxido de titanio preparadas por el método de depósito-precipitación, utilizando urea como base de retardo.



Se muestra el catalizador en polvo, una imagen de microscopía electrónica del mismo, la distribución de tamaños de partícula obtenidos y una imagen de HRTEM de una nanopartícula de oro.

FIGURA 5. Imágenes de microscopía electrónica de transmisión de nanopartículas de oro soportadas en cristales de óxido de titanio.



titanio preparadas por el método de depósito precipitación, utilizando urea como base de retardo. En la figura 4 se muestran el catalizador en polvo, una imagen de microscopía electrónica del mismo, la distribución de tamaños de partícula obtenidos y una imagen de HRTEM de una nanopartícula de oro. En la figura 5 se muestran imágenes de microscopía electrónica de transmisión de nanopartículas de oro soportadas en cristales de óxido de titanio.

- 4) **Depósito de coloides.** En principio el tamaño promedio y la distribución del tamaño de partícula pueden ser controlados seleccionando adecuadamente las condiciones de síntesis. La ventaja de usar una ruta coloidal para preparar materiales metálicos soportados radica en el hecho de que las condiciones de preparación pueden ser manipuladas para obtener partículas con una distribución de tamaños estrecha en torno al tamaño deseado, inclusive por este método puede ser controlada la forma de las partículas. Existen reportados en la literatura una buena cantidad de métodos para la síntesis de coloides metálicos, en los que se han utilizado una gran cantidad de reductores como el citrato de sodio, tiocianato de sodio, poli(etilen-imina), cloruro de tetrakis[hidroximetil]fosfonio y borohidruro de sodio (Bond *et al.*, 2006; Dyson y Mingos, 1999; Turkevich *et al.*, 1951). Como se mencionó arriba también pueden utilizarse estabilizantes. Las nanopartículas metálicas pueden ser inmovilizadas en el soporte sumergiéndolo en la suspensión coloidal, seguido por un proceso de lavado y secado. En una preparación exitosa las partículas una vez soportadas no deberían ser significativamente más grandes que las obtenidas en el sol; para lograr lo anterior se requiere mantener un delicado balance entre varios parámetros tales como la naturaleza y concentración del estabilizante, la relación metal/estabilizante y, por supuesto, la naturaleza del soporte (Bond *et al.*, 2006). En principio, el depósito de partículas coloidales no es un problema (Grunwaldt y Baiker, 1999; Martra *et al.*, 2003) a menos que sea necesario remover el estabilizante por tratamiento térmico.
- 5) **Depósito fotoquímico.** Se basa en que ciertos cationes metálicos con potenciales redox apropiados pueden ser depositados en el soporte y reducidos por fotoelectrones creados por la iluminación de semiconductores, tales como óxidos de zinc, tungsteno y titanio. El mecanismo de fotorreducción ha sido ampliamente estudiado (Fernandez *et al.*, 1995). En este método se pueden utilizar también estabilizantes orgánicos, para evitar el crecimiento desmedido de las partículas tales como PVA y PVP (Li, McCann, Gratt, y Xia, 2004). Los soportes que no tienen un bandgap adecuado (Fe_2O_3 y SnO_2) normalmente no son adecuados para ser utilizados como soportes en este método (Li *et al.*, 2004). La desventaja de este método es que su eficacia es muy sensible a las características tanto del bulto como de la superficie del soporte. La mayor ventaja es que no es necesario tratar térmicamente las muestras ya que luego de la preparación, el metal se encuentra reducido por la irradiación con UV.

REFERENCIAS

- Alivisatos, A. P. (1996). "Semiconductor clusters, nanocrystals and quantum dots". *Science*, 271, 933-937.

- Banin, U., Cao, Y. W., Katz, D., y Millo, O. (1999). "Identification of atomic-like electronic states in indium arsenide nanocrystal quantum dots". *Nature*, 400, 542-544.
- Boldyrev, V. V. (2006). "Mechanochemistry and mechanical activation of solids". *Russian Chemical Reviews*, 75, 177-189.
- Bond, G. C., Louis, C., y Thompson, D. T. (2006). *Catalysis by gold*, 1a ed. Londres: Imperial College Press.
- Collier, C. P., Saykally, R. J., Shiang, J. J., Henrichs, S. E., y Heath, J. P. (1997). "Reversible tuning of silver quantum dot monolayers through the metal-insulator transition". *Science*, 277, 1978-1981.
- Daniel, M.-C., y Astruc, D. (2004). "Gold nanopartilces: Assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis and nanotechnology". *Chemical Reviews*, 104, 293-346.
- de-Jong, K. P. (2009). *Synthesis of solid catalysts*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Dyson, P. J., y Mingos, D. M. P. (1999). *Gold: Progress in chemistry, biochemistry and technology*. Wiley, Chichester.
- Ershov, G. G. (1997). *Russian Chemical Reviews*, 66, 93-106.
- Faraday, M. (1957). "Experimental relations of gold (and other Metals) to light". *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Londres, 147, 145.
- Fernández, A., Caballero, A., González-Elipe, A. R., Herrmann, J.-H., Dexpert, H., & Villain, F. (1995). "In situ EXAFS study of the photocatalytic reduction and deposition of gold on colloidal titania". *Journal of Physical Chemistry*, 99, 3303-3309.
- Grieve, K., Mulvaney, P., y Grieser, F. (2000). "Synthesis and electronic properties of semiconductor nanoparticles/quantum dots". *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 5, 168-172.
- Grunwaldt, J.-D., y Baiker, A. (1999). "Preparation of supported gold catalysts for low temperature CO oxidation via "Size Controlled" gold colloids". *Journal of Catalysis*, 181, 223.
- Imamura, K., Inagaki, M., y S.Naka. (1984). "Mechanochemical synthesis of hercynite". *Journal of Materials Science*, 19, 1397.
- Kim, Y.-G., Oh, S. k., y Crooks, R. M. (2004). *Chemistry of Materials*, 16, 167-172.
- Li, D., McCann, J. T., Gratt, M., y Xia, Y. (2004). "Photocatalytic deposition of gold nanoparticles on electrospun nanofibers of titania". *Chemical Physics Letters*, 394, 387-391.
- Lu, A. H., Salabas, E. L., y Schuth, F. (2007). "Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and applications". *Angewandte Chemie Int. Ed.*, 46, 1222-1244.
- Martra, G., Prati, L., Manfredotti, C., Biella, S., Rossi, M., y Coluccia, S. (2003). "Nanometer-sized gold particles supported on SiO₂ by deposition of gold sols from Au(PPh₃)₃Cl". *Journal of Physical Chemistry B*, 107, 5433.
- Medintz, I. L., Uyeda, H. T., Goldman, E. R., y Mattoussi, H. (2005). "Quantum dot bioconjugates for imaging, labelling and sensing". *Nature Materials*, 4, 435-446.
- Muzafarov, A. M., y Rebrov, E. A. (2000). *Polymer Science*, 42, 55-77.
- Patel, K., Kapoor, S., Dave, D., y Murkherjee, T. (2005). "Synthesis of nanosized silver colloids by microwave dielectric heating". *Journal of Chemical Sciences*, 117, 53.
- Pérez-Juste, J., Pastoriza-Santos, I., Liz-Marzán, L. M., y Mulvaney, P. (2005). "Gold nanorods: Syntesis, characterization and applications". *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1870-1901.

- Rao, C. N. R., Müller, A., y Cheetham, A. K. (2004). *The Chemistry of Nanomaterials* (vols. 1 y 2). Weinheim: Wiley-VCH.
- Revina, D. A., Egorova, E. M., y Karataeva, A. D. (1999). *Russian Journal of Physical Chemistry*, 73, 1708-1715.
- Schmid, G. (2004). *Nanoparticles. From theory to application*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Sergeev, G. B. (2006). *Nanochemistry*. Amsterdam: Elsevier.
- Shipway, A. N., Katz, E., y Willner, I. (2000). "Nanoparticle arrays on surfaces for electronic, optical, and sensor application". *ChemPhysChem*, 1, 18-52.
- Takacs, L. (1993). "Metal-metal oxide systems for nanocomposite formation by reaction milling". *Nanostructured Materials*, 2, 241-249.
- Turkevich, J., Hiller, J., y Stevenson, P. C. (1951). "A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold". *Discuss. Faraday Soc.*, 11, 55-75.
- Turkevich, J., y Kim, G. (1970). "Palladium: Preparation and catalytic properties of particles of uniform size". *Science*, 169, 873.
- Vázquez-Olmos, A., Redón, R., Rodríguez-Gattorno, G., Zamora, M. E. M., Morales-Leal, F., Fernández-Osorio, A. L., y Saniger-Blesa, J. M. (2005). "One-step synthesis of Mn₃O₄ nanoparticles: Structural and magnetic study". *Journal of Colloid Interface Science*, 291, 175-180.
- Wachs, I. E. (2001). *Characterization of catalytic materials*. New York: Momentum Press.
- Xie, R. C., y Shang, J. K. (2007). "Morphological control in solvothermal synthesis of titanium oxide". *Journal of Materials Science*, 42, 6583.
- Zanella, R., Delannoy, L., y Louis, C. (2005). "Mechanism of deposition of gold precursors onto TiO₂ during preparation by deposition-precipitation with NaOH and with urea and by cation adsorption". *Applied Catalysis A*, 291, 62-72.
- Zanella, R., Giorgio, S., Henry, C. R., y Louis, C. (2002). Alternative methods for the preparation of gold nanoparticles supported on TiO₂". *Journal of Physical Chemistry B*, 106(31), 7634-7642.
- Zheng, J., y Dickson, R. M. (2002). "Individual water-soluble dendrimer-encapsulated silver nanodot fluorescence". *Journal of the American Chemical Society*, 124, 13982-13983.
- Zhu, H., Zhang, C., y Yin, Y. (2004). "Rapid synthesis of copper nanoparticles by sodium hypophosphite reduction in ethylene glycol under microwave irradiation". *Journal of Crystal Growth*, 270, 722-728.

Diálogo para el avance científico y tecnológico a la nanoescala*

GIAN CARLO DELGADO** Y ELENA LEÓN MAGAÑA***

RESUMEN: La manera en la que se adquiere el prestigio de las disciplinas depende de su utilidad en el mundo real, situación que ha detonado, entre otras cuestiones, sistemas jerárquicos epistémicos. Esta situación se traduce en la exclusión, al menos relativa, de visiones del mundo, una marginación que forma parte del modo en el que hoy día se innova y se lanzan al mercado muchos de los productos y servicios, esto es, del mecanismo mediante el que éstos son socializados. Si bien ya desde hace varias décadas hay avances en el estudio y análisis sobre la lógica, estímulos, incertidumbre e implicaciones del avance científico y tecnológico, la exclusión de ciertas visiones y valores en la toma de decisiones, en distintos ámbitos, no sólo el político, sigue aún arraigado. Considerando lo anterior, se propone la necesidad de reinventar e incentivar el diálogo como instrumento clave para, por un lado, enfrentar la incertidumbre y la creciente complejidad tecnocientífica propia de principios del presente siglo, y por el otro lado, para abrir canales interdisciplinarios más robustos útiles para ampliar el ejercicio de repensar los objetivos mismos de la actividad tecnocientífica. Y es que conforme avanza y se torna más compleja la ciencia y la tecnología —léase tecnologías convergentes a la escala nanométrica—, todo en un contexto de necesidades sociales básicas aún sin resolver para el grueso de la población mundial, concluimos que es necesario apostar por un manejo socialmente responsable de la ciencia y la tecnología sobre la base de un amplio y genuino diálogo y consenso social.

PALABRAS CLAVE: incertidumbre, nanotecnología, tecnologías convergentes, diálogo, complejidad, interdisciplina.

Abstract: Current way in which disciplines acquire prestige depends on their utility in real world (their practical application). This has produced, among other issues, hierarchic epistemic systems that generate, at least, a relative exclusion of world visions. Therefore, such marginalization tends to be an aspect that characterizes current way of innovating and commercializing goods and services (or the mechanism in which those technological advances are socialized). Even if there has been important contributions on the study and analysis of the logic, stimulus, uncertainty and societal, ethical and environmental implications of scientific and technological development, the exclusion of certain visions and values is a feature still anchored within the decision making process, at the political and other levels. Considering the above, it is proposed the need of promoting and reinventing (social)dialogue as key instrument for confronting uncertainty and the increasing technoscientific complexity, but also for opening more robust interdisciplinary paths for strengthening the exercise of evaluating technoscience's purposes. As science and technology advances and becomes more complex —as it happens in the case of converging technologies at the nanoscale—, all within a context in which social basic needs are still unsolved for most of world population, we conclude that it is necessary to bet on a social and responsible management of science and technology based on a wide and genuine social dialogue and consensus.

KEY WORD: uncertainty, nanotechnology, converging technologies, dialogue, complexity, interdisciplinary.

* Este trabajo es parte del proyecto Conacyt de Consolidación Nivel 1, número 118244.

