

MATERIALES avanzados

Instituto de Investigaciones en Materiales ■ UNAM

Año 4 ■ Núm. 8 ■ Febrero 2007

ISSN 1665-7071



Cosméticos en la mira: los parabenos y el cáncer ■ Sobre la electroquímica y los materiales ■ Nanocúmulos de silicio: hacia el láser de silicio ■ Los polímeros iónicos y sus propiedades en la adsorción selectiva de metales pesados ■ Los nuevos materiales en arquitectura y construcción de edificios en México ■ Unos cuantos versos y un consejo

Programa de
Maestría y Doctorado en

Ciencias QUÍMICAS

Entidades participantes:

- Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán
- Facultad de Química
- Instituto de Ciencias Nucleares
- Instituto de Investigaciones en Materiales
- Instituto de Química

Más de 130 tutores que realizan investigación en todas las áreas de la Química.
Becas de CONACYT para alumnos con promedio mínimo de 8.
Doctorado evaluado por el CONACYT como competente a Nivel Internacional.

Registro al examen de admisión
en septiembre y mayo

Información detallada en:

<http://cienciasquímicas.posgrado.unam.mx>



Universidad Nacional Autónoma de México
Convoca a los aspirantes a ingresar al Programa de Estudios
de Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales,
Doctorado y Maestría
Semestre Escolar 2007-2

El Posgrado cuenta con áreas de conocimiento en materiales:
cerámicos, complejos, electrónicos, metálicos y poliméricos

Sedes:

- Ciudad Universitaria, ubicada en la Ciudad de México, Distrito Federal pceim@www.posgrado.unam.mx
- Centro de Ciencias de la Materia Condensada, ubicado en la Ciudad de Ensenada, Estado de Baja California heiras@ccmc.unam.mx
- Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, ubicado en Campus UNAM de Juriquilla, Qro. castano@fata.unam.mx
- Centro de Investigación en Energía, ubicado en la Ciudad de Temixco, Estado de Morelos. wrgf@cie.unam.mx

CALENDARIO

Cursos Propedéuticos:
Registro definitivo de aspirantes:
Reunión Informativa para aspirantes:
Exámenes de diagnóstico:
Entrevista con el Subcomité de Admisión y Becas:
Publicación del resultado final del proceso de admisión:
Inicio del semestre:
Fin de curso:

REGISTRO DE ASPIRANTES:

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM,
Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-360, Coyoacán, 04510,
México, D. F.
Tel: 56224731, Fax: 56224730

Presentación

MATERIALES avanZados es una revista de divulgación cuya finalidad es difundir, entre investigadores y estudiantes de posgrado, las últimas noticias del mundo de los materiales. Los artículos se presentan en un lenguaje accesible e inteligible para aquellos que estamos acostumbrados a hablar y leer sobre la ciencia.

En este número presentamos materiales con cáncer, con electroquímica, con arquitectura, con silicio y plásticos. Cada uno de ellos tiene un lugar en la sociedad. Los parabenos se utilizan en la fabricación de cosméticos y parece que son cancerígenos (¿ya revisaste los ingredientes de la crema que utilizas todos los días?). En las construcciones los materiales son diversos. Los de silicio se utilizan en la búsqueda de nuevos láseres, mientras que los polinorbornilenos podrían servir para quitar metales pesados de sitios contaminados. Los que participan en procesos electroquímicos sirven también para estudiar la corrosión.

Además de estos artículos, presentamos las reseñas de los mejores trabajos de doctorado, tesis que fueron premiadas por nuestro instituto en el certamen del año pasado. También se incluye una presentación sobre las investigadoras del instituto que han sido galardonadas con el “Reconocimiento Juana Ramírez de Asbaje”, que se otorga a las universitarias sobresalientes en sus áreas de conocimiento y en sus ámbitos de desempeño profesional. Para terminar, o quizá para empezar, encontramos la reseña escrita por Carlos Amador y titulada “La humanidad es una vieja plaga” que está, entre otras cosas, divertida. Así, esperamos que todos disfruten la lectura de este nuevo número.

Aprovechamos esta presentación para agradecerle al doctor Doroteo Mendoza López su participación invaluable como parte del comité editorial de esta revista. Asimismo presentamos al nuevo editor, el doctor Juan Hernández Cordero, experto en fibras y propiedades ópticas, quien a partir del siguiente número formará parte de este comité. No nos resta más que darle las gracias a Doroteo y la enhorabuena a Juan.

Instrucciones para los autores

MATERIALES avanZados es una revista de divulgación científica, cuyo propósito es mostrar y discutir los descubrimientos en el área de la investigación en materiales. Los artículos y las secciones recurrirán al lenguaje científico especializado, necesario para mantener el rigor del tema. El principal objetivo de la revista es el de difundir información sobre materiales entre lectores habituados a los temas de investigación.

La revista se publica en español, cada seis meses.

Elaboración de los textos

Se consideran dos tipos de secciones:

a) Artículos cortos, de un máximo de 8,000 caracteres (contando espacios), que ocuparán cuatro páginas de la revista.

b) Artículos largos, con un máximo de 20,000 caracteres (contando espacios) que aparecerán en 10 páginas de la revista.

Siendo ésta una revista de divulgación científica, se recomienda que las fórmulas matemáticas o nomenclatura demasiado especializada se reduzcan al mínimo.

El texto del manuscrito en cuestión tendrá un título y el nombre de los autores con su filiación y dirección electrónica. Podrá contener, además, un resumen, una introducción, los subtítulos necesarios de acuerdo con el tema, las conclusiones y el número necesario de referencias bibliográficas.

Entrega del texto

El texto se entregará en un archivo electrónico vía e-mail, en formato word sin sangrías ni tabuladores.

En el texto se especificará el lugar donde deberán incluirse las figuras.

La lista de los pies de figura se hará al final del texto.

Las figuras se incluirán en un archivo separado en formato word para PC.

Los textos se mandarán a la siguiente dirección electrónica:

martina@iim.unam.mx

El autor responsable de recibir la correspondencia se indicará con un asterisco. Las referencias se incluirán siguiendo el siguiente formato:

Para revistas

- Inicial del nombre y apellido de los autores, "Título del artículo", *Nombre de la revista*, **VOLUMEN** (año), página inicial y final.

Para libros

- Inicial del nombre y apellido de los autores, *Título del libro*, editorial, país o ciudad, año.

Ilustraciones

Las fotografías e ilustraciones deberán incluirse en uno de los dos formatos siguientes:

- a) Originales en papel fotográfico.
- b) Digitales, con resolución de 300 dpi y en archivos eps o tiff.

Información adicional:

Ana Martínez Vázquez
Editora responsable de
MATERIALES avanZados
Instituto de Investigaciones en Materiales, Ciudad Universitaria,
UNAM.

04510, México, D.F. México.

Tel. +52 (55) 5622 4596

martina@iim.unam.mx



Nuestra portada: Oscar Gutman, 2005. Gráfica digital de la serie "Andamio para un cielo".



Universidad Nacional Autónoma de México

Juan Ramón de la Fuente
RECTOR

Enrique del Val Blanco
SECRETARIO GENERAL

René Drucker Colín
COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



Instituto de Investigaciones en Materiales

Luis Enrique Sansores Cuevas
Director del Instituto de Investigaciones en Materiales

Ana Martínez Vázquez
Editora Responsable

Comité Editorial
Larissa Alexandrova
Pedro Bosch Giral
Roberto Escudero Derat
Doroteo Mendoza López

Producción
Distribuciones Litoral, S.A. de C.V.
Edición: Pilar Tapia
Diseño: Jeanette Vázquez

Materiales Avanzados es una publicación semestral de 1,500 ejemplares editada por el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México. Circula de manera controlada y gratuita, mediante suscripciones autorizadas por el Comité Editorial, entre la comunidad científica nacional e internacional.

Los editores autorizan la reproducción de los artículos que se publican en *Materiales Avanzados* siempre y cuando se cite la fuente.

ISSN 1665-7071

Certificado de reserva de derechos al uso exclusivo del título Núm. 04-2003-041612533600-102. Certificado de Licitud de Título 12619 y Certificado de Licitud de Contenido 10191. Impresa en Editorial Color, S.A. de C.V. Naranjo 96-bis, Santa María la Ribera, 06400 México, D.F.

Agradecemos a la Galería de Arte Mexicano y a los artistas plásticos cuyas obras se reproducen en estas páginas su valiosa colaboración. Damos las gracias también a la Fundación Cultural María y Pablo O'Higgins, A.C., a Oscar Gutman por permitir la reproducción de su obra y a Josel por sus collages.

Impreso en México

MATERIALES avanzados

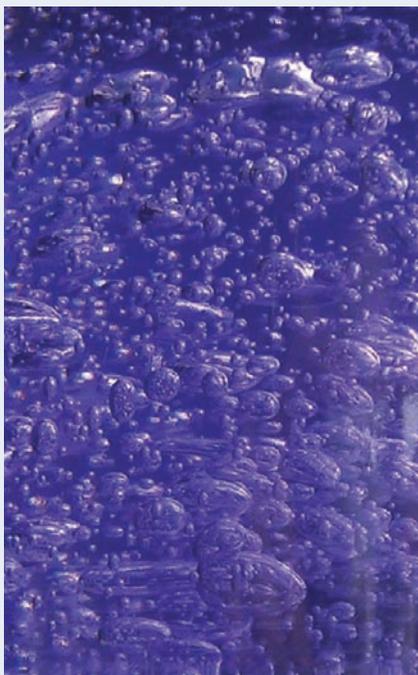
Contenido

Presentación	1
Instrucciones para los autores	2
Noticias	4
Cosméticos en la mira: los parabenes y el cáncer Patricia Guadarrama, Serguei Fomine, Roberto Salcedo Pintos y Ana Martínez Vázquez	9
Sobre la electroquímica y los materiales Arturo Manzo-Robledo	15
Nanocúmulos de silicio: hacia el láser de silicio G. Santana y J.C. Alonso	21
Los polímeros iónicos y sus propiedades en la adsorción selectiva de metales pesados Selena Gutiérrez, Armando Pineda Contreras y Mikhail A. Tlenkopatchev	31
Los nuevos materiales en arquitectura y construcción de edificios en México Silverio Hernández Moreno	37
Premio a la mejor tesis doctoral en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales Tatsuo Akachi Miyazaki	42
Unos cuantos versos y un consejo Pedro Bosch Giral	47

NOTICIAS

Agua metálica

Debido al gran avance que se ha logrado, tanto en técnicas experimentales como computacionales, ahora es posible estudiar la materia bajo condiciones extremas de presión y temperatura; encontrándose en muchos casos propiedades físicas sorprendentes. Éste es el caso del agua, cuyo diagrama de fases se ha estudiado teóricamente en condiciones extremas de altas presiones y temperaturas. Por ejemplo, se ha encontrado una fase “superiónica”, en la que los átomos de hidrógeno se desligan de los de oxígeno y se pueden mover libremente como iones dentro de la estructura rígida formada por los átomos de oxígeno. También se ha hallado una nueva fase: la metálica, que aparece a una temperatura de 4000 K y presiones de alrededor de un millón de atmósferas. Se piensa que esta fase del agua podría existir en los planetas gigantes como Júpiter y Neptuno. *Phys. Rev. Lett.*, **97** (2006) 017801.



¿Invisibilidad?

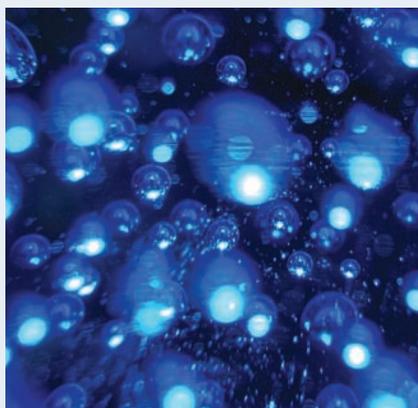
Hacer invisibles los objetos puede parecer ciencia ficción, pero la posibilidad no está lejos de ser real. Se han hecho propuestas teóricas serias para abordar el problema de hacer indetectables los objetos ante la incidencia de radiación electromagnética. También existe la materia prima para elaborar “capas de invisibilidad”, que son materiales artificialmente creados por el hombre, llamados metamateriales. Consisten en arreglos periódicos de anillos y alambres metálicos que tienen propiedades ópticas desconocidas en los materiales ordinarios: presentan un índice de refracción negativo. La historia de estos materiales comenzó en 1964, cuando el físico ruso V.G. Veselago propuso teóricamente la existencia de materiales que tuvieran la permisividad eléctrica y la permeabilidad magnética simultáneamente negativas. Estas suposiciones no violan ningún principio físico pero dan como resultado nuevas propiedades ópticas, tales como la existencia de un índice de refracción negativo en el que la triada de vectores compuesta por el campo eléctrico, el magnético y el vector de onda obedecen la denominada regla de la mano izquierda. Debido a esta característica, estos sistemas se conocen también como materiales zurdos. En 2000 se crearon metamateriales en el

laboratorio, que funcionan en el rango de las microondas. Se piensa que el intervalo de frecuencias se puede extender al infrarrojo y aun al espectro visible con sistemas llamados cristales fotónicos. La propuesta es rodear el objeto en cuestión con una capa de metamaterial, de esta forma los rayos de luz rodean el objeto siguiendo trayectorias dentro de la capa y salen sin ser perturbados, por lo que un observador externo no se percataría de la presencia del objeto. La aplicación práctica más cercana es de tipo militar, pues se pueden cubrir aviones con capas de metamaterial para hacerlos invisibles a los radares. *Science*, **312** (2006) 1777 y **312** (2006) 1780.