** Investigador titular de tiempo completo, definitivo, del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt y responsable del proyecto Conacyt número 118244.

*** Licenciada en comunicación y periodismo por la FES-Aragón, UNAM y maestrante del posgrado de filosofía de la ciencia de la FFyL de esa misma casa de estudios. Integrante del proyecto Conacyt número 118244.

INTRODUCCIÓN

La discusión sobre los objetivos de la ciencia, sus valores y el papel de los sujetos que en ella intervienen continúa siendo un asunto de debate en la filosofía de la ciencia. Separar la política, la economía y lo socioambiental de la dinámica de desarrollo tecnológico es cada vez más complicado e indeseable, sobre todo cuando tratamos de hablar, por un lado de *objetividad*¹ científica, entendida como la presentación de un fenómeno u objeto en su estado más *puro*, y por el otro lado, de asegurar en la medida de lo posible el máximo bienestar. Pese a ello, la generación de conocimiento se ha hecho, al menos hasta poco después de la primera mitad del siglo XX, marcada y especialmente sobre la base del avance de disciplinas. Avance que se tradujo en una tendencia cada vez más definida hacia la especialización y, en consecuencia, hacia la fragmentación, inclusive hacia adentro de los propios campos de estudio.

Se desarrolló así un estrecho vínculo entre el empirismo y la verdad. Los procedimientos como avales de la justificación o verificación del conocimiento. La consolidación de una metodología que asegurara la *confiabilidad* del descubrimiento. La razón como el resultado del aislamiento de las cuestiones intangibles del sujeto. Las acciones científicas al margen del individuo, de ahí una ardua lucha por el alcance de la objetividad, del conocimiento exacto, del completo desprendimiento metafísico. La noción de exactitud y objetividad dieron pie a la subordinación de unas disciplinas con otras, quedando en el escalafón más alto aquellas cuya producción de conocimiento deriva en aplicaciones prácticas (comercializables) y dejando algunas ciencias sociales (ciertamente no la economía) y a las humanidades en los últimos peldaños. Tal estructura es en cierto sentido aún visible. En el caso de la nanotecnología, y en su conjunto el de las tecnologías convergentes, ello se da ciertamente no sin fricciones y en constante tensión con la articulación en cierto sentido obligada y que apunta hacia la conformación de especialidades híbridas (véase más adelante). Así, en el caso mexicano, los principales entes haciendo investigación en nanociencia y nanotecnología derivan de la física —tal y como sucede nítidamente en el caso de la UNAM.² Ello demuestra cómo incluso hacia adentro de la investigación en nanociencia y nanotecnología existen raíces históricas en las gradaciones del peso disciplinar y su incidencia. Consiguientemente, la inclusión de líneas de investigación conjuntas con científicos sociales y de las humanidades en esta área es aún limitada en el país, sobre todo en

¹ A lo largo del texto se desarrolla una argumentación que sostiene la incidencia directa del sujeto en la producción científica, de manera que no compartimos la idea de una objetividad científica aislada de las creencias del sujeto, y sostenida en la existencia de un mundo dado. Dicha objetividad tiene que ver con discusiones del tipo de realismo ingenuo de los filósofos griegos. Además, consideramos que las limitaciones técnicas y las constricciones sociales propias de cada época, y que dan forma en un grado u otro al desarrollo de la ciencia y la tecnología en curso, tienen un impacto profundo en la estructura operativa interna y en la representación e interpretación de la “realidad” (problemas epistemológicos).

² En el caso de la UNAM, donde el Instituto de Física ha tenido una preponderancia mayor, se observa entonces que la conformación de otras entidades se relaciona en sus orígenes con ese Instituto. Tal es el caso, por ejemplo, de la creación de Laboratorio de Física de Superficies y Propiedades Ópticas y de Sólidos ubicado en la ciudad de Ensenada y operativo en 1981. Los investigadores de este laboratorio provinieron del Instituto de Física de Ciudad Universitaria, UNAM. Debido a su crecimiento, el laboratorio se convirtió en el Centro de la Materia Condensada (1997), hoy Centro de Nanociencia y Nanotecnología (desde 2008). Algo similar sucedió en la conformación del entonces departamento de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, ubicado en Juriquilla (1997) y que en 2002 se convertiría en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada. Lo mismo puede decirse del Centro de Ciencias Físicas de la UNAM, campus Cuernavaca (1998).

el sentido de que no corresponde con la dimensión de los impactos esperados de dicho frente tecnológico. La UNAM tal vez es una relativa excepción con su consorcio nanoUNAM (al respecto, léase Delgado en: Takeuchi, 2011).

Pese a todo y tal y como se indicó, son observables impulsos hacia la búsqueda de la multidisciplinaria, y, en ocasiones, experiencias de cierta interdisciplina; proceso en curso con resistencias y contradicciones, sobre todo por parte de las disciplinas con mayor jerarquía histórica (Kuhn, 1971). La multidisciplinaria, sin embargo, tiene límites importantes, pues si bien fomenta la colaboración de distintos especialistas en un mismo proyecto, no necesariamente comparten un lenguaje común, ni visiones del mundo. La interdisciplina en cambio, busca trascender tales limitaciones, pretendiendo que las colaboraciones consigan un verdadero diálogo e intersección entre las distintas visiones del mundo, rompiendo además con las barreras establecidas entre las distintas áreas de las ciencias, dígase las ciencias naturales, exactas, las ingenierías, las ciencias sociales y las humanidades.

Tal proceso de permanencia en la disciplinaria con búsqueda aún relativamente limitada de la multidisciplinaria (común sin embargo en las fronteras del conocimiento) *versus* las iniciativas de genuina interdisciplinaria, no logra todavía desahogar el distanciamiento existente respecto de los intereses de los actores y de los campos disciplinares entre sí. La tendencia a la ruptura comunicativa se mantiene en un grado u otro entre los diferentes especialistas en tanto que cada disciplina y subdisciplina consolida lenguajes, discursos y grupos de interés particulares. Incluso, las disciplinas “híbrido” que obligadamente requieren de la multidisciplinaria o la interdisciplina, generalmente se limitan a colaboraciones con disciplinas afines y no en pocas ocasiones, una vez afianzadas en la estructura jerárquica del conocimiento, operan bajo criterios similares a la disciplinaria. Desde luego, existen apuestas en sentido contrario.

Así y pese a los avances logrados, siguen presentes fenómenos como la consolidación de jerarquías epistémicas, la descalificación entre disciplinas y la divergencia respecto de los supuestos sociales de los que parten. El diálogo, de por sí entrópico, se convierte en diversas ocasiones en una suerte de argumentos que pretenden superar a los otros, y no necesariamente en un ejercicio de comprensión y entendimiento del otro.

En lo que a la innovación tecnológica se refiere, existe pues una tendencia a la comprensión segmentada o parcial de los aspectos sociales y humanísticos, asumiéndose como natural la evolución que ha tomado la ciencia y la tecnología desde que se gestara lo que conocemos como la Primera Revolución Industrial (1770s). Se trata de una modalidad “industrializada” en la que el motor de la innovación es la innovación misma, garante de esquemas mayores de acumulación de capital. Tal esquema, que desde la segunda mitad del siglo XX adquiere características novedosas con la consolidación de lo militar como actor de peso en la innovación, y con la conformación de lo que se conoce como *big science*, calificado por algunos como de tecnociencia,³ en efec-

³ Referimos por ciencia a la producción de conocimiento y por tecnología a su aplicación práctica. Se usa la distinción entre ciencia y tecnología para propósitos meramente analíticos pese a que reconocemos que ambas son entidades íntimamente relacionadas y que, por tanto, no pueden verse como si fuesen autónomas. Preferimos, sin embargo, utilizar en ciertas ocasiones el concepto de *tecnociencia* (Echeverría, 2003) para dar cuenta enfáticamente del proceso y las implicaciones de la modalidad que ha adquirido la innovación desde la segunda mitad del siglo XX, un proceso que ha sido estudiado por numerosos académicos, entre otros: Melman (1970); Latour y Woolgar (1979) Rose y Rose (1980); McGrath (2002).

to demuestra una gran capacidad para desarrollar los medios de producción —ciertos medios de producción—, pero, pese a ello, no logra resolver de raíz las demandas sociales más básicas, ahondándose, en medio de la abundancia productiva, la miseria social y la crisis medioambiental. La desigualdad es clara pues, desde luego, en dicho contexto, sí hay un grupo limitado que tiene acceso a los avances tecnológicos.⁴ Es por ello que se puede decir que con la modernidad⁵ se instaura una tensión permanente entre los intereses privados, las políticas públicas y las necesidades sociales (léase un análisis de fenómeno para el caso de la nanomedicina en: Arnaldi *et al.*, 2011).

Precisamente, la consolidación del denominado modelo de la *Triple Hélice*⁶ [Estado-empresa-unidades de conocimiento] sobre el cual descansa hoy por hoy la innovación, suele proyectarse en la constricción de los esfuerzos que discutan la axiología del actual sistema de producción; usualmente, iniciativas y roles propios del análisis social y humanístico.

El modelo de la *Triple Hélice* ha establecido estándares de medición basados en conceptos y mecanismos utilitarios como la competitividad, los índices de innovación, la eficiencia, la eficacia, la propiedad intelectual, los parámetros de transferencia tecnológica, entre otros, que si bien son funcionales para los propósitos que persigue (en particular, la mayor acumulación de capital), ello no deja de tener implicaciones en la gestión y utilidad del conocimiento, en el manejo de la incertidumbre,⁷ la identificación y gestión de los potenciales riesgos y, en sí, sobre la visión del mundo que permea todo el proceso de desarrollo tecnocientífico.

La manera en que se conforman los grupos de investigación, en que se organizan las redes epistémicas, y se consolida el rumbo de los proyectos, afecta pues la producción de conocimiento y el sendero que éste toma, tanto a nivel teórico como práctico.

No sobra precisar que la incertidumbre que caracteriza la tecnociencia, cada vez más compleja, no sólo es técnica, sino también metodológica y epistemológica (cómo sabemos que sabemos); de ahí que como precisan Ravetz y Strand (2007), la incertidumbre no pueda ser completamente controlada o eliminada. Y, así como hay una distribución desigual de la riqueza y de los avances de la tecnociencia, en nuestro tiempo

⁴ Los datos de UNDP precisan que la distribución actual de la riqueza se polariza a tal grado que el 83% de la riqueza está en manos del quintil o 20% de la población más rica, mientras que sólo el 1.4% de la riqueza se distribuye entre el quintil más pobre. Así, por ejemplo, en Brasil, el 10 % de los más acomodados acapara el 50,6 % de los ingresos frente al 0,8 % que recibe el 10 % más pobre de la población. En México, el décimo de la población más acaudalada recibe el 42,2 % de los ingresos, frente al 1,3% los más pobres. Y en Argentina, el 41,7% de los ingresos es acaparado por el 10% de los más ricos mientras el 1,1 % de los ingresos corresponde al 10 % más pobre de la población (Delgado, 2011).

⁵ La palabra modernidad es utilizada en el sentido de una etapa, a partir del siglo XIX desde la cual la racionalidad es tomada como el valor máximo de la acción.

⁶ El concepto de la Triple Hélice fue utilizado por Henry Etzkowitz (1994) para referirse a la relación que se da entre el Estado, la empresa y la universidad. El autor consideraba una práctica positiva el fomento de estos tres agentes en la producción de conocimiento. Para una discusión reciente del estado de situación de la innovación tecnológica de éstos actores en EUA, léase: Delgado (2010).

⁷ Seguimos la sugerencia de Wynne quien precisa que los conceptos de riesgo, incertidumbre e indefinición no están en la misma dimensión o plano. La *indefinición* es la existencia de cadenas o redes de trabajo abiertas; la *incertidumbre* es cuando no se saben las probabilidades aunque se puedan conocer los parámetros generales y cuando se trata de reducir la incertidumbre se incrementa la ignorancia; el *riesgo* refiere a la situación en la que no se conocen las probabilidades (Wynne, 1992: 114). En otro sentido, lo precisado implica que cuando hay incertidumbre, si bien puede poseerse una hipótesis sobre un resultado dado, no se tiene, sin embargo, precisión sobre todos sus aspectos, de manera que los beneficios y costos no son del todo predecibles.

también hay una magnitud acumulada y una distribución desigual y cada vez más notoria de los riesgos (Beck, 1992).

El reto está entonces en cómo construir sobre la base del diálogo y no de la jerarquización–descalificación el mejor conocimiento posible para la toma de decisiones socialmente consensuadas, dígase, por ejemplo, del desarrollo de las denominadas tecnologías convergentes.