Materia supercaliente

Ahora es posible obtener temperaturas extremadamente altas en laboratorios terrestres. Esto se ha logrado con un dispositivo experimental llamado “la máquina Z”, que en su parte fundamental funciona al cargar capacitores en paralelo que, al descargarse sobre alambres de tungsteno, generan corrientes eléctricas de 20 millones de amperes. La corriente eléctrica genera campos magnéticos intensos que confinan el material fundido y producen un efecto de implosión. En este proceso se generan temperaturas del orden de 2000 millones de grados Celsius y rayos X de alta intensidad. *Phys. Rev. Lett.*, **93** (2004) 145002 y **96** (2006) 075003.





Nanoceldas para reacciones químicas

La síntesis y el estudio de materiales con dimensiones de nanómetros ha abierto la puerta para estudiar nuevas propiedades y procesos involucrados en estas escalas. Por ejemplo, los fullerenos y los nanotubos de carbono son estructuras huecas con propiedades físicas y químicas diferentes de las otras dos formas alotrópicas del carbono conocidas hasta la fecha: grafito y diamante. Existe otro tipo de partículas nanométricas a base de carbono que consisten en estructuras esféricas huecas con múltiples capas concéntricas (tipo "cebolla"). Estas estructuras huecas pueden emplearse como celdas de reacción cuando el núcleo está relleno de otro material, por ejemplo hierro o carbono amorfo, e inducir reacciones químicas y/o cambios estructurales en el núcleo; esto se ha hecho dentro de microscopios electrónicos que bajo la irradiación del haz de electrones inducen la formación de carburos de hierro (en el caso del hierro) o diamante (en el caso del carbono amorfo). Se cree que las altas temperaturas producidas por la irradiación de electrones y las altas presiones inducidas por el confinamiento (del orden de 400 000 atmósferas) dentro de estas estructuras son las responsables de las transformaciones del núcleo. Estos fenómenos también se han reportado para materiales confinados en el interior de los nanotubos de carbono. *Appl. Phys. Lett.*, **88** (2006) 193121.

Contenedores de hidrógeno

Antes de que las celdas de hidrógeno puedan emplearse como fuentes de energía eléctrica es necesario resolver el problema de los sistemas para el almacenamiento de hidrógeno de manera segura y eficiente. Este problema se ha tratado de diferentes formas, pero recientemente se ha reportado un método con grandes posibilidades. Este medio de almacenamiento consiste de moléculas metalorgánicas con seis átomos de rodio que, además de otros grupos funcionales, tienen enlazados 12 átomos de hidrógeno. Si se somete dicho material a una atmósfera de hidrógeno durante un periodo de algunos minutos, se absorben dos moléculas de hidrógeno por cada molécula metalorgánica. A una presión de 4 atmósferas de hidrógeno el proceso de absorción es casi instantáneo. El hidrógeno absorbido puede retenerse durante semanas sin pérdidas considerables siempre que se mantenga el material en una atmósfera inerte. El hidrógeno absorbido puede liberarse después al hacer pasar pequeñas corrientes eléctricas por el material o con otro tipo de reacciones simples también en condiciones ambientales. *Angew. Chem. Int. Edn.*, **45** (2006) 6005.



Usos y riesgos de la nanotecnología en alimentos

El proyecto sobre nanotecnologías emergentes, patrocinado por el Woodrow Wilson International Center for Scholars y el Pew Charitable Trusts, acaba de publicar un reporte sobre las aplicaciones, los beneficios y los riesgos de la nanotecnología usada en agricultura y alimentos. Con más de 160 proyectos de investigación (mismos que pueden encontrarse en www.nanotechproject.org/50), la base de datos incluye ejemplos de productos tales como una formulación de pesticida que emplea nanotecnología para prevenir la separación de sus componentes y evitar así la necesidad de agitarlo frecuentemente. Asimismo, describe un tipo de aceite de canola que contiene nanomateriales que permiten bloquear la entrada de colesterol al flujo sanguíneo y una leche malteada de chocolate que usa nanotecnología para mejorar el sabor e incrementar su valor nutricional. *Chem. & Eng. News*, **84** (2006) 25.

Laboratorio bajo tierra

Continúa el proceso para elegir el mejor proyecto para la construcción del Laboratorio Subterráneo de Ciencia e Ingeniería (Deep Underground Science

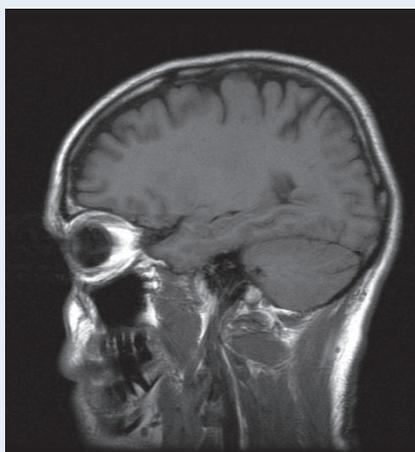
and Engineering Laboratory). Después de un controvertido proceso para elegir un proyecto ganador, la National Science Foundation (NSF) acaba de anunciar la reapertura de recepción de propuestas para el diseño conceptual del laboratorio subterráneo. El proceso considera una primera etapa con apoyos de 500 000 dólares para los grupos (tres a cinco) que presenten los mejores proyectos de diseño. La idea original proviene de la reutilización de una mina de oro abandonada en Lead, Dakota del Sur. El costo estimado de la inversión asciende a 300 millones de dólares y la decisión final se dará a conocer en la primavera del próximo año. *Science*, **313** (2006) 285.

¿Que hace a los LEDs azules más brillantes?

Los diodos emisores de luz azul, que representaron una novedad hace sólo unos cuantos años, se utilizan actualmente en una gran variedad de aplicaciones, en particular en aquellas relacionadas con el despliegue digital de imágenes. Estos dispositivos, basados en GaN y otros compuestos similares que contienen In y Al, presentan una brillantez inusual que ha sorprendido a los expertos. Estos



materiales tienen aproximadamente un millón de veces más defectos de red que los diodos de AlGaAs y otros diodos en película delgada convencionales, lo que en principio significaría una pérdida de luminosidad; sin embargo, los investigadores de la Universidad de Tsukuba y otros colaboradores en Japón y Estados Unidos proponen la existencia de pequeñas estructuras en forma de cadenas de In-N-In-N-In que capturan portadores positivos de carga y son los sitios de emisión de luz. *Chem. & Eng. News*, **84** (2006) 38.



Radicales libres y muerte neuronal

Un nuevo estudio presenta la primera evidencia que explica la relación entre el estrés celular, causado por radicales libres, y el desdoblamiento errático de proteínas, que está relacionado con varias enfermedades neurodegenerativas como el mal de Parkinson y el de Alzheimer, en las que se produce un exceso de radicales libres de ácido nítrico. Investigadores del Burnham Institute for Medical Research en La Jolla, California, reportan reacciones que alteran la estructura de la PDI (por sus siglas en inglés: *protein-disulfide isomerase*), lo que interfiere con su función de corregir el desdoblamiento erróneo de las proteínas en las células nerviosas; en estas condiciones, las proteínas defectuosas se acumulan y dañan o matan las neu-

ronas afectadas. Si se reduce el nivel de proteínas defectuosas podría obtenerse un beneficio terapéutico importante. *Nature*, **441** (2006) 513.

Patente y género

De acuerdo con la Escuela de Negocios de Harvard, las patentes presentadas por mujeres que trabajan en investigación en ciencias naturales representan sólo 40 por ciento de las solicitadas por los hombres. Los autores analizaron a los científicos que terminaron su doctorado entre 1967 y 1995 y no encontraron evidencia de que las mujeres realicen investigaciones menos importantes; sin embargo, tienen menos contactos con la industria. Las mujeres manifestaron que el proceso de identificar una idea que sea comercialmente interesante implica dedicar mucho tiempo al proceso; comentaron también que buscar esa utilidad comercial podría entorpecer su carrera académica. El apoyo formal por parte de las instituciones es un factor identificado como importante por las mujeres. De acuerdo con el estudio, estas diferencias se han acortado en las nuevas generaciones de científicos. *Science*, **313** (2006) 665.

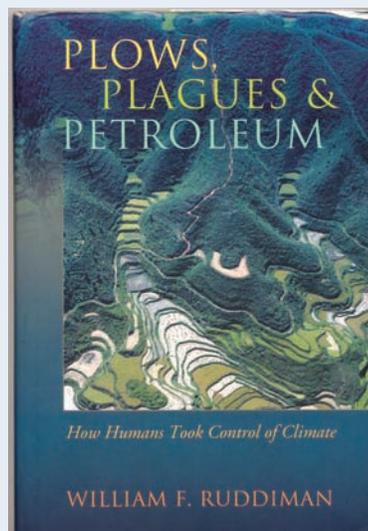


La humanidad es una vieja plaga

Carlos Amador Bedolla

Un improbable éxito de taquilla en los cines gringos durante el verano de 2006 fue el filme *Una verdad incómoda*, sobre la situación actual y las perspectivas del calentamiento global del planeta. Improbable porque, además del tema científico y complejo, la película consiste enteramente de la grabación de la conferencia que ha venido presentando en todo el mundo un político. Al Gore —“yo era el próximo presidente de los Estados Unidos”, se presenta— ha dedicado su considerable talento y su notable hiperactividad a la difusión de este grave problema que amenaza a la humanidad y al mundo. Este improbable éxito revela cuando menos dos cosas: la certeza sobre el fenómeno y la importancia que ha adquirido en la conciencia popular.

El fenómeno del calentamiento global es finalmente muy sencillo de plantear: el aumento antropogénico de la concentración de ciertos gases —dióxido de carbono, metano— en la atmósfera provoca una mayor retención de la energía de la radiación solar en la Tierra, retención que se refleja en un aumento de la temperatura media del planeta. Cada una de las partes de este planteamiento ha sido ampliamente —y en ocasiones, ferozmente— discutida. Se estudió y polemizó el mecanismo químico por el cual los gases CO_2 y CH_4 absorben energía que de otra manera saldría al espacio; se estudió y polemizó su concentración y su localización en la atmósfera. Se estudió y polemizó la magnitud del aumento de la temperatura media del planeta y sus posibles efectos. Etcétera. El estado actual de esos estudios y polémicas es variado y su



descripción se puede encontrar en diversas obras recientes. Ruddiman, en el libro que nos ocupa, se centra en un aspecto específico: la antropogénesis del aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera.

La idea establecida al respecto es que con la Revolución Industrial se inició el proceso de acumulación de los llamados “gases invernadero” en la atmósfera como producto de las cada vez más intensas actividades humanas, particularmente el consumo de combustibles fósiles —carbón, petróleo— y la intensificación de la producción agropecuaria —con la extensión de la superficie ocupada y la destrucción de la biomasa original asociada. La evidencia en apoyo de esta hipótesis es





abrumadora: existen registros indirectos y directos —que coinciden con extraordinaria precisión— de la concentración de estos gases en la atmósfera que muestran un incremento casi exponencial en los últimos 250 años. Por ejemplo, las medidas indirectas del CO_2 atmosférico en los núcleos de hielo polar revelan que en 1750 había unas 280 ppm que se volvieron 290 ppm en 1850 y 320 ppm en 1950 para llegar a 370 ppm en 2000 (las últimas dos cifras confirmadas por mediciones instrumentales). Así, la idea establecida dice que en los últimos 250 años las actividades humanas han modificado las condiciones naturales del clima en la Tierra.

Ruddiman propone, argumenta y defiende una hipótesis novedosa: el efecto de las actividades humanas en el clima de la Tierra ha sido importante no sólo en los últimos 250 años, sino en los últimos diez mil, es decir, desde el inicio de la agricultura. En un libro que se lee como un *paper* muy extenso, Ruddiman presenta, por un lado, los mecanismos que modifican el clima de la Tierra de manera natural —la inclinación del eje terrestre, la actividad solar, la concentración de gases en la atmósfera terrestre, la fracción de recubrimiento de la superficie terrestre por hielo, etcétera— y calcula, por el otro, la magnitud de la liberación de gases invernadero por las actividades humanas en los últimos diez mil años. Su conclusión es radical: las actividades humanas han retrasado, si no es que evitado por completo, una glaciación.

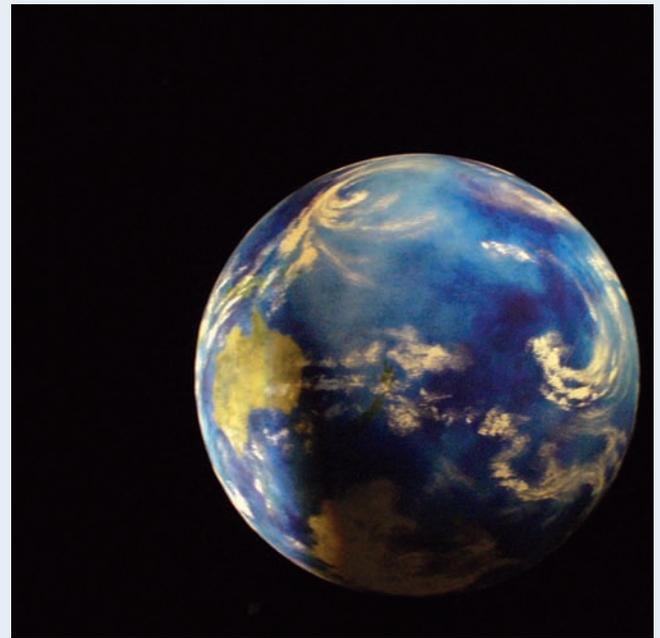
Su hipótesis ha sido publicada en las revistas científicas más serias y más difundidas, y ha sido leída y analizada con todo detalle. Así, Ruddiman aprovecha para presentar las objeciones que se le han hecho y las réplicas correspondientes, de tal manera que la hipótesis es muy sólida. Ahora, ¿qué importancia tiene este descubrimiento? Algunos de los involucrados en los aspectos políticos de la discusión del cambio climático —siempre miopes, como todos los que están interesados en los aspectos políticos, porque estos últimos son necesariamente de corto plazo— ven este resultado como evidencia de que la industrialización y la modernidad no han sido tan malas y que podemos seguir por ese camino. Quizá una mejor forma de verlo es como la evidencia de que la humanidad, en cuanto se separó significativamente de las conductas comunes del

resto de los seres vivos, ha afectado el entorno global, es decir, que en la esencia de la humanidad está nuestro carácter de plaga para el planeta.

Desde luego, los problemas que enfrenta la continuación de la forma de vida moderna de la humanidad en estos tiempos no se reducen al calentamiento global. “Le tocaron, como a todos los hombres, malos tiempos para vivir”, escribió Borges. Nuestra civilización no se ve amenazada por el calentamiento global *per se*. Ni el par de grados centígrados de calentamiento que se pronostican para este siglo, ni el par de decímetros de aumento del nivel del mar, ni el incremento de la intensidad de las tormentas, ni la detención de la corriente del Golfo, ni la modificación de los patrones climáticos acabarán con la humanidad. Pero hay amenazas más severas. La disponibilidad de agua, la disponibilidad de energía —la imposibilidad de incrementar la producción de petróleo ante la demanda exponencialmente creciente—, la reducción de la superficie cultivable —la erosión de la capa de nutrientes— son amenazas mucho más serias e inmediatas. Ruddiman, como buen científico, contempla su descubrimiento en ese contexto más general y, como todos nosotros, trata de encontrarle un lado bueno a nuestra situación actual.

La plaga no se va a erradicar, pero ciertamente se va a reducir a dimensiones semejantes a las de tantas otras plagas. Nuestro futuro como especie no está en riesgo, sospecho, lo que tendremos que determinar es nuestro futuro como sociedad y como cultura.

William F. Ruddiman, *Plows, Plagues & Petroleum: How humans took control of climate. (Arados, plagas y petróleo: Cómo los humanos se apropiaron del clima)*, Princeton University Press, Princeton, 2005.



Cosméticos en la mira: los parabenos y el cáncer

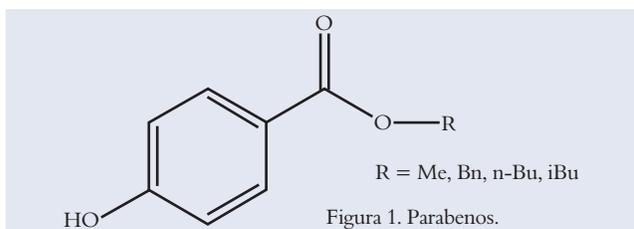
Patricia Guadarrama, Serguei Fomine, Roberto Salcedo Pintos y Ana Martínez Vázquez, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Introducción

Actualmente y desde siempre, la comunidad científica de manera multidisciplinaria ha conjuntado esfuerzos para la detección, tratamiento y cura de enfermedades como el cáncer. Como parte de estos estudios se analizan los mecanismos que se desencadenan debido a la presencia de algunos agentes químicos que consumimos cotidianamente y que resultan ser altamente sospechosos como productos carcinogénicos.

Ése es el caso de los parabenos (ésteres del ácido 4-hidroxibenzoico) (figura 1), sustancias que se utilizan como preservativos en cosméticos, productos alimenticios y formulaciones farmacéuticas.¹ Estos productos fueron señalados en 2002 como altamente peligrosos por estar presumiblemente involucrados en el desarrollo de cáncer de mama cuando se

aplican cutáneamente en las axilas, ya que estas sustancias suelen formar parte de los desodorantes.^{2,3}



A raíz de estos señalamientos, el uso de desodorantes que durante décadas resultó una acción inofensiva (y muy conveniente), ahora parece tener un riesgo para la salud.



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie "París en noviembre".

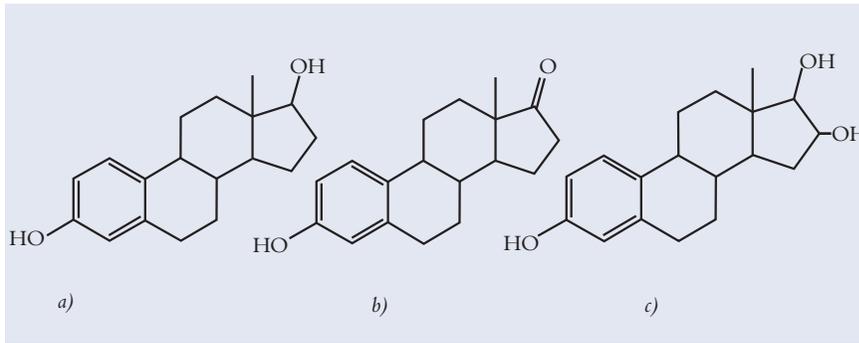


Figura 2. Estrógenos: a) 17- β -estradiol, b) estrona, c) estriol.

Desde 2002 se han realizado una serie de estudios que, sin ser concluyentes, han llevado a etiquetar a los parabenos como posibles mímicos de los estrógenos (17- β -estradiol, estrona, estriol) (figura 2).

importante en el mantenimiento del sistema óseo, protegiéndolo contra la osteoporosis e incluso se cree que los estrógenos actúan como cardioprotectores. En el cerebro, los estrógenos regulan el comportamiento reproduc-

Los estrógenos son hormonas importantes tanto para las mujeres como para los hombres

Esta similitud se puede relacionar con el desarrollo de procesos anómalos que involucran la interacción de estos mímicos con los receptores estrogénicos (ERs por sus siglas en inglés) y sustituyen al principal estrógeno, el 17 β -estradiol. La sustitución de una sustancia por otra es lo que parece desencadenar la proliferación de células cancerígenas.

En contexto

Para poner en contexto las implicaciones de que un mímico del 17- β -estradiol tome su lugar, es importante mencionar las funciones diversas en las que esta hormona natural está involucrada. Los estrógenos son hormonas importantes tanto en los hombres como en las mujeres, que afectan el crecimiento, la diferenciación y el funcionamiento de tejidos del sistema reproductivo, incluyendo las glándulas mamarias, el útero, la vagina y los ovarios en las mujeres, y los testículos y la próstata en los hombres. También juegan un papel

vos que desembocan en demencia.

Casi todos los efectos de los estrógenos son mediados a través de su unión o interacción con los mencionados receptores estrogénicos (ERs), que son proteínas que interactúan con las hormonas de manera muy específica, selectiva y con alta afinidad. Una vez que la hormona se une al receptor, se inducen cambios conformacionales que perturban a otras macromoléculas. De esta manera, los receptores estrogénicos actúan como factores de transcripción, activando o inhibiendo la expresión de varios arreglos de genes (figura 3). Se conocen dos receptores que pueden interactuar con estrógenos: ER α y ER β . Ambos interactúan con ligantes estrogénicos. En el caso particular del 17- β estradiol (el estrógeno principal) su receptor es ER α .

De acuerdo con los resultados de estudios tanto *in vitro* como *in vivo*, los parabenos muestran actividad oestrogénica (unión al receptor ER α) en diferentes grados. Los trabajos del grupo de investigación del profesor Darbre mostraron la presencia de parabenos en tumores mamarios.⁴ Al medir la concentración de parabenos en 20 tumores de mama se encontraron 20.6 ± 4.2 ng por gramo de tejido. Por otro lado, como resultado del establecimiento de relaciones de tipo estructura-actividad,⁵ se mostró que la actividad oestrogénica de los parab-

tivo y la producción de gonadotropina (hormona que estimula el crecimiento de los óvulos en la mujer y la formación de los espermatozoides en el hombre) e incluso se cree que están involucrados en retrasar algunos procesos degenerati-

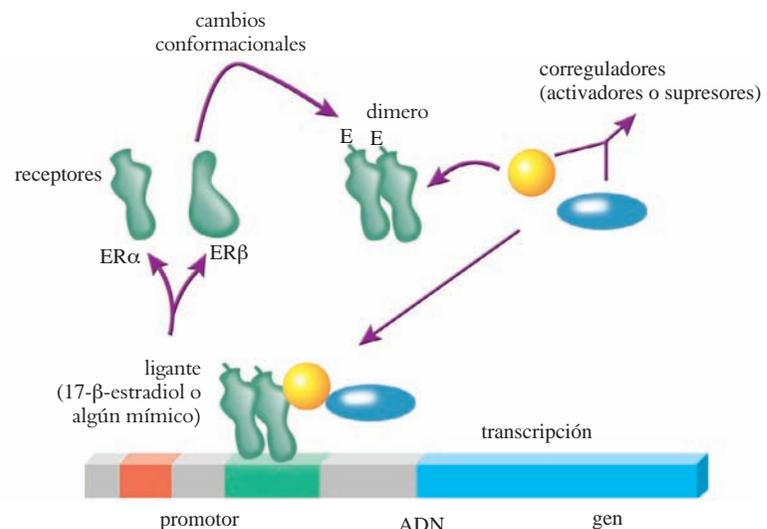


Figura 3. Mecanismo de activación de genes vía receptores estrogénicos ER.



Ana Montiel, 2005.
Fotografías de la serie
“París en noviembre”.

nos se incrementa con la longitud de la cadena alquílica, yendo del metilparabeno al n-butilparabeno. En cuanto a las ramificaciones, el isobutilparabeno (más ramificado) muestra una actividad incrementada en comparación con su contraparte lineal (n-butilparabeno). La adición de grupos arilo (aromáticos) también se traduce en un incremento de la actividad oestrogénica. El metilparabeno no sólo presenta una actividad oestrogénica más débil sino que también

están permitidos en concentraciones arriba de 1 por ciento. En 1984 se estimó que estas sustancias fueron utilizadas en 13,200 diferentes formulaciones cosméticas (te recomendamos que, mientras lees, revises las formulaciones de tus cosméticos) y al hacer una inspección de 215 productos cosméticos se encontró que los parabenos se utilizan en 99 por ciento de los productos que no se enjuagan (como maquillajes) y 77 por ciento de los productos que se enjuagan.⁷

Los parabenos se emplean hoy en muchos cosméticos que no se enjuagan, como los maquillajes

está reportado como el parabeno que peor se absorbe dérmicamente.