LAS TECNOLOGÍAS CONVERGENTES: MODELANDO EL FUTURO TECNOCIENTÍFICO

Las *tecnologías convergentes* (TCs) aluden al “encuentro”, simbiosis, sinergia y potencial de cuatro frentes científicotecnológicos estratégicos: 1) la nanotecnología, 2) la biotecnología/biología sintética,⁸ 3) la electroinformática (inclúyase aquí las ciencias de la información–comunicación, la electrónica/robótica/inteligencia artificial y afines) y, 4) las ciencias cognitivas/neurociencias/y similares. Dichas tecnologías se suman –de ser necesario– a ciertos sistemas de conocimiento paralelos que variarán según, con el objeto de alcanzar una meta común bien definida (por ejemplo, el conocimiento tradicional de la biodiversidad o del cuerpo, entre otros). De ahí que las TCs sean calificadas como ‘tecnologías facilitadoras o posibilitadoras’ (*enabling technologies*) del desarrollo científicotecnológico en su conjunto.⁹

Es notable el hecho de que dicha convergencia se caracteriza por una propensión creciente del uso de principios y métodos de investigación a la *nano* escala (una mil millonésima de metro o el mundo de los átomos y las moléculas). Se trata de un rasgo que no es casual pues, como se ha señalado, la tendencia de la ciencia y la tecnología (CyT) moderna ha sido precisamente la observación e interpretación de los fenómenos naturales desde un acercamiento cada vez más especializado, indagando el mundo de lo muy pequeño o de lo macro pero no en pocas ocasiones de modo fragmentado. Es por ello que algunos especialistas precisan que las distintas disciplinas que conforman las denominadas TCs están usando “los mismos bloques (nanométricos) de construcción de la materia” (Roco y Bainbridge, 2002:83), proceso que, sin embargo, no está exento de problemas de lenguaje ni de percepciones o visiones de cómo observar y manipular la materia a tal escala (al respecto, el debate entre Smalley y Drexler es una muestra clara entre visiones encontradas del potencial de la nanotecnología (Baum, 2003)).

La relativa convergencia es obligada conforme se avanza hacia la “nanometrización” de los acercamientos analíticos e interpretativos de múltiples disciplinas científicotecnológicas. Se dice “relativa” pues al mismo tiempo se observa una cierta pérdida en la capacidad de construir nociones integrales y complejas que den cuenta de la interrelación y complementariedad de las “partes” que constituyen los fenómenos observados, incluyendo sus dimensiones socioambientales y éticomorales. Además, se pueden pasar por alto o minimizar eventuales aplicaciones (vinculadas a metas predefinidas), debido a la falta del conocimiento que otros colegas han desarrollado.

⁸ Tecnologías que tienen como fundamento el avance de la ingeniería genética. Mientras la primera busca manipular la materia viva a la escala del ADN con el objeto de obtener determinadas y/o nuevas características en tal o cual ser vivo “modificado”; la segunda procura desarrollar nuevas partes biológicas, dispositivos, sistemas, e incluso formas de vida, a partir de reordenar, sintetizar y construir cadenas y estructuras de ADN. Hasta 2007, su logro mayor había sido “crear” virus y bacterias antes inexistentes.

⁹ Se sigue la sugerencia del grupo de asesores de la Comisión Europea en: Nordmann (2004).

La limitación que ello representa es tal que se ha tornado necesario, desde hace tiempo, no sólo una exponencial multidisciplinariedad de los científicos e ingenieros, sino también una mayor comunicación entre las distintas disciplinas. Es más, de cara a la complejidad e incertidumbre que caracteriza exponencialmente el avance científicotecnológico de vanguardia, se precisa la necesidad de una nueva fuerza de trabajo que opere en la multi e interdisciplinariedad, ruta que apunta a una suerte de aproximación que, como se indicó, opera en las fronteras de varias disciplinas y a través de éstas, lo que cada vez más deja de ser la excepción.¹⁰

Por tanto, y tomando nota de lo previamente indicado, parece ser más preciso referirse a las TCs como el producto del avance histórico del conjunto de las fuerzas productivas modernas y no como el encuentro accidental u oportuno de tales o cuales disciplinas que devela sorpresivamente la nanotecnología o el conjunto de tecnologías facilitadoras (que, a su vez, son producto del mismo proceso). Por el contrario, las TCs o “bio-sistémicas”, como las denomina Bouchard (2003:11), están siendo pensadas y diseñadas para que operen cuando menos en la multidisciplinariedad no sólo tecnológica sino también científica (véase la imagen 1). Pese a ello, la gradación disciplinaria sigue permeando mucho de ese esfuerzo.

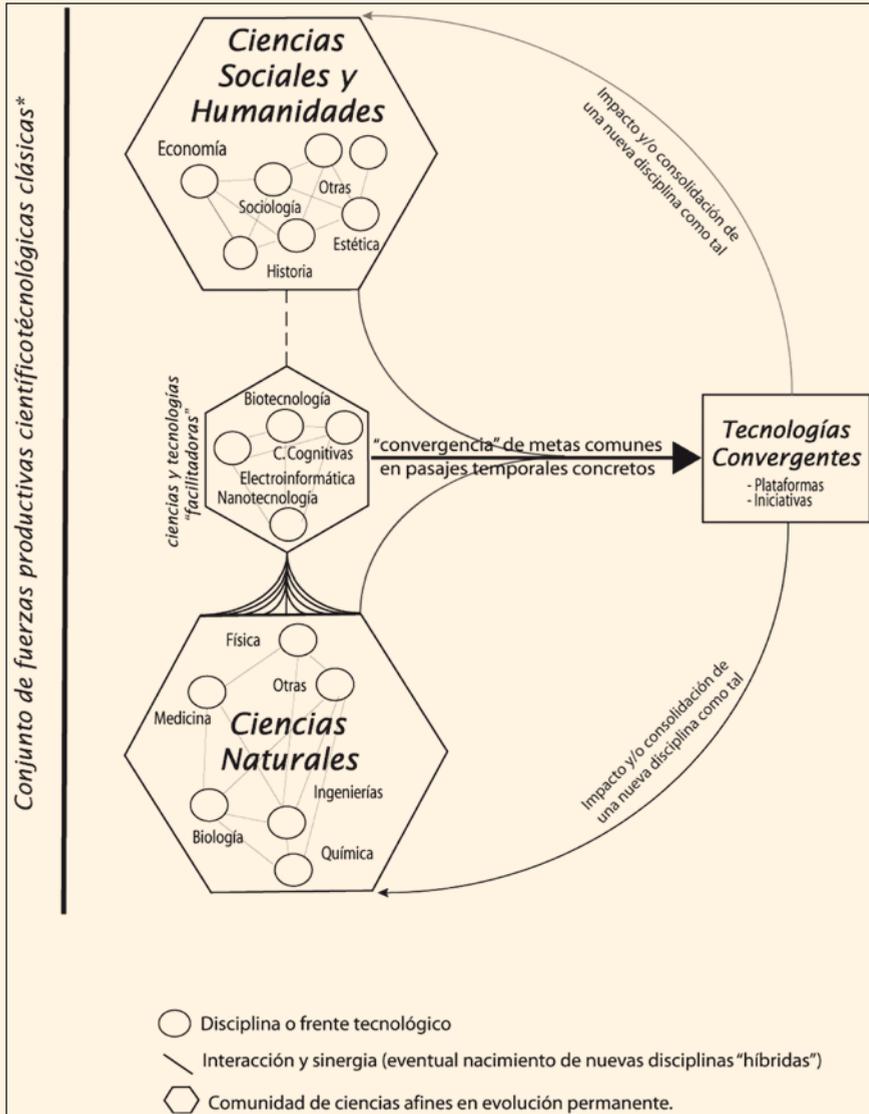
Debe advertirse entonces que no es lo mismo decir que las TCs son producto “natural” del avance científicotecnológico (postura determinista), que señalar que están siendo (socialmente) construidas para modelar buena parte de éste último hacia un rumbo y metas particulares. Desde luego, esto es aplicable para todos los conocimientos.

Así, si se considera la problemática existente en torno a la definición de lo que se asume por nanotecnología y, por tanto, sobre quiénes son y quiénes no son nanotecnólogos (léase Delgado, 2008), el señalamiento anterior se clarifica, pues se devela que tal dilema es aún mayor para el caso de las TCs. Muchos de los que se autodenominan nanotecnólogos realizaban prácticamente la misma actividad décadas atrás, dígase, bajo el rubro de estudio de “partículas muy pequeñas”; no obstante, hoy día no hay quien se considere simplemente un “tecnólogo convergente”.¹¹

¹⁰ Por ejemplo, la industria de los microelectrónicos cada vez más se mueve hacia la incorporación de nanoestructuras y nanodispositivos para el desarrollo de nuevas generaciones de microelectrónicos e incluso de nanoelectrónicos (dígame mediante el uso de nanocristales fotónicos, nanotubos de carbono, nanocables o nanomagnetos). La imitación del empaquetamiento de información de las células ha llevado a la exploración, junto a físicos e ingenieros —entre otros—, de la factibilidad de nanobiodispositivos y, más aún, de las computadoras moleculares/cuánticas. Asimismo, la neurociencia cognitiva, al examinar las ‘estructuras’ del cerebro *in vivo* por medio de resonancia magnética ha llegado a su límite de un milímetro cúbico; ahora se mueve hacia nuevas aproximaciones “nano-bio” para batirse hacia la escala de las neuronas (o nivel celular). De modo similar, la biomedicina, junto con las neurociencias, ya viene incorporando la electrónica y la robótica para el diseño de implantes de microchips neuromórficos retinales, biochips cerebrales como el BrainGate? de la empresa Cyberkinetics (EUA), o prótesis robotizadas o “*biomechatronics*” controladas por novedosos chips como el C-2000 (TMS-320) de Texas Instruments (EUA). Y así seguido.

¹¹ El fenómeno es reconocido por ejemplo en el ámbito de la nanofotónica por Aasmund Sudbo de la Universidad de Oslo quien reconoce que el área se consolidó antes de que el término fuera inventado (Delgado, 2008).

IMAGEN 1. Esquematización de las denominadas tecnologías convergentes.



* No incluyen normativamente, por ejemplo, el conocimiento tradicional o precapitalista que reside todavía en algunas comunidades indígenas y campesinas, por ejemplo, en torno a la biodiversidad y sus usos.

Fuente: Elaboración de Gian Carlo Delgado.

Por lo antes dicho, las TCs se perfilan más como ‘conceptualizaciones’ del rumbo y metas que modelarían, en primera instancia y en lo particular, el grueso de las ciencias y tecnologías facilitadoras. Su unidad se encuentra, a decir de Dupuy (2004), en el nivel metafísico de los programas que estimulan tal convergencia. Si eventualmente las TCs podrán constituirse como un nicho tecnológico *per se* o no, lo más probable en el corto-mediano plazo es que, de seguir la actual tendencia, las TCs se afianzarán como uno de los principales motores para la apertura y/o consolidación de nuevas disciplinas híbridas, al tiempo que impactarán en uno u otro grado y modo, al conjunto de fuerzas productivas científicotecnológicas.

Es importante tener en cuenta lo anterior para proceder, de cara a la historia de la propia ciencia y tecnología, con una identificación más fina de los principales rasgos que caracterizan la lógica interna y la modalidad del avance de las denominadas TCs. Todo en un contexto en el que, por un lado, las especificidades normativas de su estímulo varían según la versión de su concepción –más o menos positivista, dígase en este caso la estadounidense o la europea (léase una revisión crítica en Kjolberg *et al.*, 2008)—, mientras que, por otro lado, se procede en relativa sinergia competitiva.

Considerando que tales versiones de uno y otro lado del Atlántico, cayendo la estadounidense en cierto grado de ciencia ficción, se fundan en un determinado *imaginario social*, es fundamental reflexionar comparativa y críticamente la dimensión subjetiva de las TCs en tanto actividad humana, es decir, como frente de innovación definido, construido y ejecutado socialmente; por ejemplo, con el establecimiento de “metas”, la modelización de discursos y la implementación y financiamiento de “plataformas” o “iniciativas” tecnológicas. El ejercicio no sólo sirve para “medir” el rol que tiene cada frente científicotecnológico (dígame la biotecnología, la nanotecnología, etcétera), sino, sobre todo, para discutir algunas de las características de la lógica plasmada en el desarrollo tecnocientífico de punta que permite la reproducción de ciertas configuraciones/disrupciones tecnosociales propias del actual sistema de producción así como del espectro y amplitud de sus eventuales implicaciones en el tiempo y en el espacio (al respecto, léase Delgado, 2008).

Por tanto, lo que interesa son las potenciales implicaciones (y limitaciones) éticomorales y sociales en el mediano y largo plazo, a partir de la identificación, de la gestión de la conceptualización de las TCs. ¿Existe una dirección consciente de las TCs?, ¿cuál es, y bajo qué modalidades y valores? En cuanto a la evaluación de la posibilidad “técnica” de determinadas innovaciones, la pregunta es distinta, misma que en este ejercicio no será considerada, pues en este momento, su sola idea está definiendo y moldeando económica, política y socialmente, en una u otra medida, el avance espaciotemporal de la agenda científica y de desarrollo de cada una de las tecnologías facilitadoras como constituyentes centrales de las TCs.