A pesar de todos estos efectos comprobados, hoy en día el uso de los parabenos como preservativos está permitido en productos alimenticios en cantidades que llegan aproximadamente a 0.1 por ciento. Así, la ingesta diaria promedio estimada de parabenos en alimentos para un adulto es de 4-6 mg/Kg.⁶ En el área de los cosméticos, los parabenos

Al revisar el contenido de los cosméticos seguro encontraremos más de uno que contiene parabenos. Después de leer toda esta información, uno no puede dejar de preguntarse las razones por las que se siguen utilizando estos compuestos. Se suele pensar que, ante la sospecha de posibles daños, las sustancias deberían prohibirse, pero las cosas no siempre parecen seguir la misma lógica. El problema con los contaminantes

y las sustancias tóxicas muchas veces es económico. A pesar de haberse demostrado el efecto tóxico de los parabenos, la asociación europea de cosméticos y perfumería se resiste a aceptar los peligros y expresa que los estudios de diversos grupos de investigación son irrelevantes, ya que los parabenos se hidrolizan en la piel. Además argumentan que sus propias investigaciones demuestran que estos compuestos no ingresan al torrente sanguíneo. Con base en estas ideas, la industria no tiene interés aparente en darle seguimiento a este tipo de investigaciones. No obstante, un toxicólogo de la empresa Astra-Zeneca, el doctor John Ashby, especialista en desórdenes del sistema endocrino, mencionó que jamás permitiría que su hija utilizara productos que contuvieran parabenos. Con esto se puede ver que, a pesar de que la versión oficial es de “no efecto tóxico”, las personas que conocen del tema saben que esto puede no ser cierto y que de alguna manera se está corriendo un riesgo.



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie
“París en noviembre”.

Más caro el remedio que la enfermedad: la paradoja de los parabenos

El uso reiterado de parabenos como agentes preservativos antibacterianos en cosméticos obedece al hecho de que estos compuestos muestran un amplio rango de actividad, “baja toxicidad” y estabilidad química, además de su bajo costo. Hablando de su actividad antibacteriana, el efecto de los parabenos se produce en las membranas celulares. En 2005 se publicó un estudio⁸ cuya conclusión establece que los parabenos interactúan con la membrana de las bacterias, inhibiendo su crecimiento mediante la apertura de canales membranales con el consecuente colapso de la célula y el “derrame” del contenido citoplasmático. Otro estudio realizado específicamente sobre *Escherichia coli*⁹ mostró que particularmente el propilparabeno induce un flujo de potasio en células de *E. coli*, lo que provoca un gradiente anómalo de potasio que conduce a la muerte celular. Esta disrupción en los procesos de transporte a nivel de membrana provocada por los parabenos ha sido el argumento para implicar a estas sustancias incluso en la inhibición de la síntesis de DNA y RNA,¹⁰ lo cual, por cierto, también desemboca en el

Ana Montiel, 2005.
Fotografías de la serie
“París en noviembre”.



desarrollo de algunos tipos de cáncer.

Así, los parabenos no sólo son mímicos del estrógeno por sus similitudes estructurales (unidad fenólica y parte hidrofóbica), también presentan actividad a nivel de membrana celular (figura 4) que, si bien es cierto que principalmente opera sobre bacterias, también podría producir ciertos desórdenes en otros sistemas celulares como los del ser humano.

¿Qué más podemos estudiar de los parabenos?

Además de las pruebas en el laboratorio, el análisis de la reactividad y posible peligrosidad de estas sustancias se puede hacer mediante cálculos basados en la mecánica cuántica. Los métodos computacionales existentes hoy en día permiten estudiar, en diferentes ámbitos teóricos, diversos modelos biológicos de donde se puede extraer información estructural y electrónica única, imposible de obtener a partir de estudios *in vitro* e *in vivo*. En este contexto, desde 1998 el grupo de investigación de Hong¹¹ ha desarrollado modelos para predecir la afinidad de interacción entre diversos

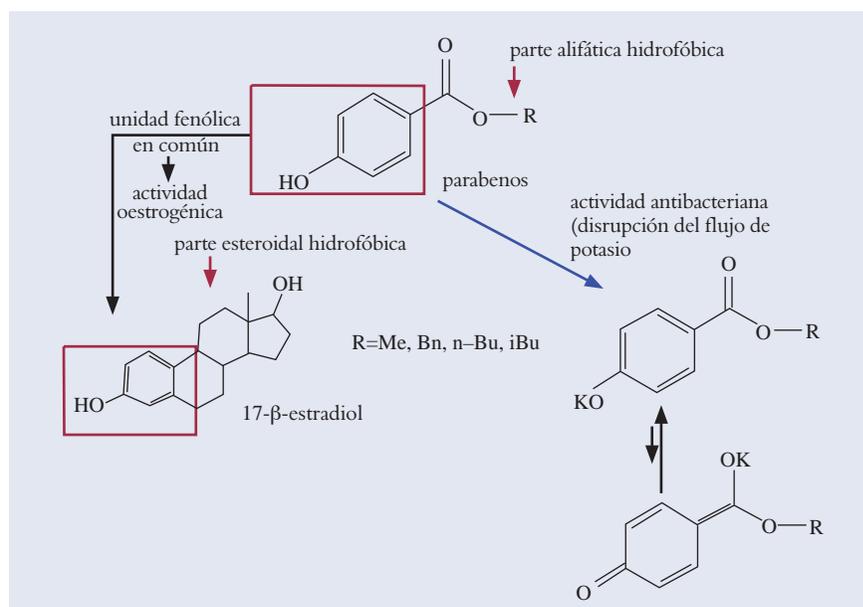


Figura 4. Actividad de los parabenos.



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie “París en noviembre” (detalle).

agentes químicos y el receptor ER α . Este y otros grupos de investigación¹² han observado que el anillo fenólico (presente en el 17- β -estradiol por ejemplo) casi siempre está asociado a la actividad estrogénica. Más de 80 por ciento de las sustancias químicas que han mostrado este tipo de actividad contienen por lo menos un anillo fenólico. Mediante estudios de rayos X de complejos formados entre el receptor ER α y los estrógenos,¹³ se pudo elucidar el dominio de interacción ligante-receptor, revelándose la gran participación del anillo fenólico estrogénico que, vía puentes de hidrógeno, interactúa con residuos de glutamato (Glu) y arginina (Arg) provenientes del receptor, así como con una molécula de agua. Con una menor participación, se observó la interacción del grupo -OH esteroidal con residuos de histidina (His), provenientes también del receptor.

Desde el punto de vista de la química computacional, esta es una información muy valiosa ya que, conociendo los sitios predominantes de interacción del receptor (que es una proteína de alto peso molecular) con ligantes como el

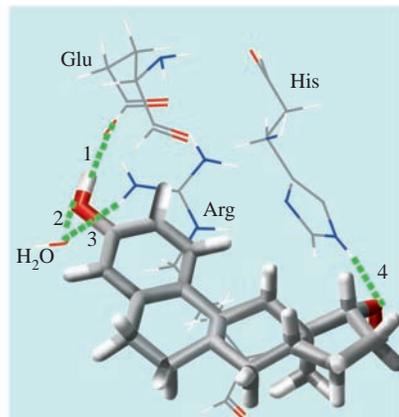
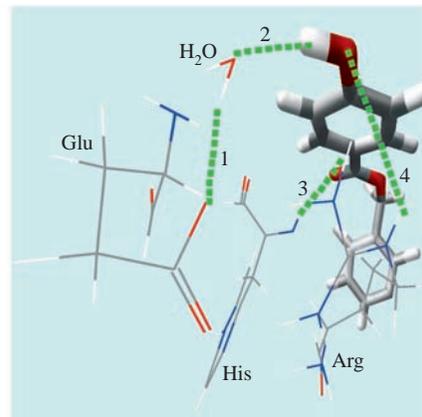
17- β -Estradiol-ER α Bencilparabeno-ER α 

Figura 5. a) Interacción 17- β -estradiol-receptor (fragmento Glu-Arg-His-H₂O): distancias (Å): 1: 1.614, 2: 1.823, 3: 1.837, 4: 1.831. b) Interacción bencilparabeno-receptor (fragmento Glu-Arg-His-H₂O): distancias (Å): 1: 1.655, 2: 1.767, 3: 2.093, 4: 1.888.

la actividad estrogénica de los parabenos y de cualquier otro agente químico mímico del estradiol.

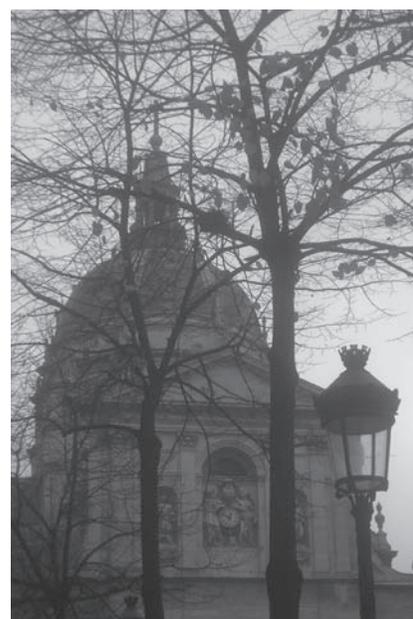
Así, una primera aproximación teórica, empleando campos de fuerza (en mecánica molecular, la ecuación y los parámetros fijados que permiten el cálculo de la energía a partir de una geometría molecular se conocen como campos de

estradiol-receptor, como se ilustra en la figura 5a. En la figura 5b se muestra la interacción, también favorable, entre un parabeno (el bencilparabeno) y el receptor ER α . A reserva de llevar a cabo cálculos más precisos para conocer la energía de interacción entre el receptor ER α y la familia de los parabenos, es de resaltar que es posible comprobar la premisa de que estos agentes químicos sí pueden imitar al estradiol.

Gracias a la química computacional es posible construir modelos para simular la interacción entre receptor y ligante

estradiol, es posible construir modelos relativamente pequeños para simular dicha interacción y así poder establecer algunas relaciones de tipo estructura-actividad, que permitan evaluar posteriormente el grado de interacción de otros agentes químicos, mímicos del estradiol, como los parabenos. Con el empleo de descriptores químicos como carga atómica, dureza química, distancias de enlace y energías de ionización, es posible construir índices de reactividad¹⁴ que nos hablen de manera cuantitativa de la actividad estrogénica de diversos agentes químicos. En nuestro grupo de investigación estamos interesados en predecir

fuerza) como el llamado OPLS2001,¹⁵ parametrizado para moléculas orgánicas y péptidos, muestra que la interacción del estradiol con su receptor ER α puede imitarse cuando el estradiol se sustituye por un parabeno, por ejemplo, bencilparabeno. Después de llevar a cabo un cálculo de análisis conformacional en vacío, bajo el algoritmo de MonteCarlo de mínimos múltiples (MCOMM)¹⁶ (sin restricciones en los posibles movimientos moleculares), se puede obtener una geometría optimizada cuyos parámetros de distancias y ángulos de enlace coinciden con los obtenidos a partir de la estructura de rayos X para el complejo



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie "París en noviembre".



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie "París en noviembre".

Perspectivas

Si bien es cierto que el desarrollo de diversos materiales ha hecho nuestra vida infinitamente más operativa, es conveniente de vez en cuando detenerse a analizar las posibles consecuencias del uso de ciertos materiales, sobre todo cuando se trata de aquellos que, de una u otra forma, incorporamos a nuestro organismo. En el caso de los parabonos, nuestro propósito es estudiarlos a través de cálculos precisos dentro de los métodos de la mecánica cuántica, para sentar un precedente de la posible actividad estrogénica, así como de la actividad antibacteriana. Con el uso de herramientas de la química computacional podremos asignar un índice de reactividad relacionado con la capacidad carcinogénica, que nos ayude en un futuro a hacer predicciones que nos alerten sobre el uso de agentes químicos en productos de uso cotidiano que pueden tener efectos nocivos en la salud.

Bibliografía

- ¹ Soni *et al.*, *Food Chem. Toxicol.*, **39** (2001) 513-532.
- ² P.D. Darbre, J.R. Byford, L.E. Shaw, S. Hall, N.G. Coldham, G.S. Pope, M.J. Sauer, *J. Appl. Toxicol.*, **23** (2003) 43-51.

- ³ J.R. Byford, L.E. Shaw, M.G.B. Drew, G.S. Pope, M.J. Sauer, P.D. Darbre, *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology*, **80** (2002) 49-60.

- ⁴ P.D. Darbre *et al.*, *J. Appl. Toxicol.*, **24** (2004) 5-13.

- ⁵ J.A. Dodge, *Pure Appl. Chem.*, **70** (1998) 1725-1733 y H. Hong, W. Tong, H. Fang, L. Shi, Q. Xie, R. Perkins, J.D. Walker, W. Branham, D.M. Sheehan, *Environ. Health Perspectives.*, **110** (2002) 29-36.

- ⁶ R.L. Elder, *J. Am. Coll. Toxicol.*, **3** (1984) 147-209.

- ⁷ S.C. Rastogi, A. Shouten, N. DeKrujff, J.W. Weijland, *Contact Dermat.*, **32** (1995) 28-30.

- ⁸ T. Nguyen, B. Clare, W. Guo, B. Martinac, *Eur. Biophys. J.*, **34** (2005) 389-395.

- ⁹ J. Bredin, A. Davin-Régli, J.M. Pagés, *J. Antimicrob. Chemotherapy*, **55** (2005) 1013-1015.

- ¹⁰ I.F. Nes, T. Eklund, *J. Appl. Bacteriol.*, **54** (1983) 237-242.

- ¹¹ H. Hong, W. Tong, H. Fang, L. Shi,

- ¹² Q. Xie, J. Wu, R. Perkins, J.D. Walker, W. Branham, D.M. Sheehan, *Environmental Health Perspectives*, **110** (2002) 29-36.

- ¹² H. Fang, W. Tong, L.M. Shi, R. Blair, R. Perkins, W. Branham, B.S. Hass, Q. Xie, S.L. Dial, C.L. Moland, D.M. Sheehan, *Chem. Res. Toxicol.*, **14** (2001) 280-294.

- ¹³ D.M. Tanenbaum, Y. Wang, S.P. Williams, P.B. Sigler, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **95** (1998) 5998-6003.

- ¹⁴ H. Chermette, *Journal of Computational Chemistry*, **20** (1999) 129-154.

- ¹⁵ a) G.A. Kaminski, R.A. Friesner, J. Tirado-Rives, W.L. Jorgensen, *J. Phys. Chem. B.*, **105** (2001) 6474-6487; b) W.L. Jorgensen, D.S. Maxwell, J. Tirado-Rives *J. Am. Chem. Soc.*, **118** (1996) 11225-11236.

- ¹⁶ a) G. Chang, W.C. Guida, W.C. Still, *J. Am. Chem. Soc.* **111** (1989) 4379; b) M. Saunders, K.N. Houk, Y.D. Wu, W.C. Still, M. Lipton, G. Chang, W.C. Guida, *J. Am. Chem. Soc.*, **112** (1990) 112, 1419.



Ana Montiel, 2005. Fotografías de la serie "París en noviembre".

Sobre la electroquímica y los materiales

Arturo Manzo-Robledo,* Laboratorio de Electroquímica y Corrosión, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE), IPN.

Introducción

Una de las ramas más importantes de las ciencias físicas y químicas en su conjunto es la electroquímica. Debido a que incluye ambas disciplinas (por sí solas complicadas) la electroquímica es más compleja; sin embargo, es precisamente esta fusión la que la convierte en una materia apasionante.

Los ingenieros y científicos realizan estudios de fenómenos electroquímicos por varias razones, por ejemplo, pueden obtener datos termodinámicos sobre una reacción en particular, generar un intermediario inestable (un ion en solución) y estudiar su cinética de óxido-reducción o sus propiedades espectroscópicas, analizar una solución para encontrar trazas de un metal o de compuestos orgánicos. Los métodos electroquímicos se emplean en estos ejemplos. Además, existen

investigaciones en las cuales los fenómenos electroquímicos son de interés primario, como el diseño de nuevas fuentes de energía (celdas de combustible), la electrosíntesis de algún producto, la reducción/oxidación de ciertas especies que se encuentran en medio acuoso, los estudios de corrosión y la galvanoplastia.

Es posible, por ejemplo, utilizar diferentes materiales para fabricar electrodos y estudiar sus efectos en la cinética de óxido-reducción de especies en medio acuoso. Estos materiales de los electrodos (generalmente metales nobles) no son del todo catalizadores adecuados para una reacción en particular. Sin embargo, es posible sintetizar catalizadores para depositarlos sobre dichos metales nobles y estudiar las posibles mejoras en la cinética de oxidación (o de reducción).



Josel. Collage.



Josel. Collage.

Algunos aspectos fundamentales

La base principal para aprender (o enseñar) electroquímica es encontrar la conexión entre los efectos químicos y eléctricos. De esta manera podemos definir la electroquímica de dos formas: como el estudio de las reacciones químicas que suceden cuando se produce una perturbación del sistema con corriente eléctrica, y como el estudio de los efectos eléctricos producidos cuando una reacción química se lleva a cabo.

Las reacciones químicas que se producen en sistemas electroquímicos son la reducción y la oxidación, que implican una transferencia de cargas (electrones) entre una especie y otra.¹⁻⁵ Por lo tanto, la oxidación puede definirse como: ganancia de oxígeno, pérdida de hidrógeno, pérdida de electrones e incremento en el número de oxidación. Mientras que la reducción se define como: pérdida de oxígeno, ganancia de hidrógeno, ganancia de electrones y disminución en el número de oxidación.

Debido a que la oxidación y la reducción son procesos simétricos, siempre existirá un agente oxidante y un agente reductor en la reacción. En función de las definiciones anteriores, si un agente en una reacción remueve oxígeno, contribuye con hidrógeno o con electrones, se dice que es un “agente reductor”; por supuesto, dicho agente se oxida en el proceso. Por otro lado, si un agente en una reacción contribuye con oxígeno, extrae hidrógeno o electrones, se dice que es un “agente oxidante”; en consecuencia, esta especie se reduce en el proceso.

Por ejemplo, consideremos la reacción de combustión del hidrógeno. La reacción balanceada está dada por la ecuación:



En esta reacción, los reactivos tienen estados de oxidación de cero. En la combustión, el oxígeno molecular (en su forma de O_2) pierde un átomo de oxígeno y gana otro de hidrógeno. Su estado de oxidación disminuye (de 0 a -2), es decir ha ganado dos electrones ($2e^-$) y por lo tanto, *se reduce*. Por su parte, el hidrógeno se ha *oxidado*. La pérdida de electrones en el hidrógeno

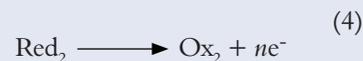
queda demostrada, pues su estado de oxidación ha pasado de cero a +1.

Sin embargo, la reducción y la oxidación pueden ocurrir aun en ausencia de hidrógeno y de oxígeno. Examinemos la reacción mostrada en la ecuación (2).



El magnesio ve incrementado su número de oxidación de 0 a +2, mientras que el número de oxidación del cloro disminuye de 0 a -1. Las reacciones mostradas son típicas de los procesos de óxido-reducción.³

En general una reacción electroquímica puede representarse como se muestra a continuación.



Donde n es el número de moles de electrones transferidos en el proceso. La reacción (3) muestra la reducción de la especie Ox_1 ; mientras que la reacción (4) representa la oxidación de la especie Red_2 . Las ecuaciones (3) y (4) son las se-



Josel. Collage.

mirreacciones asociadas a cada electrodo (cátodo y ánodo, respectivamente). La reacción global, que ocurre en la celda electroquímica, queda representada por la ecuación (5), que es la suma de las ecuaciones (3) y (4).



Celdas electroquímicas

En las celdas electroquímicas generalmente ocurren procesos redox.⁵ Existe una gran diversidad de celdas electroquímicas, cada una difiere de la otra en la forma en que se lleva a cabo la reacción: celda electrolítica, celda galvánica, celda fotoelectrolítica, celda fotogalvánica.

Se puede crear una celda electroquímica (figura 1) al introducir dos elec-

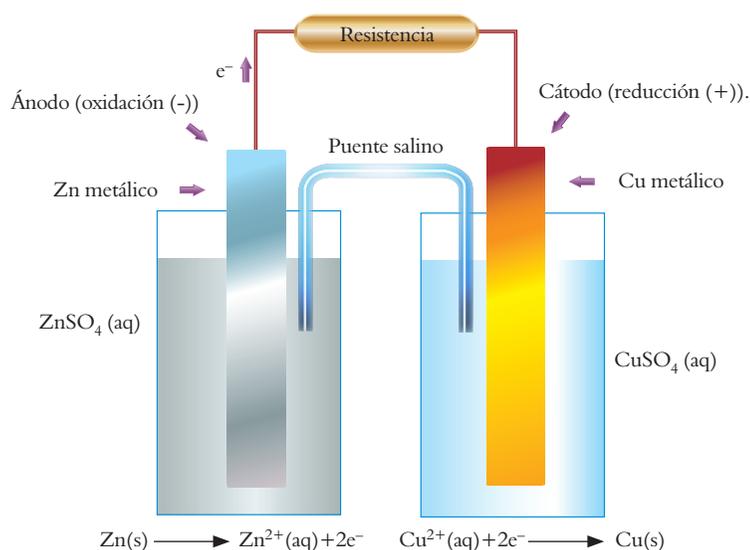


Figura 1. Representación de una celda electroquímica galvánica (celda de Daniell).

Las celdas electroquímicas se diferencian unas de otras por la forma en que se lleva a cabo la reacción

trodos metálicos en una solución (electrolito). Las celdas en donde la reacción química genera electricidad de manera espontánea se llaman “celdas galvánicas” (o voltaicas), las baterías son un ejemplo. En otras celdas es necesario aplicar una corriente eléctrica para llevar a cabo una reacción química, que no ocurre espontáneamente. Tales dispositivos se llaman “celdas electrolíticas”. Las celdas fotoelectrolíticas y fotogalvánicas son una variante de las electrolíticas y las galvánicas. La diferencia básica en estas dos últimas celdas es que la reacción (espontánea o no espontánea) puede modificarse al perturbar la superficie del electrodo con una fuente de energía externa como luz de diferentes longitudes de onda. Actualmente existen muchas investigaciones innovadoras para mejorar la eficiencia de la corriente eléctrica en las celdas electroquímicas. Tales trabajos se centran, principalmente, en materiales catalíticos (nanopartículas)

depositados sobre sustratos modelos (conductores o semiconductores) que llevan a una rama especial denominada fotoelectrocatalisis.

La reacción global de la celda Daniell que se muestra en la figura 1 puede obtenerse fácilmente si se observa la reacción de la ecuación (5).

Electrodos: parte fundamental en los procesos electroquímicos

Un sistema electroquímico puede analizarse como si fuera un circuito eléctrico (R-C) con una fuente de energía (E, potencial [V]), como en la figura 2. En dicho sistema, la resistencia al flujo de la corriente eléctrica (R, [ohms]) será, en principio, debida al electrolito; mientras que la capacidad de carga (o capacitancia, C, [F]) se atribuye, *a priori*, a la interfase electrodo-electrolito.^{6,7}

El material del electrodo juega un papel fundamental en la reacción elec-

troquímica, como se verá más adelante. La celda consiste de un ánodo y un cátodo. La reacción de oxidación se produce en el ánodo (ecuación 4), mientras que las reacciones de reducción ocurren en el cátodo (ecuación 3), véase la figura 1. Por convención, en una celda galvánica el ánodo es la terminal negativa y el cátodo la positiva. Por otro lado, en una celda electrolítica, el cátodo es la terminal negativa y el ánodo, la positiva.

Hoy existe un interés creciente en el estudio de materiales a escala nanométrica para depositarlos sobre cátodos (o ánodos). Varios investigadores

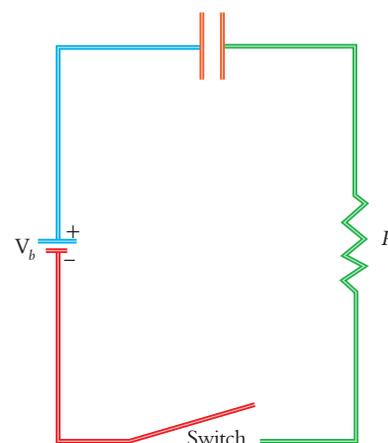


Figura 2. Circuito eléctrico correspondiente a una celda electroquímica.

han estudiado los efectos catalíticos o, mejor dicho, electrocatalíticos de estos materiales.⁸⁻¹⁰

Electroquímica y cinética

La corriente eléctrica (i , amperes) es la variación de la carga (Q , coulombs) con respecto al tiempo (t , s), ecuación (6).