En este contexto resulta entonces pertinente apuntar y tener presentes algunas de las limitaciones e incertidumbres técnicas y metodológicas de carácter general que ya se identifican, a grosso modo, en la convergencia de las mencionadas TCs (véase la tabla 1).

TABLA 1. Algunas limitaciones e Incertidumbres técnicas y metodológicas de las tecnologías convergentes de frente a sus potenciales expectativas.

"Convergencia"	Limitaciones / Incertidumbres	Potenciales expectativas
Nano-Bio	<ul style="list-style-type: none"> • La manipulación de ADN es aún embrionaria. • La proteómica está a varios años de su madurez. • Incapacidad de diseñar nuevas bases y sistemas protéicos. • Falta de conocimiento acerca del impacto de las nanopartículas en organismos y el medio ambiente. • Falta de conocimiento sobre el diseño de colonias de organismos basadas en nanotecnología sintética 	<ul style="list-style-type: none"> • Personalización orgánica. • Colonias de organismos basados en nanotecnología sintética. • Organismos extremadamente pequeños. • Compresión de ADN. • Virus sintéticos para el mejoramiento de ADN.
Nano-Info	<ul style="list-style-type: none"> • Casi todos los ingenieros están atrapados en la práctica digital y del silicón; pocos pueden referirse al uso de ADN, por ejemplo. • Falta de capacidades en ingeniería cuántica, • Falta de capacidades en manufactura <i>bottom-up</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computación cuántica / molecular. • Reducción de las dimensiones, incremento de la capacidad de los electrónicos. Minimización del coste. • Exploración de capacidades en inteligencia artificial.
Nano-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de vincular la nanotecnología con las ciencias cognitivas de modo convencional excepto por la de la informática. Como causa de la falta de conocimiento en los sistemas de procesamiento no electrónicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento sensorial por la vía de nanopartículas o nanoestructuras. • Inteligencia mecánica a través de MEMS y NEMS ¿? • Inteligencia por la vía de la física básica y la química usando el surgimiento de interacciones a escala pequeña.
Bio-Info	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de materiales electrónicos que son seguros en el cuerpo. • Necesidad de electrónicos imprimibles a temperatura ambiente para la reducción de costes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Procesamiento de bases de ADN dentro del cuerpo para sistemas inmune-sintéticos y control de cáncer. • Tele-cuidado y bioinformática como campos consolidados. • Monitores flexibles ideales para propósitos de monitoreo del cuerpo. • Piel activa. • Joyería emocional / monitoreo emocional.
Bio-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> • Poco entendimiento de métodos de cómputo biológico. • Sólo los mecanismos de inteligencia biológica son aquellos de base neuronal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de células madre en la regeneración del cerebro después de paro funcional o accidente. • Uso de sensores biológicos de mayor superioridad para el mejoramiento de la ingeniería de sistemas.
Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> • Conceptos del ciberespacio son aún muy inmaduros por lo que todavía no queda claro cómo las entidades de inteligencia artificial pueden progresar. • Persistente vacío del entendimiento de la conciencia. • Poco entendimiento de qué es lo que produce la vida. • Deficiencias legales en lo que respecta al desarrollo de vida inorgánica artificial o máquinas conscientes. • Falta de entendimiento sobre cómo podemos manejar las formas de vida híbridas que existen tanto en el ciberespacio como el mundo físico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso del ciberespacio para el aumento de objetos en el mundo físico. • Ambientes de respuesta inteligente. • Ventajas obvias en materia de comercialización derivados del uso de la inteligencia artificial. • Computación afectiva. • Compañías sin personal humano. • Sistemas autónomos.

TABLA 1. (Continuación).

“Convergencia”	Limitaciones / Incertidumbres	Potenciales expectativas
Nano-Bio-Info	<ul style="list-style-type: none"> No se pueden hacer bien los vínculos Bio-Info a gran escala. 	<ul style="list-style-type: none"> Bio-monitoreo avanzado. Tele-sistemas de cuidado avanzados. Blanqueo preciso de drogas. Detección y destrucción de células cancerosas.
Nano-Bio Cogno	<ul style="list-style-type: none"> ¿? 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la inteligencia biológica. Células cerebrales artificiales. Inteligencia, sensores y actuadores basados en MEMS y NEMS que pueden ser vinculados a sistemas biológicos.
Nano-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> ¿? 	<ul style="list-style-type: none"> Ensamblaje <i>bottom-up</i> de sistemas avanzados de comunicación-información.
Bio-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> Las primeras versiones de vínculos chip-nervios muestra la dificultad de mezclar el silicón con la biología. Desacuerdos entre los neurocientíficos en la naturaleza y los mecanismo de la conciencia. Falta de entendimiento de cómo manejar formas de vida híbridas en el ciberespacio y en el mundo físico. Poco entendimiento de los efectos sobre las neuronas al tratar de hacer vínculos con el cerebro directos vía contactos nanotecnológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de las capacidades sensoriales y de inteligencia. Monitoreo sensorial remoto, grabación y estimulación. Potenciales curas de espina dorsal.
Nano-Bio-Info-Cogno	<ul style="list-style-type: none"> Combinación atractiva para el uso de nuevas armas altamente difícil de regular. 	<ul style="list-style-type: none"> Redes de sensores-sensores. Sistemas híbridos. Personalización biológica. Bacterias y virus ‘inteligentes’ Conexión completa y directa con el cerebro. Inmortalidad mental.

Fuente: Elaboración propia con base en Bibel (2004: 57-59).

FINES E IMPLICACIONES DE LA INNOVACIÓN: REALIDADES Y RETOS

En tanto la ciencia deja de ser un lenguaje para convertirse en acción humana que conlleva necesariamente una acción práctica (Marcos, 2010), se torna racional en la medida en que produce “adecuadamente” lo que de ella se espera y que hoy implica, en gran medida, contribuya y afiance las relaciones productivas imperantes, así como los intereses imbricados como prerrequisito para cualquier satisfacción de necesidades humanas. Dicho de otro modo, la satisfacción de necesidades no se concreta sino es por la vía del mercado, lo cual deja a los avances tecnocientíficos fuera del alcance de toda persona que no cuente con los medios económicos para adquirirlos. Pero aún más: ¿qué se debe entender entonces por fines razonables?

La racionalización práctica de la ciencia afianza las jerarquías epistémicas y con ello fomenta las descalificaciones, estimulando que se delegue o degrade la relevancia o importancia de ciertos argumentos o visiones que no encajan o que se asumen como factores limitantes al avance tecnocientífico en curso. Así, no en pocas ocasiones tanto los planes de estudios como la financiación de proyectos devalúan la tarea de las

ciencias “blandas” por considerar que no tienen una influencia suficientemente importante en el “mundo real”. No sólo la administración de los proyectos proceden de esta forma, pues también al interior de la(s) red(es) científica(s) se presentan descalificaciones entre investigadores usando argumentos como la falta de comprobación de las teorías provenientes de la sociología, la filosofía, entre otras ciencias pertenecientes al área de humanidades. Hay incluso quienes han tomado posturas que consideran innecesaria la aplicación de dichos conocimientos en su área particular de estudio.¹²

En este escenario, resulta interesante que visiones cercanas a la ciencia ficción se presenten constantemente en el marco de discursos de apoyo o rechazo al avance de alguna tecnología de vanguardia, presentándose como argumentos válidos, no en la medida en que tengan sustento en tanto su factibilidad sociotecnocientífica, sino en el grado en que sean respaldados por las mencionadas jerarquías epistémicas. Tal es el caso de la nanotecnología durante los primeros años de financiamiento formal por parte de los Estados (léase Delgado, 2008).

No es sorpresa entonces encontrar que la figura del experto siga siendo fuertemente erigida y respaldada por los financiamientos en el marco de producción y gestión del conocimiento, hecho que se constata en la propia distribución de los recursos para la investigación. Así, quienes reciben mayores recursos son aquellos actores que están en áreas o disciplinas reconocidas como jerárquicamente dominantes y, al interior de éstas, la de los expertos de las ciencias exactas y las ingenierías. Ello perpetúa las jerarquías al exterior e interior de las propias áreas y disciplinas.

Así entonces, en el área nano, sólo alrededor del 4% del gasto mundial *gubernamental* (véase la tabla 2) se destina a cuestiones de aspectos ambientales, éticos, legales y sociales; un contexto en el que la mayor parte del financiamiento es destinado a cuestiones de toxicología; es decir, áreas propias a las ciencias exactas, que, aún en estas temáticas, continúan desplazando a segundo término a las ciencias sociales y las humanidades. No sobra recordar que el gasto privado mundial en nanotecnología es mayor que el público desde el 2004, lo cual indica que la iniciativa privada mira ya la posibilidad de lanzar productos al mercado en el corto plazo. Lo dicho implica que la velocidad con que llegan las innovaciones al mercado está claramente en desfase respecto a los ritmos de la investigación en aspectos legales, éticos, sociales y ambientales, así como de los de la implementación de cualquier tipo de regulación. Al día de hoy la suma global de financiamiento a la nanotecnología ronda los 70 mil millones de dólares, de los cuales 18 mil millones se ejercieron sólo en 2010.¹³ El dato coloca en mayor perspectiva los ritmos de financiamiento y por tanto de estímulo, pero al mismo tiempo, del significado del gasto gubernamental en aspectos ambientales, éticos, legales y ambientales dentro del panorama mundial del avance de la nanotecnología.

¹² Ejemplo de ello son el contraste de opiniones vertidos en el coloquio *Totalidades y complejidades: crítica a la ciencia reduccionista*, llevado a cabo del 29 agosto de 2011 al 2 de septiembre del 2011 en el CEIICH-UNAM. Al interior de dicho espacio surgieron opiniones sobre el papel preponderante que deben jugar los expertos graduados de las academias sobre opiniones no científicas.

¹³ La tendencia ascendente del gasto público ha ido disminuyendo drásticamente. Este indicador revela que el sector está pasando cada vez más del laboratorio a la aplicación concreta y su escalamiento a líneas de producción (a lo cual se suma, por supuesto, la crisis económica mundial). Así, del 2004 al 2008, el crecimiento del gasto público fue de alrededor de un 130% para después contraerse, hasta el día de hoy, en un 9.3%.

TABLA 2. Gasto gubernamental en nanociencia y nanotecnología en millones de dólares.

País o región	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EUA	270	464	697	862	989	1,200	1,351	1,425	1,554	1,702	1,762
UE	200	225	400	650	950	1,050	1,150	1450	1,700	1,900	Nd
Japón	245	465	720	800	900	950	950	950	950	950	Nd
Otros	110	380	550	800	900	1,100	1,200	2,300	2,700	2,700	Nd
Total	825	1,534	2,367	3,112	3,739	4,200	4,651	6,125	6,904	7,252	Nd

Fuente: Roco, Mirkin y Hersam (2010).

Lo anterior no podemos reducirlo a una simple consecuencia de la repartición de recursos; es necesario abordar el problema desde distintas aristas, entre ellas la referente a la comunicación y el consenso de quienes van trazando el sendero científico, dígase de la nanotecnología o las tecnologías convergentes. Y es que a partir de éstas, la comunicación y la búsqueda de alguna forma de consenso, puede ser posible armonizar los diversos valores de la actividad humana y pretender, quizá, la búsqueda utópica de una suerte de relativo equilibrio epistémico, de tal modo que se pueda dejar de perseguir únicamente la certeza como la llave a la modernidad, e incluso la misma idea de modernidad y desarrollo como mera acumulación o crecimiento económico.

En este escenario, es evidente que las cuestiones éticas, sociales y ambientales de la tecnología de frontera —en especial aquellas relacionadas con la complejidad e incertidumbre de la misma— pueden ser punto de encuentro para el cada vez más necesario y deseable diálogo interdisciplinario de diversos actores, de formación, y visiones diversas del mundo. Es esta ventana de oportunidad la que debiera ser cada vez más demandada ante el aumento de la complejidad e incertidumbre de la tecnociencia; situación que sin duda requiere de un obligado alejamiento de la descalificación y de la búsqueda de caminos para el entendimiento, lo que no es igual al consenso íntegro de visiones y opiniones, pero sí de transparencia y comunicación acerca de las cuestiones que los diversos actores, directa e indirectamente involucrados o potencialmente beneficiados o afectados, consideran importantes.