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (6)$$

Por otro lado, el número de moles N puede expresarse según la ecuación (7). Donde F es la constante de Faraday y n el número de electrones que intervienen en la reacción.

$$N = \frac{Q}{nF} \quad (7)$$

Si derivamos (7) respecto del tiempo se obtiene la expresión matemática representada en la ecuación (8).

$$\frac{dN}{dt} = \frac{1}{nF} \frac{dQ}{dt} \quad (8)$$

Como se observa, es fácil demostrar que la variación en el número de moles (N) es una función de la corriente que pasa por el circuito eléctrico. Si sustituimos la ecuación (6) en (8) se cumple que:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{i}{nF} = \text{velocidad (mol/s)} \quad (9)$$

Sin embargo, a la gran mayoría de las reacciones electroquímicas les afecta el transporte de materia. La difusión de las especies del seno de la solución a la superficie del electrodo modifican la cinética de la reacción global. En general, estos efectos se representan matemáticamente de acuerdo con la ecuación:

$$\frac{1}{i_T} = \frac{1}{i_k} + \frac{1}{i_D} \quad (10)$$

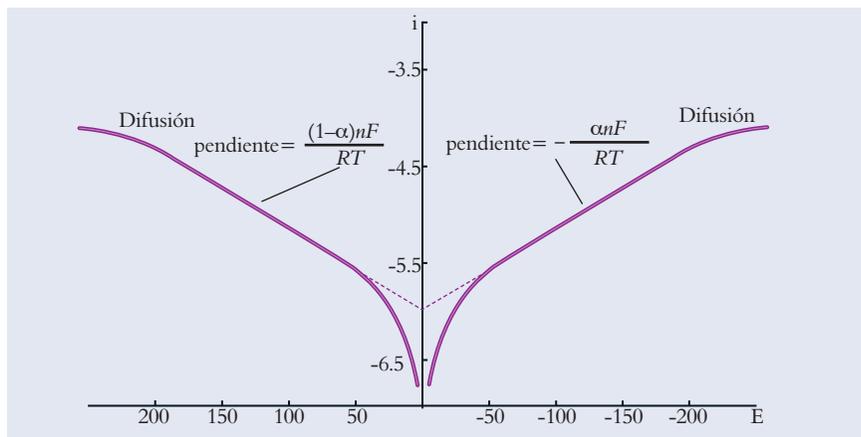


Figura 3. Corriente anódica y catódica (i) versus (E).⁶

donde: i_k es la magnitud de la corriente debida a efectos puramente cinéticos, que se da a potenciales regularmente bajos. Esta corriente está dada por la ecuación (9), i_D es la corriente debida al transporte de materia, que se da a potenciales elevados e i_T es la corriente total

de las regiones lineales en estos dos sistemas aportan datos cinéticos de interés primordial en sistemas electrocatalíticos; por ejemplo, el coeficiente de transferencia de carga (α). La extrapolación de estas dos rectas hacia el eje de las ordenadas proporciona la corriente

La termodinámica describe el equilibrio de un sistema

obtenida en el proceso electroquímico redox: la suma de la corriente cinética y la corriente de difusión.

La figura 3 muestra las características de corriente (i) versus potencial (E) para un proceso catódico (primer cuadrante) y anódico (segundo cuadrante).

De esta figura es posible verificar que a potenciales comprendidos entre 50 y 200 mV (parte anódica) y -50 a -200 mV (parte catódica), existe una región lineal cuya corriente corresponde a efectos cinéticos (i_k). A partir de 200 mV (o -200 mV) se presentan los efectos difusionales; en consecuencia, la corriente estará dada por la parte de transporte representada en la ecuación (10), es decir, i_D . También las pendientes (conocidas como pendientes de Tafel)

$$\frac{(1-\alpha)nF}{RT}; -\frac{\alpha nF}{RT}$$

de intercambio (i_0). Butler y Volmer estudiaron estos fenómenos y su correspondiente análisis matemático y los resultados están resumidos en la ecuación de Butler-Volmer; la deducción de esta ecuación y algunas de sus variantes aparecen en la bibliografía.⁶ Los fenómenos de transporte se explican con la ecuación de Koutecky-Levich y la técnica de *Rotating-Ring Disk Electrode* (RRDE).⁶

Electroquímica y termodinámica

La cinética describe, por lo tanto, el estado de evolución del flujo de masa a través de un sistema, incluyendo el estado próximo al equilibrio y, en consecuencia, el estado dinámico en dicho sistema. La termodinámica, por su parte, describe únicamente el equilibrio. Sin embargo, la termodinámica predice la factibilidad de que una reacción redox se lleve a cabo. Si suponemos que un

sistema electroquímico cumple con los siguientes requisitos: presión y temperatura constantes, sistema reversible, transferencia de masa entre el sistema y los alrededores no permitido (sistema cerrado), entonces, la energía interna (ΔU) puede expresarse según la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta U = q - W \quad (11)$$

Donde W es el trabajo realizado. Para las mismas condiciones del sistema, el calor (q) y la energía libre de Gibbs (ΔG) quedan expresados según las siguientes ecuaciones:

$$q = T\Delta S \quad (12)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (13)$$

Por lo tanto, puede demostrarse⁷ que el ΔG está dado por la ecuación (14), donde W_e es el trabajo eléctrico.

$$\Delta G = -W_e \quad (14)$$

La ecuación (14) implica que “el trabajo eléctrico obtenido de un sistema cerrado, P y T constantes y operando reversiblemente, es igual al cambio en la energía libre de Gibbs”. Para un mol de reactivo, el número total de cargas involucradas en la reacción (n) multiplicado por la constante de Faraday (F) y la diferencia de potencial máxima (potencial de celda, E) nos lleva a la ecuación:

$$\Delta G = -nFE \quad (15)$$

Por lo tanto, la termodinámica predice que una reacción electroquímica será espontánea cuando el $\Delta G < 0$ y no

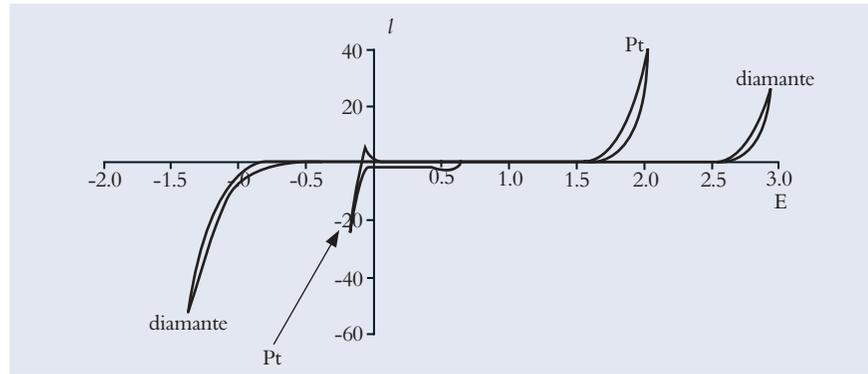


Figura 4. Característica j - E de un material conductor (Pt) y un semiconductor (diamante dopado, BDD). 1.0 M H_2SO_4 , velocidad de barrido 50 mV/s, $T = 25^\circ C$.

espontánea en caso contrario. Como se deduce de la ecuación (15), el potencial de celda (E) es un parámetro importante. Para comprender mejor esta consecuencia véanse los “potenciales estándar de las reacciones redox”, “electrodos de referencia” y “ecuación de Nernst”.^{6,7}

Electroquímica y materiales

Como se expuso, en electroquímica el material (o catalizador) es fundamental en la reacción. Debido a que una parte importante es el flujo de electrones, si un material es conductor o semiconductor influye significativamente en la eficiencia del proceso. Es obvio que un material semiconductor no tiene la misma respuesta eléctrica que un material conductor,¹⁰ sin embargo, esto no significa que sea un material inadecuado. La

figura 4 muestra la diferencia en la característica j - E entre un conductor (Pt) y un semiconductor (diamante dopado con boro, BDD). Una de las diferencias entre estos dos materiales es la posición de las bandas de energía (figura 5), que atribuye al material la capacidad para conducir electrones.

En general, el sobrepotencial en metales es menos intenso que en semiconductores.¹⁰ En la figura 4 se verifica que la corriente (llamada “corriente farádica”) comienza a un potencial de cerca de 1.5 V para el platino; sin embargo, para el diamante dopado con boro (BDD) dicha corriente comienza cerca de 2.5 V. Similar efecto se observa en la región catódica. La energía de la banda prohibida, entre la banda de valencia y la de conducción para estos

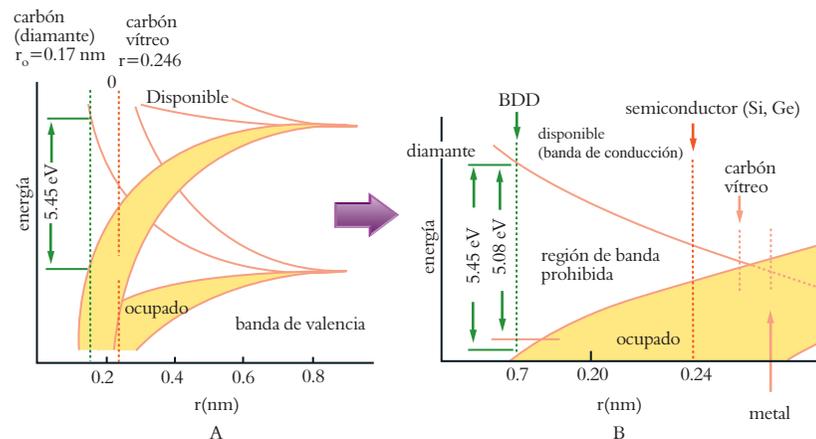


Figura 5. Diagrama de bandas de energía en función de la distancia interatómica (r_0). (Tomada y modificada de http://hyperphysics.phy_astr.gsu.edu/hbase/hframe.html)

dos materiales (figura 5b), confirma el hecho de la diferencia tan marcada en el sobrepotencial y, en consecuencia, en la transferencia de electrones: los electrones deben “saltar” de la banda de valencia a la de conducción y esta barrera de energía es más grande en semiconductores. Además, este sobrepotencial (corriente prácticamente igual a cero) corresponde a la carga del capacitor que se genera en la doble capa o interfase (película cercana a la superficie del electrodo, véase el circuito eléctrico en la figura 2). Por tal motivo, en ocasiones esta corriente se denomina “corriente capacitiva”.

Las transformaciones de la materia vía electroquímica son un tema de interés creciente. Se pueden mencionar por ejemplo las reacciones de la electrooxidación de metanol para aplicaciones de energía portátil; la electrorreducción del oxígeno,^{11,12} reacción importante en pilas de combustible (*fuel cells*) y en la prevención de la corrosión. Actualmente, algunos puntos importantes en las investigaciones en estas áreas se centran en cómo las moléculas interactúan con el sustrato-electrodo (e.g., carbón vítreo-GC-, Pt, Rh, Pd, In), en la relación entre la estructura atómica y

molecular del electrodo, en las secuencias primarias del fenómeno electroquímico y en el desarrollo y caracterización de nanocatalizadores soportados sobre dichos sustratos. En este contexto, el desarrollo de métodos analíticos *in situ* de alta resolución para el estudio de superficies ha esclarecido algunos aspectos que se desconocían en la década pasada. Por otro lado, la electroquímica toma ventaja de metales de transición que actúan como mediadores redox.¹³

Una manera de acelerar el proceso de electrorreducción es modificar la superficie de un electrodo (sustrato) con una subcapa de un metal donador de átomos (*metal ad-atom*) vía depósito electroquímico (*underpotential deposition*).¹⁴ Otra forma es el uso de materiales de estructura similar al carbón (DLC, *diamond-like carbon*), como el BDD, debido a su gran sobretensión catódica (cinética lenta de evolución de hidrógeno y oxígeno) comparada con otros metales y semiconductores.^{10,15}

Finalmente, también se puede mencionar como una alternativa viable el uso de catalizadores metálicos o bimetálicos de tamaño nanométrico depositados sobre sustratos modelo como el carbón vítreo.^{8,11} En efecto, los materiales nanoestructurados han mostrado propiedades convenientes a nivel molecular para su aplicación en ciencia y tecnología, por ejemplo en el diseño y la fabricación de pilas de combustible. En electroquímica, la variación del tamaño de partícula (soportadas o no soportadas) y/o la ruta de preparación, les confiere una configuración eléctrica y geométrica muy particular y, en consecuencia, un ingrediente único para llevar a cabo una reacción electroquímica.