El reto es considerable, puesto que lo moderno se traduce como la búsqueda de la autonomía y la confianza en la ciencia (Marcos, 2010: 100), cuya mutación está en función de la permanencia o no de un cierto modo de vida que implica una serie de valores políticos, económicos y sociales particulares y que por supuesto forman parte de las decisiones que toman los sujetos de manera individual y que después establecen de forma colectiva (*Ibid*: 70). Así, la modernidad, según Marcos (2010), exageró la autonomía llegando a la autonomía e incluso a la imposición de modelos jerárquicos, situación que se refleja permanente en el tema central de este ensayo: la descalificación entre las partes. Así, la pugna por eliminar las cuestiones metafísicas de la práctica científica no sólo excluyó y descalificó de a poco las creencias religiosas y alquímicas para colocar en el pedestal epistémico a la ciencia, sino que poco después y hasta la fecha ha emprendido también una lucha, implícita o explícita contra la relevancia y/o validez de las ciencias humanas, mismas que están en pos del sujeto y su

relaciones, así como lo que de éstas deriva (aunque en efecto, debe advertirse que éstas últimas no necesariamente apuestan por la defensa de la metafísica).

La búsqueda de un equilibrio entre el cultivo de relaciones sistémicas y de conexiones horizontales entre los diversos ámbitos de la vida humana parece entonces cada vez más utópico ya que el establecimiento de un diálogo entre lo moral, el arte y la ciencia suscita serías discusiones sobre la pertinencia de tomar en cuenta conocimientos imprecisos y difícilmente comprobables y verificables. No fue únicamente la lucha por darle un lugar preponderante al conocimiento científico, sino una larga campaña en contra de las desventajas de regirse por otros estilos de pensamiento, arguyendo que sólo la ciencia podría dirigir todos los ámbitos de la vida humana de una mejor manera. Actualmente, las colaboraciones interdisciplinarias son motivo de reticencia por parte de algunos investigadores que consideran poco o no lo suficientemente importante “desviar” sus esfuerzos para tomar también en cuenta una serie de variantes *blandas*. No obstante, en efecto se observa un cambio en los programas formales de investigación y desarrollo en áreas como la nanotecnología —y las Tcs— en donde, como se ha precisado, se ha tendido a incluir elementos o rasgos multidisciplinares y en ocasiones interdisciplinares (incluyendo materias de las ciencias humanas en programas de grado en el área) financiando proyectos sobre implicaciones éticas, sociales y legales o de divulgación; exigiendo la inclusión de algún experto de las ciencias sociales y las humanidades en los grupos de investigación aplicada en nanotecnología, como sucede en EUA, conformando grupos de expertos interdisciplinarios para el establecimiento de marcos regulatorios generales en el área, etcétera. De cara a la complejidad y grado de potenciales implicaciones de las innovaciones “nano”, el reto es aún mayor, y el camino largo, incierto y, al mismo tiempo, estimulante para conseguir realmente abandonar la descalificación de los conocimientos, los valores y las preocupaciones en juego. Esto es válido tanto para las ciencias naturales, exactas y las ingenierías, como para las ciencias sociales y las humanidades.

El esfuerzo es de gran valía, no sólo en el sentido del propio quehacer científico-tecnológico, sino también para ampliar las capacidades del manejo social¹⁴ de la incertidumbre en áreas o aplicaciones tecnocientíficas donde lo que está en juego, los *stakes*, es cada vez mayor (Funtowicz y Ravetz, 1990).

Para ello nos parece oportuno el fomento de un establecimiento de relaciones horizontales entre los diversos ámbitos de la vida humana, ensayar distintas maneras de conectar esos diferentes ámbitos, sus valores, intereses y criterios, sin que se ejerza descalificación alguna sobre ninguno de ellos. Eso haría necesaria la reflexión sobre los pros y los contras de poner nuestro destino, en uno u otro grado, para bien y para mal, en manos exclusivamente de la tecnociencia. Una autonomía tecnocientífica, que se presume por la *sabiduría convencional* como un bien en sí misma, parece poco saludable y potencialmente costosa (tanto económica como socioambientalmente hablando) pues reduciría las posibilidades y ámbitos del ser humano a cuestiones meramente instrumentales. Asimismo, la búsqueda de la autonomía del sujeto en la acción y no sólo en el juicio se convierte en un tema controversial, pues más allá de una receta para hacer una mejor ciencia, habría que afrontar la estructura gubernamental y

¹⁴ Somos conscientes de que tal manejo requiere, no sólo de identificar los procedimientos en los que los actores “negocian”, sino sobre todo, de dar cuenta de ciertos factores explicativos de su comportamiento. Esto significa que es necesario dar cuenta de aquello que posibilita comprender la dinámica, el rol y la responsabilidad que tienen los hombres y las mujeres *como actores históricos y sociales* involucrados.

de evaluación en la que se mueve diariamente el sujeto, la cual imponen diques para un libre desplazamiento en cuanto a la libertad de juzgar en cada campo basándose en sus propios criterios y valores; o bien, cuestionar los valores de ese momento. Esta ampliación de variables en un contexto con estructuras bien establecidas podría convertirse en un problema al momento de ejercitar el consenso, de manera que hay una tarea pendiente tanto para la filosofía de la ciencia como para los investigadores.

RESPONSABILIDAD Y DEBATE

La ciencia, como una actividad humana, produce, transforma, comunica y distribuye el conocimiento (Velasco en Broncano: 2009). En tanto, poner énfasis en los productos finales de la ciencia sin tomar en cuenta los valores e intereses de los sujetos, si bien es importante, nos impediría ver la serie de destinos presupuestos, dirigidos por ciertas particularidades de los sujetos, así como por dinámicas socialmente construidas correspondientes al marco que establecen los diversos proyectos de nación. En tanto tal, ser conscientes de la injerencia del individuo en la obtención de determinados resultados, abre la posibilidad de desarrollar una responsabilidad-compromiso más amplio por parte de los colectivos que trabajan en la producción y avance de la tecnociencia, incluyendo una actitud un tanto más crítica y responsable respecto de su propio trabajo y una apertura hacia otras versiones del mundo. Ello, permitiría abrir paso a una nueva manera de producir conocimiento, todo al tiempo que se sientan bases sólidas para un consenso social, por mínimo que sea, sobre las prioridades de la investigación y la distribución más justa de los costos y beneficios.

La manera en que actualmente se evalúa a los sujetos que producen conocimiento, basada en estándares de medición de la productividad en cantidades y no necesariamente de forma cualitativa y acorde con cada especialidad, ha derivado en que el sujeto se concentre más en acumular artículos, menciones, participaciones y patentes, más allá de la calidad del aporte desarrollado. Desde luego, hay excepciones.

Existe pues una cuota productiva que responde a cuestiones de financiamiento, ingresos y evaluaciones personales, mediciones numéricas y no necesariamente a los alcances sociales de las innovaciones (en el sentido de la solución concreta y a fondo de las principales demandas sociales). Por ende, se puede argumentar que los beneficios de la tecnociencia no en pocas ocasiones se asumen como una cuestión automática, cuyo impacto social eventualmente llega a toda la sociedad, mientras que sus potenciales implicaciones no deseadas tienden a ser ignoradas o se asume que siempre son manejables. Es una situación que en contextos de alta incertidumbre, como se podría abogar para el caso de ciertas aplicaciones nanotecnológicas o de las TCs, bien puede resultar contraproducente, pues no necesariamente se estimula el desarrollo del mejor conocimiento posible sobre determinados aspectos para la toma de decisiones, en una manera informada, transparente y con visión de largo plazo. Los costos potenciales son múltiples, desde colateralidades indeseables que pudieron prevenirse o cuyo impacto pudo ser aminorado, hasta aspectos como la duplicidad de esfuerzos y por tanto de costos; la dispersión de esfuerzos; un (auto)limitado aprovechamiento de oportunidades para hacer llegar desarrollos tecnológicos socioambientalmente útiles a tiempo o en marcos temporales socioambientalmente adecuados; etcétera.

Sustituir la estructura científica actual por una receta de buenas intenciones sería inadecuado y casi imposible. Jesús Vega Encabo (en Broncano, 2009:52) propone

remplazar la racionalidad instrumental por un modelo donde la estructura del espacio social cobre mayor importancia y al interior del cual los individuos estén comprometidos a ejercer la *razón pública* en su actividad científica.¹⁵ Ello implicaría, por un lado, un ejercicio de diálogo participativo que logre integrar, pero también trascender la demostración experta de modo tal que el resultado sea útil para la toma de decisiones (incluyendo las políticas), esto es, que habilite la mejor información disponible en un momento dado como consecuencia de un proceso que parte de un consenso social mayoritario (Funtowicz y Strand, 2007). Por otro lado, demandaría la construcción de una ética en continuo cambio, de una ética especializada (enfocada en la resolución de dilemas éticos) hacia una ética cada vez más panorámica (interesada en problemáticas relativas a la propia lógica del avance tecnocientífico y que trata de contestar preguntas como ciencia para qué y para quién, a costo o a cambio de qué, entre otras cuestiones) (al respecto, léase Strand y Nydal, 2008; para una reflexión alrededor del caso de la nanomedicina: Delgado, 2011).

El rescate de dicha razón pública en un contexto en el que ha prevalecido la descalificación entre disciplinas, e incluso entre los individuos, se vuelve pertinente desde el replanteamiento de una autoridad epistémica no fija, sino renovada y en permanente construcción y enriquecimiento. Tal autoridad se manifiesta, según lo entendemos, como una entidad en el espacio de las relaciones interpersonales, espacio en el que se discuten temas en común y bajo principios racionales para la mayoría de los sujetos. Una esfera pública donde los sujetos se asocian de manera libre, guiando su conducta bajo ciertos principios que rigen las discusiones y que ciertamente habrá que construir sin que éstos tomen tintes restrictivos, sino más bien de guías que eviten anarquías y entropías comunicativas; pero, en todo caso, si bien se trata de ejercer la razón pública, es cierto que un consenso de mediana índole será siempre necesario para poder establecer márgenes de desplazamiento.

Ese camino se observa como fundamento clave para una cooperación fructífera entre los diversos actores involucrados en la conformación de la ciencia y la tecnología, pero también, con otros, dígame aquellos en los espacios de toma de decisiones.

DESCALIFICACIÓN *VERSUS* COMUNICACIÓN

Uno de los principales retos que enfrenta la gestión de producción de conocimiento de corte interdisciplinar, humanista y participativa es el trazo de puentes comunicativos. Tratar las razones y valoraciones de los otros como de peso similar a las propias parece una hazaña. ¿Cómo dotar de la misma pretensión de autoridad a las razones que no están en nuestra habitual línea de pensamiento? Aquí encontramos una parábola puesto que es más sencillo aceptar razones que están en función de nuestras preferencias, de nuestra visión del mundo, y, sin embargo, es la variabilidad en nuestras

¹⁵ Un cambio de tal naturaleza significa para Encabo la sustitución de la racionalidad instrumental por el ejercicio de la razón pública, un proceso dentro del cual la estructura del espacio social tenga un peso importante (en Broncano, 2009: 51). Para Broncano, la razón pública es el ejercicio de principios semejantes a los propuestos por Kant, consistente en las máximas del sentido común, presentes en los intercambios mundanos de los individuos, y que se presentan como inherentes al sujeto (*Ibid*). De tal manera, que la esfera pública se conforma por un ámbito social y uno político, que aplicado al terreno científico puede alimentarla con el planteamiento de conflictos surgidos en torno a la naturaleza individual y social del sujeto (*Ibid*).

preferencias y visiones las que nos llevan a plantear el fortalecimiento de la comunicación entre sujetos epistémicos de áreas distintas y lo que nos encamina hacia la posibilidad de construir un conocimiento más robusto.

De manera intrínseca, la disección y subespecialización de las disciplinas surgidas para conocer al mundo contribuyen al debate, ya que no sólo hablamos de una ciencia global, sino de jerarquías disciplinares, donde unas tienen mucho mayor peso epistémico que otras, así que el encuentro de todas en un punto de retroalimentación es un reto. Ello, como se ha precisado anteriormente, es incluso visible en la convergencia de la nanociencia y la nanotecnología con otras disciplinas o con otras tecnociencias (léase TCs). En este sentido, la metodología, los valores y objetivos “idóneos” de una sociedad que quiere transitar hacia un estadio pleno de la razón se convierten en un problema al momento de querer definir dicha ruta.

El establecimiento de puentes y puntos de entendimiento pretende sortear la autarquía absoluta de la tecnociencia, evitando que ésta encabece un poder sin regulación alguna en la vida común de los sujetos,¹⁶ de ahí que la alternativa esté en pensar en un sujeto genuinamente responsable; consciente de la inserción de sí mismo en aquel conocimiento que produce, capaz de reconocer las consecuencias positivas y negativas de su proceder, consciente del peso epistémico, político y social que tiene su actividad.

En tanto, la comunicación —el diálogo participativo— es la única actividad que puede retroalimentar la tarea científica porque permite eliminar los *excesos* e intentar contrarrestar lo que Ortega ha llamado la “barbarie del especialismo” (en Marcos, 2010), esto es, la tendencia hacia la uniformidad, al acotamiento de posibilidades, a la segregación. Se trata de un especialismo al interior del cual se erige la tecnociencia como un modelo a seguir; un autómatas, un *golem* (Collins y Pinch, 1998) y no como un ámbito o subsistema más que puede ser integrado a la vida humana, no como un fin último, sino como un elemento positivo de configuración social.

La búsqueda del equilibrio requiere el distanciamiento de la actitud de poder que algunas disciplinas han tomado sobre otras en un ejercicio para poder combatir las descalificaciones y fomentar el trabajo interdisciplinar y donde la actitud regulatoria y de guía provenga de los debates llevados a cabo entre distintas versiones del mundo. En este sentido, se convierte en una necesidad la integración de redes epistémicas alejadas de una visión de producción de conocimiento exclusivamente para la innovación tecnológica en sí misma. En cambio, se considera necesaria la gestión de la producción de conocimiento antes de la conformación y planteamiento de los proyectos, de tal modo que éstos respondan a las necesidades sociales más urgentes, esto es, de quienes al final le dan sentido a la producción de conocimiento.

La integración de la ciencia en el conjunto de la vida humana sólo puede conseguirse a partir del desarrollo del diálogo y la crítica al interior de la comunidad científica, y de ésta hacia fuera con el resto de la sociedad. Una perspectiva sistémica supondría la comprensión de una sociedad como un sistema compuesto de otros subsistemas, todos ellos relacionados entre sí. Aquí la importancia de disipar por completo la idea de una tecnociencia que tiene la autoridad y exclusividad de dirigir o definir en una u otra medida todos los diversos ámbitos de la vida; de una tecnocien-

¹⁶ Es decir, un contexto en el que en lugar de que la tecnociencia sirva al sujeto, el sujeto sirva a la tecnociencia (para una reflexión sobre la relación entre el sujeto investigador y objeto investigado, léase, por ejemplo, Latour (1979 y 2001).

cia sin errores, siempre capaz de manejar la incertidumbre, y con una bondad intrínseca para el desempeño de la esfera social.

En un primer acercamiento al diálogo, la descalificación requiere hacerse a un lado para dar paso a la posibilidad de otras visiones del mundo, mismas que no orlillen al sujeto a la aceptación sin reflexión ni diálogo, sino justamente al intercambio de ideas y el planteamiento de visiones conjuntas. La conformación del avance científicotecnológico como tecnociencia, como se ha dicho, ha traído consigo nuevos valores que no tienen por qué dictaminar un sistema cerrado. En cambio, los resultados de ese avance pueden ser medios para la interrelación de las distintas áreas del conocimiento.

Sin embargo, es la visión de un sistema global la que ha problematizado la llegada de la tecnociencia, pues la ha llevado a establecer un conflicto con la esfera del saber. De manera que, la absolutización de la esfera del saber reduce la esfera de la moral a la intimidad de los individuos, anula las posibilidades de una discusión pública, de carácter panorámico, y la convierte en una cuestión de preferencia o disyuntivas éticas particulares.

La moral se convierte entonces en un asunto que se explica desde una perspectiva científica, que incluso puede ser manipulada y modulada de manera técnica, con argumentos neurofisiológicos, psicológicos o sociológicos, que luchan por una tecnificación del individuo, quien sólo se reduce a responder a fórmulas implantadas por la naturaleza, misma que parte de una interpretación del sujeto epistémico. Si bien no todos los esquemas de innovación tecnológica calzan del todo con este esquema, sí existen interpretaciones cercanas como las propuestas del uso de las tecnologías convergentes para el mejoramiento humano o nociones que hablan del (re)diseño de la materia a escala atómica para mejorar a la naturaleza (de ahí se derivan propuestas nano denominadas *biobimicry* —o *biomimetics*—, esto es, imitar a tales escalas “las mejores ideas de la naturaleza”, mejorándola o adaptándola).

Por tanto, consideramos que el diálogo permite plantear situaciones relacionadas con el impacto de la investigación científica —dígase en este caso de las tecnologías convergentes a la escala nano— en los valores socialmente reconocidos, tales como los derechos humanos, la dignidad, la salud o la seguridad, entre otros; áreas que suelen estar delimitadas por fronteras sociopolíticas, jurídicas o económicas.

El diálogo parece ser la manera más efectiva, sino es que la única deseable para alinear la balanza y establecer un debate que impulse la producción y gestión del conocimiento desde un punto de vista que garantice, en la medida de lo posible, que la ciencia y la tecnología beneficie efectivamente los intereses de la gran mayoría, al tiempo que mantenga una armonía con la naturaleza y que es marco primero y último de referencia de la vida misma.

La acción comunicativa no persigue finalidades funcionales, tampoco se atiene a criterios estratégicos, en todo caso, busca el genuino entendimiento. Es todo un reto que sin duda alguna se debería atender, sobre todo por parte de las nuevas tecnologías y en particular de aquellas que se construyen sobre la base de la convergencia.

REFLEXIONES FINALES

A principios del siglo XXI, con el empuje de las llamadas tecnologías convergentes, viene quedando patente el hecho de que el quehacer político está siendo rebasado por el

alto grado de complejidad e incertidumbre que ha alcanzando, desde hace ya un tiempo la tecnociencia. Esto es no sólo por la cada vez más complicada toma de decisiones, sino porque pone en cuestión una serie de *hechos* y *valores* medidos subjetivamente desde nuestra limitada proximidad temporal como individuos que construimos tan sólo un momento de la historia (pero que sin duda llegan a tener repercusiones de largo plazo).

De frente a tal situación se han desarrollado diversas propuestas que puedan hacer “más manejables” la incertidumbre y los conflictos de valores a través de abrir el proceso de evaluación (y, consecuentemente, en una u otra forma el de asesoría política) (Funtowicz y Ravetz, 1990; Funtowicz y Strand, 2007; Gibbons *et al.*, 1997; Wickson, 2011); un señalamiento valioso en sí mismo, independientemente de las particularidades de cada propuesta. La idea, en términos generales, es no asumir los ‘hechos’ como dados y la de incluir, por la vía de un amplio dialogo participativo, la diversidad de ‘valores’ que comprende una problemática dada.

Así, partiendo de la noción de la necesidad de abrir este proceso a través del establecimiento de un diálogo social ‘genuino’ y la deconstrucción del dualismo del ‘experto’ (cómo se define quién es experto y cómo se determina cuál o cuáles son las evaluaciones, aproximaciones y procedimientos correctos), se hace una propuesta epistemológica normativa *del cómo* proceder para abrir el sistema de evaluación de ‘pares válidos’ cuando hay una fuerte incertidumbre (Funtowicz y Ravetz, 1990).

La necesidad de este ejercicio se establece cuando se observa un incremento cada vez mayor de un discurso que llama a la participación extendida, misma que es entendida como el dar a las partes ‘no expertas’ el *potencial* derecho de voz en un contexto en el que dicha participación está determinada por los expertos y sus diversas jerarquías, de modo que siguen siendo los que definen los parámetros, las aproximaciones y las partes participantes.

En el caso de los ejercicios de evaluación de la incertidumbre, como es el caso de la nanotecnología u otras tecnologías que conforman las TCs, se observa una gran variedad de versiones que en su mayoría siguen atadas, en un grado u otro, al proceder del experto tradicional pese a que en efecto aumentan las iniciativas que rompen con la disciplinariedad y con la comunicación reducida a pares afines, esto es, entre las ciencias naturales, exactas y las ingenierías, dejando de lado las ciencias sociales y las humanidades. El llamado al diálogo y al debate público sobre los aspectos éticos, sociales y ambientales de la nanotecnología sigue en general impregnado de esos parámetros cuando establece un encuadre particular *a priori* (explícito y/o implícito), dígame por ejemplo de las ‘partes’ participantes, las cuestiones que se consideran relevantes, el contexto de debate y del diálogo.

Es un panorama en el que concordamos con Strand cuando precisa que:

[...] mientras unos sugieren la necesidad de una plataforma de conocimiento estratégico sobre las percepciones del público, desde la cual se pueda actuar sobre éstas y modificarlas, otros prefieren mantener el caso abierto independientemente de si el público tiene buenas o malas razones para estar en contra[...] enfatizando la necesidad de comprender y aprender a partir del análisis de las diversas perspectivas que están presentes en el debate. La mayoría tendería a coincidir, sin embargo, en que la situación actual de desconfianza entre el público y el *establishment* tecnológico es altamente indeseable y costosa. (Strand en: Foladori e Invernizzi, 2006: 53-54)

Lo anterior significa que en el avance de las TCs, en conjunto o de manera individual —nanotecnología, biotecnología, etcétera—, la justificación de su avance, del

gasto destinado y su composición (que implica destinar recursos a cambio de algo más o con énfasis en ciertas cuestiones), así como las propias limitaciones y expectativas, deben ser ampliamente comunicadas, dialogadas y consensuadas socialmente.

El papel y la participación del “gran público” es pues crucial e inevitable, aunque desde luego en el proceso se requiere, entre otros aspectos y tal y como sugiere Wynne (en Rip *et al.*, 1995), de una distinción entre conocimiento real del riesgo y percepciones subjetivas, no sólo en el caso de “la agenda” del público en general, sino las de todos los grupos y subgrupos que componen el tejido de hombres y mujeres de ciencia.¹⁷

El futuro, más allá de las TCs y del sistema actual de producción, está en nuestras manos, sea para bien o para mal; para su gestión en colectivo o por grupos jerárquicos particulares. En cualquier caso, si se piensa en un contexto democrático, la construcción colectiva de la *conciencia social*¹⁸ se perfila como la punta de lanza para la búsqueda y edificación de proyectos más coherentes y robustos, así como socioambiental y democráticamente responsables.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnaldi, Simone., Delgado, Gian Carlo., Piccinni, Mariassunta., Poletti, Piera. (eds.). (2011). *Nanomedicina. Entre políticas públicas y necesidades privadas*. CEIICH, UNAM/CIGA, Universidad de Padua. México.
- Baum, Rudy. (2003). “Drexler and Smalley make the case for and against ‘molecular assemblers’”. *Chemical & Engineering News*, vol. 81, núm. 48: 37-42.
- Beck, Ulrich. (1992). *Risk society: Towards a new modernity*. Sage. Londres, Reino Unido.
- Bierstedt, Robert. (1966). *Emile Durkheim*. Dell Publishing Co. New York, EUA.
- Bibel, Wolfgang (editor y rapporteur). (2004). *Converging technologies and the natural, social and cultural world*. Special Interest Group for European Comisión via an Expert Group on Foresighting the New Technology Wave.
- Bouchard, Raymond. (2003). *Bio-systemics síntesis*. Science and Technology Foresight Pilot Project. Reporte núm. 4. Canadian National Research Council. Canadá.
- Broncano, Fernando. (2009). *La ciencia y sus sujetos*. Siglo XXI, México.
- Collins, Harry y Pinch, Trevor. (1998). *The Golem: What you should know about science*. Cambridge University Press, Reino Unido.

¹⁷ El autor suscribe textualmente en torno a la conflictividad de las percepciones de los “expertos” y del “público corriente” que: “...either of these conflicting judgements or models is legitimate and arguable; there is relevant evidence to deploy, and structure to the institutional debate which would need to be articulated amongst the different parties. However the expert framing is no more objectively grounded nor automatically superior, just because it commands the rhetoric of asocial objectivity. A resolution of this controversy would have to be negotiated, not imposed a priori by defining it as a dispute between real risk-knowledge and mere subjective perceptions. A learning process would have to encourage each party to recognise, articulate and debate the unrecognised social models, assumptions and commitments tacitly shaping its factual discourse. These are not ‘impacts’ models, but become prescriptive ordering commitments.” (Wynne en: Rip *et al.*, 1995: 27).

¹⁸ Se sigue la sugerencia de Durkheim sobre su conceptualización de “conciencia colectiva”: aquella que se piensa como la *conciencia social total*, en la que es imposible pensar en uno mismo sin pensar en los demás. Si bien es cierto que la conciencia colectiva es totalmente diferente a la conciencia individual; en efecto, no se puede llegar a ella si no es a partir de esta última. La conciencia colectiva si bien no se mantiene constante a lo largo de la historia del ser humano, siempre es la misma para el conjunto social y nunca pierde su carácter colectivo. Véase: Bierstedt (1966: 64-84).