Se ha expuesto aquí un panorama de los conceptos y aplicaciones de la electroquímica. La bibliografía complementa los comentarios de este artículo. Con esto se pretende, en la medida de lo posible, que el lector encuentre en la electroquímica una herramienta adicional para mejorar sistemas establecidos, pero sobre todo despertar el interés hacia esta rama de la ciencia y su explotación de una manera adecuada para el

mejoramiento del medio ambiente y, también, despertar el interés de los jóvenes investigadores mexicanos.

Bibliografía

¹ J.L. Rosenberg, *Química general*, McGraw Hill, 1980.

² M. Samuel H., *Fisicoquímica fundamental*, México, Limusa, 1980.

³ R. Chang, *Química*, México, McGraw Hill, 2002.

⁴ C.R. Metz, *Fisicoquímica*, McGraw Hill, 1976.

⁵ Skooge, West, Holler, Crouch, *Química analítica*, McGraw Hill, 2000.

⁶ A.J. Bard, L.R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, John Wiley & Sons, Nueva York, 2001.

⁷ G. Prentice, *Electrochemical Engineering Principles*, The Johns Hopkins University, Prentice Hall, Baltimore, 1991.

⁸ A. Manzo-Robledo, A.C. Boucher, E. Pastor, N. Alonso-Vante, *Fuel Cells*, 2 (2002) 109.

⁹ M. González Pereira, M. Dávila Jiménez, M.P. Elizalde, A. Manzo-Robledo, N. Alonso-Vante, *Electrochim. Acta*, 49 (2004) 3917.

¹⁰ A. Manzo-Robledo, “Réduction Electrochimique de Composés Azotés à l’Interface Diamant Dopé au Bore-Electrolyte: Couplage avec la Spectrométrie de Masse”, tesis de doctorado, Université de Poitiers, Francia, 2004.

¹¹ H. Yang, W. Vogel, C. Lamy, N. Alonso-Vante, *J. Phys. Chem. B.*, 108 (2004) 11024.

¹² H. Yang, C. Coutanceau, J.M. Leger, N. Alonso-Vante, C. Lamy, *J. Electroanal. Chem.*, 576 (2005) 305.

¹³ S.J. Hsieh, A.A. Gewirth, *Langmuir*, 16 (2000) 9501.

¹⁴ R.R. Adzic, en *Advanced in Electrochemistry and Electrochemical Engineering*, H. Gerischer y C.W. Tobias (comps.), Wiley-Interscience, Nueva York, 1978, Vol. 11, p. 159.

¹⁵ C. Lévy-Clément, N.A. Ndao, A. Katty, M. Bernard, A. Deneuille, C. Comninellis, A. Fujishima, *Diamond and Relat. Mater.*, 12 (2003) 606.

*amanzor@ipn.mx



Josel. Collage.

Nanocúmulos de silicio: hacia el láser de silicio

G. Santana y J.C. Alonso, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Introducción

El silicio es el material por excelencia en la industria microelectrónica. Actualmente, los dispositivos de silicio constituyen más de 95 por ciento de los semiconductores vendidos en todo el mundo. El predominio del silicio en esta industria, respecto de otros semiconductores, se debe a factores como su gran abundancia y disponibilidad en la corteza terrestre, sus buenas propiedades electrónicas, mecánicas y térmicas, los altos niveles de purificación y de control de impurezas que se han alcanzado, las excelentes propiedades de aislamiento eléctrico con que se pueden preparar películas delgadas de compuestos de silicio —como el óxido de silicio y el nitruro de silicio—, la efectividad de estas películas para pasivar la superficie del silicio y para producir barreras para la difusión

y/o implantación de impurezas, y la selectividad al ataque químico y/o por plasma del silicio con respecto a sus compuestos aislantes.

Estos factores, aunados al gran avance en la tecnología planar del silicio y sus compuestos aislantes (preparación de películas delgadas homogéneas sobre áreas grandes), han hecho posible la integración de un número cada vez mayor de transistores y otros dispositivos electrónicos, con dimensiones características cada vez menores, en obleas de silicio cada vez más grandes, consiguiendo un aumento significativo en la velocidad de operación de los microprocesadores de las unidades centrales de procesamiento (CPU) y una reducción importante en el costo por bit. Por ejemplo, en el microprocesador Pentium 4 de Intel, existen aproximadamente



Oscar Gutman, 2005. Gráfica digital de la serie “Andamio para un cielo” (detalle).



Oscar Gutman, 2005. Gráfica digital de la serie "Andamio para un cielo" (detalle).

5×10^7 transistores (MOSFETs), que tienen longitudes de canal o de compuerta de alrededor de 180 nm, mientras que el microprocesador Itanium (McKinley) tiene más de 2×10^8 transistores con longitudes de canal por debajo de los 100 nm. La evolución de los circuitos integrados basados en silicio ha conducido de manera natural y sorprendente a la tecnología llamada nanoelectrónica, en donde los tamaños de los dispositivos han alcanzado dimensiones nanométricas (< 100 nm).

Desafortunadamente, en estos niveles de miniaturización se presentan severas limitaciones en la velocidad de operación de los dispositivos nanoelectrónicos, debido a que las líneas de interconexión se vuelven muy largas y quedan muy próximas entre sí, dando lugar a resistencias (R) y capacitancias (C) parásitas relativamente grandes, que introducen tiempos de retraso RC mayores que los tiempos de encendido o apagado de los dispositivos, así como un calentamiento excesivo por efecto Joule de los microprocesadores. Gracias a que en años recientes se ha dedicado un gran esfuerzo para tratar de reducir las resistencias y las capacitancias parásitas de las líneas de interconexión, mediante la introducción de dieléctricos intermetálicos de baja constante dieléctrica k y el

uso de cobre en lugar de aluminio, ya se está alcanzando un límite en la reducción del tiempo de retraso RC. Por otro

El silicio es el material por excelencia en la microelectrónica y la nanoelectrónica, pero la miniaturización tiene un límite

lado, los dispositivos semiconductores están a punto de alcanzar dimensiones con las que dejarán de funcionar debido a cambios en sus propiedades electrónicas por efectos de confinamiento cuántico.

Optoelectrónica del silicio

Desde hace varios años se ha propuesto, como una de las soluciones más viables para seguir aumentando la velocidad de propagación y procesamiento de señales y de datos en sistemas de cómputo y/o de comunicación, el uso de señales e interconexiones ópticas en lugar de electrónicas. Debido a esto ha surgido un enorme interés, en el ámbito internacional, en torno al desarrollo de una nueva tecnología denominada optoelectrónica o microfotónica del silicio, cuyo objetivo es la integración en obleas de

silicio de dispositivos electrónicos y ópticos basados en el silicio. Cabe señalar que el logro de la integración optoelectrónica completa con base en el silicio y sus compuestos aislantes tendría una influencia significativa en la tecnología de cómputo, despliegues visuales, comunicaciones, y otras tecnologías relacionadas, además de que permitiría seguir reduciendo los costos de los equipos correspondientes. A la fecha ya se ha logrado un cierto grado de integración optoelectrónica sobre obleas de silicio, ya que se pueden fabricar detectores ópticos de alta calidad de silicio, y ya son comunes los arreglos de detectores ópticos fabricados con dispositivos de carga acoplada (CCDs, del inglés *charged-coupled devices*). También es posible, mediante el empleo de películas delgadas de óxidos, nitruros y oxinitruros de silicio, de estequiometría variable, la construcción de guías de onda para la transmisión de señales luminosas.

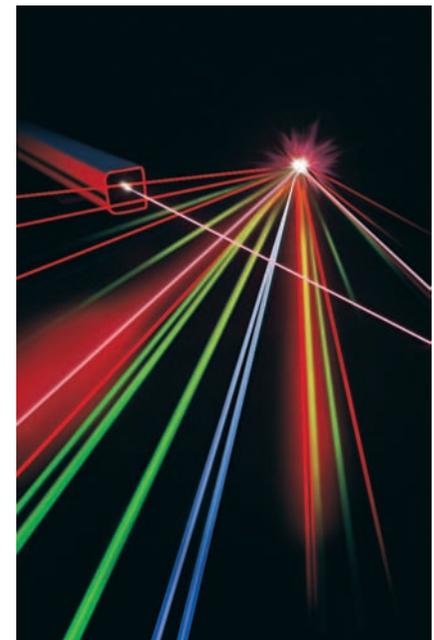


Figura 1.

La integración completa de la óptica y la electrónica requiere, sin embargo, la fabricación de diodos emisores de luz (LEDs, del inglés *light emitting diodes*) y/o láseres de silicio, sobre la misma oblea de silicio que contiene detectores y dispositivos electrónicos. Por desgracia, como es bien sabido, el silicio es un emisor de luz extremadamente ineficiente y por esta razón ha tenido una influencia y un desarrollo muy reducidos en el campo de la fotónica (dispositivos emisores de luz, como LEDs y láseres). En la tecnología actual, los dispositivos semiconductores emisores de luz se fabrican casi exclusivamente a partir de semiconductores compuestos III-V y II-VI, de banda directa, como el arseniuro de galio, el fosforo de indio, el zinc selenio, el nitruro de galio y otros, los cuales tienen eficiencias de emisión de luz mucho mayores que el silicio. A pesar de que en la actualidad existe una gran diversidad (en frecuencias y potencias) de láseres construidos con semiconductores compuestos, su integración directa sobre una oblea de silicio ha probado ser muy problemática. Cabe señalar que el láser, por ser una fuente de luz coherente y de alta densidad de energía, es preferible sobre otras fuentes de luz como los LEDs, ya que la luz incoherente de estos últimos no es suficiente para hacer interconexiones de alta velocidad y densidad, debido a las ineficiencias ópticas para enfocar la luz incoherente.

Relevancia del láser de silicio y factibilidad de su fabricación

Mucho se ha hablado sobre la convergencia de la computación y las comunicaciones en los últimos años, aunque poco sobre el mayor escollo a salvar: las comunicaciones actuales se transmiten por pulsos de luz mientras que los ordenadores se basan en el movimiento de los electrones sobre silicio o cobre.

Sin embargo, es posible que muy pronto se consiga combinar ambos, ofreciendo un vehículo óptico para las CPUs de silicio o incluso usar la luz para computar. Esta es la idea de la computación óptica o fotónica sobre silicio,

que está pasando de los laboratorios académicos a los fabricantes de chips.

“La microelectrónica se enfrenta al problema de que el principal retardo en los circuitos no se debe a la velocidad de las puertas lógicas, sino al cableado” explica Lorenzo Pavesi, un profesor de física experimental de la Universidad de Trento. Es lo que se llama “cuello

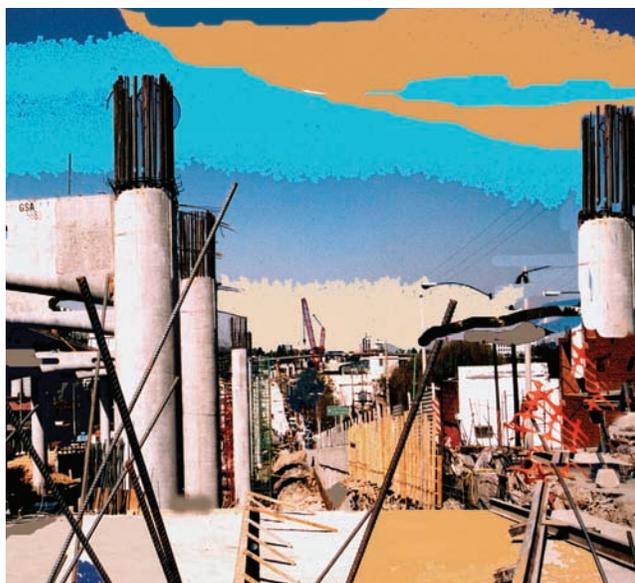
por cables metálicos producen mucho más calor que la luz a través de fibras ópticas.