- Delgado-Ramos, Gian Carlo. (2002). *La amenaza biológica: mitos y falsas promesas de la biotecnología*. Plaza y Janés, México.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2008). *Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. CEIICH, UNAM, México.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2010). "Ciencia, tecnología y competitividad del aparato tecnocientífico y productivo estadounidense." *Norteamérica. Revista académica del CISAN-UNAM*, año 5, núm. 2, México, julio-diciembre.
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2011). "Implicaciones éticas, economicosociales y legales de la nanomedicina: el caso de México", en: Arnaldi, Simone., Delgado, Gian Carlo., Piccinni, Mariassunta., Poletti, Piera. (eds.). *Nanomedicina. Entre políticas públicas y necesidades privadas*. CEIICH, UNAM/CIGA, Universidad de Padua. México: 67-112.
- Di Trocchio, Federico. (1995). *Las mentiras de la ciencia*. Alianza Editorial, Madrid, España.
- Dupuy, Jean Pierre. (2000). "Do we shape technologies, or do they shape us?" en: Dupuy, Jean Pierre, *The mechanization of the mind*. Princeton: Princeton University Press. EUA.
- Dupuy, Jean-Pierre. (2004). *Complexity and uncertainty. A prudential approach to nanotechnology*. Presentación escrita en la reunión "Mapping out nano risks" de la Dirección General de Salud y Protección al Consumidor de la Comisión Europea. 1-2 de marzo.
- Dupuy, Jean Pierre y Grinbaum, Alexei. (2004). "Living with uncertainty: Toward the on-going normative assessment of nanotechnology". *Techné*, vol. 8, núm 2, invierno.
- Etzkowitz, Henry. (1994). "Academic-industry relations: A sociological paradigm for economic development", en Leydesdorff y Van den Besselaar (eds.), *Evolutionary economics and chaos theory: New directions in technology studies*. Pinter, Londres, Reino Unido.
- Echeverría, Javier. (2003). *La revolución tecnocientífica*. FCE, España.
- Funtowicz, Silvio y Ravetz, Jerome R. (1990). *Uncertainty and quality in science for policy*. Kluwer Academic. Londres, Reino Unido.
- Funtowicz, Silvio y Strand, Roger. (2007). "De la demostración experta al diálogo participativo". *Revista CTS*, vol. 3 núm. 8: 77 - 113. España, abril.
- Foladori, Guillermo e Invernizzi, Noela (coords.) (2006). *Nanotecnologías disruptivas. Impactos sociales de las nanotecnologías*. Porrúa, México.
- Gibbons, Michael et al. (1997). *La nueva producción del conocimiento*. Pomares-Corredor. Barcelona, España.
- Kjolberg, Kamilla; Delgado, Gian Carlo; Wickson, Fern; Strand, Roger. (2008). "Models of governance for converging technologies". *Journal of Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 20: 83-97, Routledge, Reino Unido.
- Kuhn, Thomas S. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. FCE, México.
- Latour, B., y Woolgar, S. (1979) *Laboratory life*. Sage, Londres.
- Latour, Bruno. (2001). *La esperanza de Pandora*. Gedisa, España.
- Melman, Seymour. (1970). *Pentagon capitalism*. McGraw-Hill Paper Backs, Nueva York, EUA.
- McGrath, Patrick J. (2002). *Scientist, business and the State*. The University of North Carolina Press, EUA.
- Marcos, Alfredo. (2010). *Ciencia y acción*. FCE, México.

- Nordmann, Alfred (*rapporteur*). (2004). *Converging technologies-Shaping the Future of european societies*. Comisión Europea, Bruselas.
- Pérez, Carlota. (2004). *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*. Siglo XXI, México.
- Ravetz R. Jerome (1971). *Scientific knowledge and its social problems*. Oxford University Press, Nueva York, EUA.
- Ravetz, Jerome y Strand, Roger. (2007). "De la demostración experta al diálogo participativo". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 3, núm. 8. Buenos Aires, Argentina.
- Rip, Arie, Misa, Thomas y Schot, Johan. (1995). *Managing technology in society. The approach of constructive technology assessment*. Pinter, Londres, Reino Unido.
- Roco, Mihail, C. y Bainbridge, William. (2002). *Converging technologies for improving human performance*. National Science Foundation. EUA, junio.
- Roco, Mihail, Mirkin, Chad y Hersam, Mark. (2010). *Nanotechnology research directions for societal needs in 2020*. Springer. EUA.
- Rose, Hilary, y Rose, Steven. (1980). *La radicalización de la ciencia*. Nueva Imagen, México.
- Sölvell, Örjan. (2008). *Clusters. Balancing evolutionary and constructive forces*. Ivory Tower Publishers. Estocolmo, Suecia.
- Strand, Roger y Ungar, Paula. (2005). "Complejidad: una reflexión desde la ciencia de la conservación". *Nómadas*, abril, 36-46.
- Strand, Roger y Nydal, Rune. (2008). "Nanoética buena-nanotecnología buena". *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria de Nanociencia y Nanotecnología*, vol 1, núm. 1. nanoUNAM, México: 61-79.
- Takeuchi, Noboru (coord.). (2011). *Nanociencia y nanotecnología. Panorama actual en México*. CEIICH-UNAM. México.
- Wickson, Fern. (2011). "Gobernanza nanotecnológica: por qué no podemos confiar en evaluaciones de riesgo científicas". *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, vol. 4, núm. 1, enero-junio: 33-56.
- Wynne, Brian. (1992). "Uncertainty and environmental learning". *Global Environmental Change*, vol. 2, núm. 2, junio.
- Wynne, Brian (*chairman*). (2007). *Taking european knowledge society seriously*. Comisión Europea. Informe del Grupo de Expertos en Ciencia y Gobernanza. Bélgica.

LIBROS E INFORMES

ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN SOBRE LOS ASPECTOS AMBIENTALES, DE SALUD Y SEGURIDAD DE LOS NANOMATERIALES

COMITÉ PARA EL DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN SOBRE LOS ASPECTOS AMBIENTALES, DE SALUD Y SEGURIDAD DE LOS NANOMATERIALES

NATIONAL RESEARCH COUNCIL

NATIONAL ACADEMIES PRESS

WASHINGTON, EUA

2012

Durante la última década, las agencias gubernamentales, las instituciones académicas, la industria y otros actores han llevado a cabo diversas evaluaciones sobre los aspectos medioambientales, de la salud y acerca de la seguridad de la nanotecnología. Sin embargo, pese a los avances en la evaluación de las necesidades de investigación y aun cuando la investigación ha sido financiada en cierta medida, los desarrolladores, reguladores y consumidores aún tienen dudas sobre los tipos y cantidades de nanomateriales que se comercian o se están desarrollando, sobre sus posibles aplicaciones y su riesgos asociados. Para hacer frente a estas incertidumbres, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EUA solicitó al Consejo Nacional de Investigación que llevara a cabo un estudio independiente para desarrollar y supervisar la aplicación de una estrategia integrada de investigación para abordar los aspectos de EHS de nanomateriales.

La publicación reporta los resultados obtenidos. Establece un marco conceptual para la estrategia de investigación propuesta e identifica las brechas críticas de investigación y las herramientas necesarias para hacerles frente. Identifica investigaciones de alta prioridad que deben llevarse a cabo en el corto y largo plazo y los recursos necesarios. Concluye con una discusión sobre los mecanismos necesarios para garantizar la aplicación efectiva de la mencionada estrategia de investigación.

A Research Strategy for Environmental, Health, and Safety Aspects of Engineered Nanomaterials

Committee to Develop a Research Strategy for Environmental, Health,
and Safety Aspects of Engineered Nanomaterials

Board on Environmental Studies and Toxicology

Board on Chemical Sciences and Technology

Division on Earth and Life Studies

National Materials and Manufacturing Board

Division on Engineering and Physical Sciences

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
OF THE NATIONAL ACADEMIES

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS
Washington, D.C.
www.nap.edu

§

http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13347#toc

FOSTERING NANOTECHNOLOGY TO ADDRESS GLOBAL CHALLENGES: WATER
OCDE
PARÍS, FRANCIA
2011

Evalúa el potencial de materiales nanoestructurados para la remediación y potabilización de agua, sobre todo en tecnologías para filtración y de catalizadores para neutralizar químicos y microorganismos. Asimismo, reconoce el potencial de usar nanosensores para mejorar la gestión del agua en la agricultura, por ejemplo, pero también para medir niveles de contaminación y poderlos tratar con mayor efectividad. El propósito de la publicación es proveer un panorama completo de los múltiples esfuerzos en la investigación en este rubro, no sólo en innovación sino también en cuestiones de potenciales riesgos en el uso de las nanotecnologías en el sector agua.

Se identifican también los retos en la transferencia tecnológica, las limitaciones de acceso al conocimiento y la comunicación entre investigadores, ingenieros, administradores del recurso y los usuarios. También se analiza la viabilidad económica de la implementación de las nanoinnovaciones en el rubro en cuestión, las guías de ruta para la innovación futura. Advierte la necesidad de avanzar en la investigación mediante la colaboración a nivel nacional e internacional.

Fostering Nanotechnology to
Address Global Challenges:

Water



§

[http://www.oecd.org/
dataoecd/22/58/47601818.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/22/58/47601818.pdf)

NANOTECHNOLOGIES

ACADÉMIE UNIVERSITAIRE LOUVAIN

RESEARCH ADMINISTRATION DEPARTMENTS. FACULTÉS UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX Y UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LOVAINA

LOVAINA LA NUEVA

ENERO DE 2011

El principal objetivo de este libro es revisar el estado del arte que ha alcanzado la nanotecnología, dando cuenta de las enriquecedoras sinergias existentes y en la promoción de colaboraciones dentro y fuera de la academia, esto último con la intención de promover la innovación industrial mediante el acercamiento de los actores privados con la academia. Para ello, procura mostrar las capacidades de la academia de la Universidad de Lovaina en el desarrollo de las nanotecnologías. Es por tanto una obra que permite conocer la radiografía del potencial nanotecnológico en dicha región belga.

Se revisa el desarrollo de nanomateriales, desde nanoestructuras híbridas funcionales, nanotubos y composites, entre otros. El avance en películas delgadas y recubrimientos, nanoelectrónica y fotónica, nanomedicina, nanotoxicología y aspectos legales y riesgos. Asimismo, se revisan las actividades en simulación y modelaje y técnicas de caracterización. En cada sección se da cuenta de los principales actores involucrados, del equipo utilizado, las colaboraciones existentes y las patentes obtenidas.

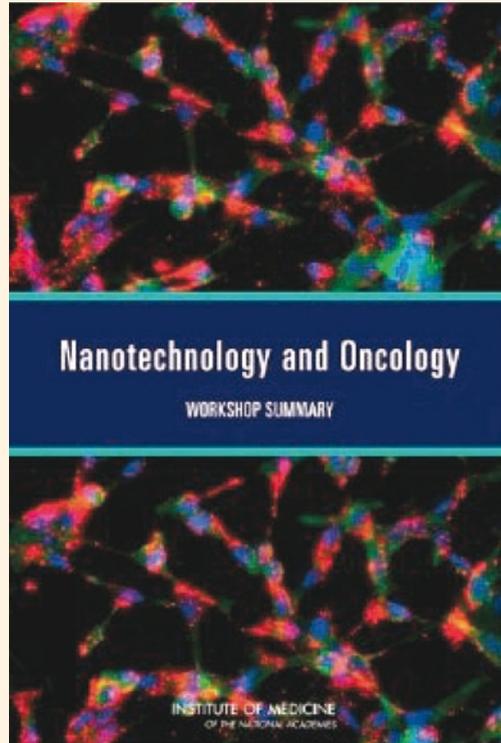


NANOTECNOLOGÍA Y ONCOLOGÍA
PATLAK, MARGIE Y MICHEEL, CHRISTINE
THE NATIONAL ACADEMIES PRESS
WASHINGTON, EUA
2011

El libro indaga sobre el potencial de la nanotecnología en la oncología, y en particular en la prevención, diagnóstico y tratamiento del cáncer. Ofrece una revisión de la investigación y desarrollo de frontera en nuevas (nano)medicinas para el cáncer, los retos y las soluciones que se avizoran, incluyendo las estrategias para la mejora del blanqueo con nanopartículas, el diseño de nanomateriales complejos para aplicaciones médicas, la transición del laboratorio a la manufactura y la construcción de puentes entre múltiples disciplinas para hacer realidad dicho potencial.

Revisa los potenciales riesgos y beneficios asociados al uso de la nanotecnología en la medicina, la necesidad de avanzar en la investigación en biodistribución y toxicología; en asuntos de seguridad ocupacional y, en general, sobre la seguridad de la nanomedicina. Para ello, se discute la relevancia de la estandarización y la regulación en el contexto de EUA, así como la necesidad de abrir el tema de la nanotecnología al público, desde una visión que procure educar al público y así promover la aceptación de la nanotecnología.

La memoria que resume el informe adelanta la necesidad de explorar otras aplicaciones relacionadas con la oncología. Por ejemplo, el uso de nano-empaquetamiento que permita mantener activos los nutrientes anticancerígenos de ciertos alimentos; el desarrollo de suplementos alimenticios mejorados a la nanoescala; entre otras cuestiones, como retos que se observan para la conformación de capital semilla, como en la in-



roducción de las nanoinnovaciones en las propias prácticas del sector salud.

§

http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13037

PRODUCCIÓN RESPONSABLE Y USO DE NANOMATERIALES.

IMPLEMENTANDO EL CUIDADO RESPONSABLE

2DA ED.

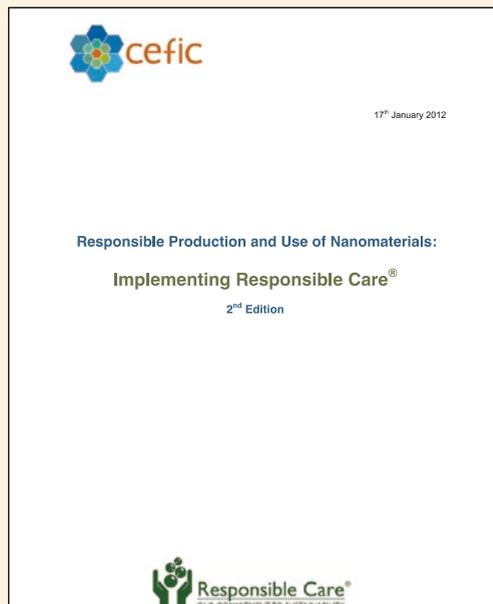
RESPONSIBLE CARE

1 DE ENERO 2012

Breve reporte sobre el estado de la investigación y toma de medidas por parte de la industria química para el cuidado responsable tanto del medio ambiente, como de la salud y la seguridad, en el uso de nanomateriales.

Presenta los principios de responsabilidad planteados por dicho sector, las iniciativas de investigación y financiamiento existentes tanto en colaboración con organismos multinacionales como de manera individual a nivel de las compañías. Se trata de un informe útil desde el punto de vista en que concentra diversos recursos de información que se pueden consultar en línea.

§
[http://www.cefic.org/Policy-Centre/
Innovation/Nanomaterials/Documents/](http://www.cefic.org/Policy-Centre/Innovation/Nanomaterials/Documents/)



QUANTUM ENGAGEMENTS. SOCIAL REFLECTIONS OF NANOSCIENCE AND EMERGING TECHNOLOGIES

ZÜLSDORF, ET AL.

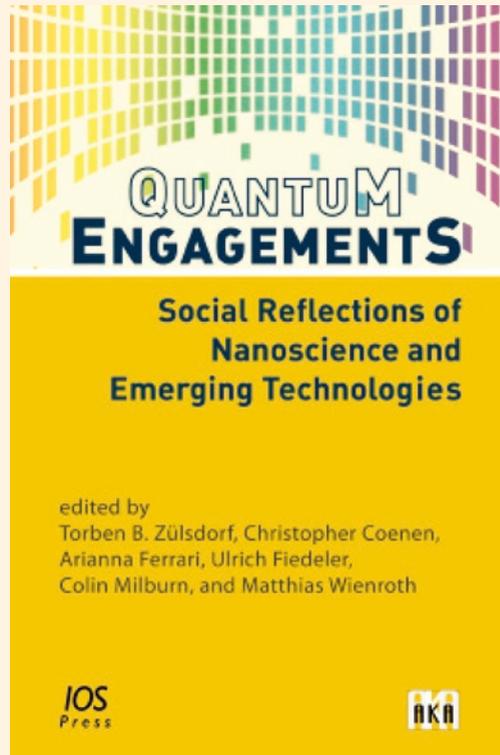
BERLÍN: AKA VERLAG. IOS PRESS

AMSTERDAM, HOLANDA

2011

Hoy en día, la nanociencia y las nuevas tecnologías navegan cada vez más adentro del tejido social. Las innovaciones científicas y tecnológicas a la escala infinitesimal de la materia tienen ya implicaciones culturales, políticas y filosóficas de extraordinario alcance. Se extienden desde la escala molecular a la escala mundial, de los embrollos físicos de las partículas subatómicas a los embrollos fiscales de los mercados transnacionales. La necesidad de un análisis fino se torna pues cada vez más evidente. Con tal intención, la obra aborda la cuestión de la participación mediante el trabajo de abajo hacia arriba: lidiando con las operaciones particulares y discretas de la nanotecnología y los campos relacionados con el fin de evaluar la forma cómo estas operaciones modelan y son moldeadas por las prácticas de la cultura participativa y la sociedad civil. Se abre hacia el exterior de las interacciones mínimas y locales, con las ciencias moleculares —atendiendo a la necesidad de interacciones a la escala cuántica— y se expande a través de las dimensiones de la historia, el discurso público, la ecología y la economía política.

Reflejando las complejidades sociales de nuestro mundo de alta tecnología, los ensayos de esta obra participan en el proyecto de articular nuevas formas de gobernanza tecnocientífica. Al reunir las contribuciones y perspectivas de los expertos en las ciencias sociales, las humanidades y las ciencias naturales, el libro muestra las actividades de investigación en curso por parte de los integrantes de la Sociedad para el Estudio de la Nanociencia y las Tecnologías Emergentes.



ETHICS AND NANOTECHNOLOGY

MALSCH, INEKE

MALSCH TECHNOVALUATION

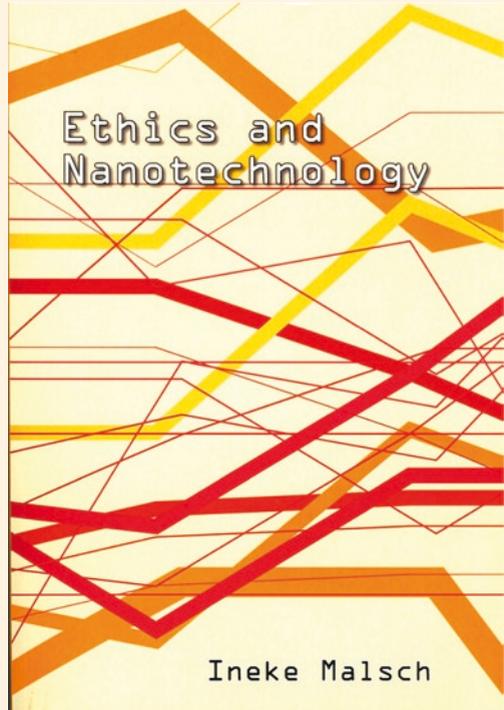
HOLANDA

2011

Examina cómo la buena gobernanza ética de la nanotecnología puede ser posible en el orden mundial actual. Esta pregunta central de investigación se inspira en el tema principal de la agenda de los responsables políticos nacionales e internacionales en la última década. Para la autora, una de las interrogantes principales es cómo en el caso de la nanotecnología se puede evitar cometer el mismo error que sucedió con los organismos genéticamente modificados (OGMs) en Europa. Y es que pese a las grandes inversiones públicas y privadas que se hicieron en el desarrollo de OGMs, la introducción en el mercado fue inhibida fuertemente por la resistencia del público. Con el fin de resolver la cuestión de la gobernanza de la nanotecnología, una amplia gama de debates y proyectos se han iniciado. La autora ha participado en estas discusiones e investigaciones como consultor durante 15 años. El trabajo contiene así un intento de presentar el debate en todas sus amplias facetas en diferentes partes del mundo. El énfasis está en las diferencias y puntos en común entre los países y a nivel internacional. En particular, una selección de casos se investiga desde una perspectiva éticafilosófica. La obra cierra su reflexión con el tema de la gobernanza y hace una propuesta que contribuye con el debate en curso.

§

http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~580~.html?action=longview_publication&



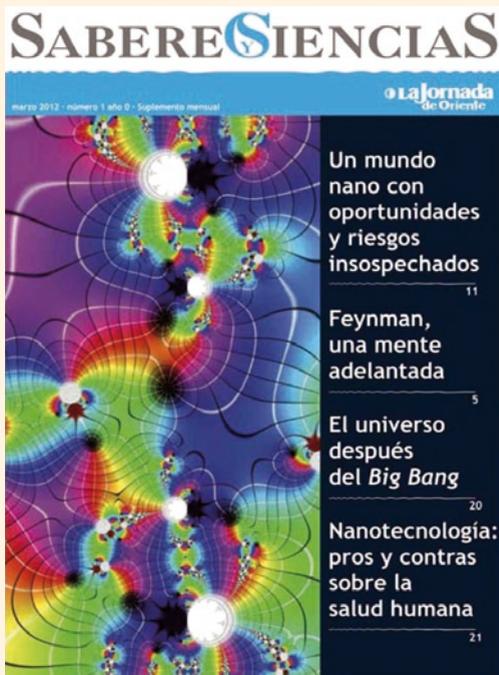
SABERES Y CIENCIAS
LA JORNADA DE ORIENTE
SUPLEMENTO MENSUAL DE LA JORNADA
MARZO 2012
MÉXICO

En esta ocasión, el suplemento *La Jornada de Oriente* difunde conocimientos generados en el entorno de la nanociencia y la nanotecnología.

Dentro de este número, nos ofrece los siguientes artículos: “Los retos para México en nanociencia y nanotecnología”, de José Luis Terrones; “Nanotecnología. Pequeñas escalas y grandes negocios”, de Rubén Ortigoza Limón; “La nanomedicina”, de Rafael H. Pagán Santini; “Nanociencia y nanotecnología: el camino de la riqueza”, de Miguel A. Méndez Rojas; “Implicaciones, riesgos y regulación del negocio nano”, de Gian Carlo Delgado Ramos; “Nanotecnología. Pros y contras sobre la salud humana”, de Teresa de Jesús Palacios Hernández; “Nanotecnología en la UNAM”, de Rafael H. Pagán Santini; y, “Desarrollando ciencia”, de Máximo Romero.

§

<http://www.lajornadadeoriente.com.mx/media/multimedia/archivos/saberes%20y%20ciencias%20marzo%202012%20xyz-20120329-045037.pdf>



INSTRUCTIVO PARA AUTORES

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

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

CARTAS DE LOS LECTORES

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

NOTICIAS

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

ARTÍCULOS

Artículos de divulgación sobre aspectos científicos y tecnológicos, político-económicos, éticos, sociales y ambientales de la nanociencia y la nanotecnología. Deben plantear aspectos actuales del tema escogido y dar toda la información necesaria para que un lector no especialista en el tema lo pueda entender. Se deberá hacer hincapié en las contribuciones de los autores y mantener una alta calidad de contenido y análisis. (Deberán iniciar con el resumen y palabras clave en español seguidos del respectivo abstract y keywords en inglés).

RESEÑAS DE LIBROS

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

IMÁGENES

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

MECANISMO EDITORIAL

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

afín al tema del artículo y con copia a mundono@cny.unam.mx.

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

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

▼ 2 al 6 de julio de 2012

7mo Grupo de Trabajo Internacional en Espectroscopía a la Nanoescala y Nanotecnología



ZÜRICH, SUIZA
INSTITUTO FEDERAL DE TECNOLOGÍA DE ZÜRICH E INSTITUTO PAUL SCHERRER.
[HTTP://INDICO.PSI.CH/CONFERENCEDISPLAY.PY?CONFD=1381](http://indico.psi.ch/conferenceDisplay.py?confId=1381)

▼ 20 al 23 de agosto de 2012

IEE NANO 2012



BIRMINGHAM, UK
INSTITUTO DE FÍSICA-GRUPO DE FÍSICA A LA NANOESCALA Y TECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE BIRMINHAM
[HTTP://WWW.IEENANO2012.ORG/](http://www.ieenano2012.org/)

▼ 26 al 31 de agosto de 2012

XI Conferencia Internacional en Materiales Nanoestructurados



RHODES, GRECIA
[HTTP://WWW.NANO2012.ORG/](http://www.nano2012.org/)

▼ 13 al 15 de noviembre de 2012

MINATEC



GRENOBLE, FRANCIA
[HTTP://WWW.NANOSAFE.ORG](http://www.nanosafe.org)



SEMANA DE LA NANOCIENCIA Y LA NANOTECNOLOGÍA EN MÉXICO



11 AL 15 DE JUNIO 2012
PUEBLA, PUEBLA, MÉXICO

1er. Simposio Iberoamericano de Divulgación y Formación en Nanotecnología
2da. Reunión de Coordinación de la Red NANODYF-CYTED

NanoMex12, 5to. Encuentro Internacional e Interdisciplinario en Nanociencia y Nanotecnología
2da. Reunión de la Red de N y N del Conacyt

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

Sede: EDIFICIO CAROLINO
BUAP
Calle 4 Sur 104
Colonia Centro Histórico
Puebla, Pue.

www.ifuap.buap.mx/nanopuebla2012/

Fecha límite para recepción de propuestas oral y poster 10 de abril.

NanoMex12 invita a los Cursos:

- Escritura de texto científico
- Nanociencia y nanotecnología para principiantes
- Síntesis controlada del tamaño y morfología de nanoestructuras

que se realizarán el día 13 de junio de 2012.

Informes:

Dr. Gregorio Hernández Coccoletzi
Instituto de Física, BUAP
Puebla, Puebla
Tel. 01 (222) 229 56 10
coccoletz@ifuap.buap.mx

Dr. Noboru Takeuchi
Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM
Ensenada, Baja California, México
Tel. 01 (646) 174 46 02
takeuchi@cenn.unam.mx

Dr. Gian Carlo Delgado Ramos
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM
Tel. 01 (55) 56 23 02 22
giandelgado@unam.mx