El láser es la mejor fuente de luz para la transmisión de datos. Si una PC tiene un lector de CD o de DVD, hay un pequeño láser también. Para conseguir la promesa de la fotónica, sin embargo, los fabricantes de chips necesitan poner

La integración de la optoelectrónica depende de que el silicio pueda mejorar su capacidad para emitir luz

de botella de interconexión”. Por si fuera poco, los diseñadores de PCs y de procesadores están preocupados por la potencia disipada en forma de calor, potencia que, de seguir creciendo al ritmo actual, podría hacer que un CPU ardiera. Pavesi asegura que “la fotónica jugará un importante papel en la resolución de estos cuellos de botella”.¹ La luz es inherentemente más eficiente que la electricidad. Es más rápida y se puede multiplexar (una fibra puede transportar varios canales a diferentes frecuencias) y, como cualquier poseedor de una laptop con un procesador Pentium IV puede asegurar, los electrones que se mueven

un láser no en el interior del ordenador, sino en el interior de un chip de silicio: han de construir un láser de silicio. Hoy en día los láseres son relativamente fáciles de fabricar y son bastante comunes en comunicaciones, pero aún son demasiado grandes y caros como para caber en un chip. Para conseguir computación fotónica asequible en un chip, los fabricantes han de conseguir que el propio silicio emita luz láser que se pueda activar y desactivar para transmitir información digital. Desgraciadamente, el silicio no es un buen elemento para fabricar un láser. Se han intentado varias estrategias para conseguir que el silicio



Oscar Gutman, 2005.
Gráfica digital de la serie “Andamio para un cielo” (detalle).

emita luz. Entre las más importantes actualmente se encuentra incluido el uso de nanocristales de silicio para emitir luz visible como un LED (encabezados por el grupo de Pavesi en 2000).² Pavesi afirma que él y otros investigadores han demostrado que ambos métodos permiten no sólo generar luz, sino también amplificarla. “Lo que todavía queda por hacer es implementar estos sistemas con una cavidad óptica (una matriz de espejos que convierta en coherente la luz) en la que inyectar corriente eléctrica (estimulando el silicio con electricidad en vez de con luz) para tener un láser de inyección” dice Pavesi. “Estoy convencido de que los nanocristales de silicio finalmente serán capaces de emitir luz láser”.¹ Otros investigadores le apuestan, sin embargo, al erbio. STMicroelectronics, por ejemplo, afirma que tendrá un láser de silicio–erbio operativo en los próximos años.

El silicio en bulto es un emisor de luz muy ineficiente

La baja eficiencia como emisor de luz del silicio se debe fundamentalmente a que es un semiconductor de banda indirecta y a que su brecha de energía prohibida (gap óptico) es muy pequeña (1.1 eV) y cae en la región de infrarrojo. En la figura 2 se muestra un diagrama

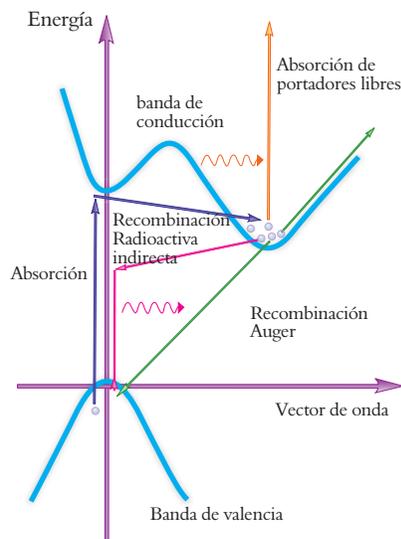


Figura 2. Estructura de bandas del silicio.

Oscar Gutman, 2005.
Gráfica digital de la serie “Andamio para un cielo” (detalle).



de la estructura de bandas (energía, E , en función del vector de onda o momento del cristal, k) de un cristal de silicio, en donde se aprecia que la posición en el espacio k del mínimo de la banda de conducción ($k_{c,\text{mín}}$) no coincide con el máximo de la banda de valencia ($k_{v,\text{máx}}$). La excitación de un electrón de la banda de valencia llena con electrones la

muy largo, del orden de milisegundos.

Esta no es la única limitante, ya que existen láseres de otros materiales caracterizados por centros con tiempos de vida largos. El problema con el silicio es que mientras que esperan que ocurra la recombinación radiativa, los electrones y huecos se mueven, y si se encuentran con un defecto o un centro

El silicio es un semiconductor de banda indirecta con un gap óptico pequeño, por eso es un emisor de luz ineficiente

banda de conducción vacía y origina diversos mecanismos de recombinación electrón–hueco ($e-h$). El proceso de recombinación radiativa o emisión de luz de borde de banda ocurre cuando la energía de recombinación se libera en forma de un fotón. Como la cantidad de movimiento de un fotón es extremadamente pequeña y la energía y el momento del cristal se deben conservar, para que se lleve a cabo este tipo de recombinación es necesaria la emisión o absorción de una tercera partícula tal como un fonón (vibración de la red) de momento $k = k_{c,\text{mín}} - k_{v,\text{máx}}$. Como este proceso es de segundo orden, su probabilidad de ocurrencia es muy baja, lo cual significa que el tiempo de vida radiativo, τ_R , es

de atrapamiento, se pueden recombinar no radiativamente. Normalmente los procesos de recombinación no radiativa son de primer orden, por lo que su probabilidad de ocurrencia es mucho mayor y sus tiempos de vida son típicamente del orden de los nanosegundos. La habilidad de un material para emitir luz está normalmente cuantificada por la eficiencia cuántica interna, que no es más que la razón de la probabilidad de que un par $e-h$ excitado se recombine radiativamente y la probabilidad de que se recombine no radiativamente. Para un silicio grado electrónico su eficiencia cuántica interna es de 10^{-6} . Esta es la razón por la que el silicio es un material con luminiscencia muy pobre.²

No obstante todo lo anterior, debido a la relevancia del desarrollo de la optoelectrónica basada completamente en silicio, en todo el mundo se han realizado numerosos esfuerzos por soslayar de diferentes maneras el inconveniente del gap indirecto, para aumentar su eficiencia luminiscente y obtener dispositivos emisores de luz basados en el silicio. Las estrategias seguidas para lograr este fin son las siguientes: a partir de silicio volumétrico ultrapuro, a partir del silicio nanoestructurado, a partir del silicio dopado con erbio y a partir de cascadas cuánticas de silicio-germanio.

Dispositivos luminiscentes basados en el silicio volumétrico ultrapuro

En el silicio en bulto ultrapuro el número de impurezas que constituyen centros de recombinación no radiativos se reduce al máximo y es posible observar una emisión eficiente de luz. Las superficies también son centros de recombinación no radiativos, por lo que deben ser pasivadas con óxido de silicio o nitruros de silicio. Con esta idea se han seguido dos estrategias para obtener diodos emisores de luz basados en silicio. En la primera se han diseñado diodos en los que se reduce al máximo la recombinación no radiativa: se utilizan sustratos de alta calidad, se pasivan las superficies con óxidos térmicos de alta calidad y se limita el

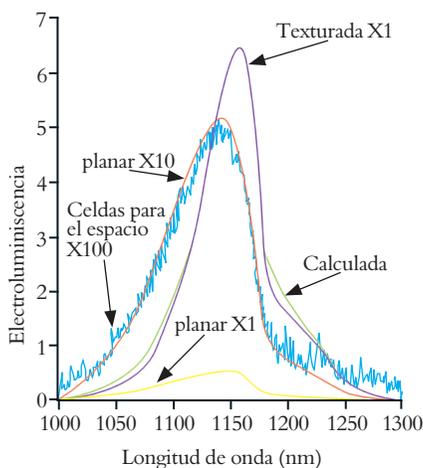


Figura 3. Espectros de emisión típicos de distintos dispositivos emisores de luz basados en el silicio en bulto ultrapuro.

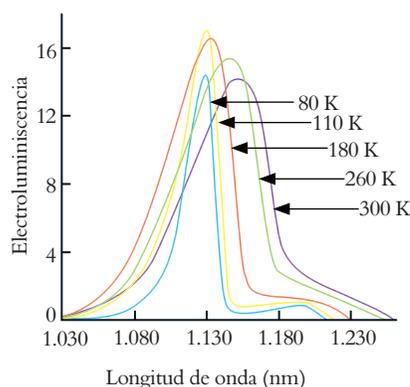


Figura 4. Espectros de emisión típicos en función de la temperatura de los dispositivos emisores de luz basados en el silicio en bulto que emplean dislocaciones para confinar a los portadores y propiciar la recombinación radiativa.

Existen varias estrategias para obtener diodos emisores de luz basados en silicio volumétrico ultrapuro

área de las regiones de dopaje a las áreas de contacto, entre otras medidas.³ De esta manera se obtuvieron diodos con eficiencias de potencia cercanas a uno por ciento. El espectro de electroluminiscencia de los diodos así obtenidos es típico de la recombinación banda-banda y ocurre en la región del infrarrojo cercano (figura 3).

La segunda estrategia para la obtención de dispositivos emisores de luz a partir del silicio en bulto se basa en la creación ex profeso (por medio del esfuerzo mecánico) de dislocaciones. Estas dislocaciones sirven de barrera a la difusión de los portadores, reclusándolos en regiones libres de defectos y por lo tanto favoreciendo la recombinación radiativa. Las eficiencias cuánticas logradas de esta manera son de alrededor de uno por ciento y en la figura 4 se muestran espectros de emisión típicos.

Más recientemente, un nuevo intento por obtener luz láser a partir del silicio fue publicado en la revista *Nature*:⁴ un Laboratorio de Tecnología Fotónica de Intel reveló una manera de superar el obstáculo inicial del uso del silicio como

medio para generar un haz de láser, un efecto en el que los electrones liberados por la energía de los fotones viajeros absorben la luz que atraviesa el silicio y cuyo efecto se potencia sobre todo para altas intensidades de luz.

Un grupo de investigadores del mayor fabricante del mundo de microchips resolvió el problema, llamado absorción de dos fotones, con una técnica propia del mundo de los semiconductores: crearon regiones tipo p^+ y tipo n^+ alrededor del trayecto del rayo (lo que se conoce como estructura PIN), dejando así para el trayecto del láser una zona fuertemente empobrecida que “aspira” a los electrones y evita que ocurra

absorción en la zona por donde pasa el haz láser. En la figura 5 se muestra un esquema del láser de silicio fabricado utilizando el efecto Raman. Un rayo continuo generado a partir de silicio, que es luz infrarroja, podría dejar atrás las limitaciones de costos y tamaño de los actuales sistemas usados en cirugía y comunicaciones, que necesitan materiales más caros y extraños.

No obstante, este descubrimiento aún no sustituye a los láseres semiconductores comunes utilizados en la vida diaria como los lectores de DVD y en equipos de telecomunicaciones. Cabe señalar que bajo esta estrategia la lu-

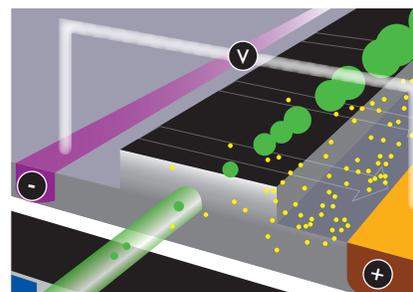


Figura 5. Esquema del láser Raman de silicio.

miniscencia que se obtiene de los dispositivos de silicio en bulto representa energías de alrededor del tamaño de su gap óptico (1.1 eV), que es la región del infrarrojo cercano.

Obtención de dispositivos emisores de luz a partir de silicio nanoestructurado

La obtención de dispositivos emisores de luz a partir de silicio nanoestructurado es una de las estrategias que más éxito ha tenido en los últimos años. Todo comenzó en 1990 cuando Canham⁵ descubrió las propiedades luminiscentes del silicio poroso (SP), obtenido tras realizar un ataque electroquímico en un sustrato de silicio con ácido fluorhídrico (figura 6). Estas estructuras son capaces de luminiscer fuertemente entre el naranja y el rojo a temperatura ambiente. La elevada eficiencia cuántica interna de fotoluminiscencia observada en el SP se explicó gracias a los efectos de confinamiento cuántico que provocan un aumento del gap y mayor probabilidad de recombinación, el confinamiento espacial de los portadores libres impide que alcancen los centros de recombinación no radiativa, la reducción del índice de refracción del material incrementa de esta manera la eficiencia de extracción de la luz a través del material. El trabajo de Canham además de generar una gran especulación en todo el mundo

con respecto a que se estaba a punto de lograr la integración optoelectrónica basada en el silicio, despertó un gran interés en la aplicación del silicio poroso en la tecnología de despliegues visuales (pantallas, señaladores, etc.), que requiere dispositivos que emitan en el rojo, el verde y el azul. Este trabajo también produjo gran actividad de investigación básica (íntimamente ligada a la investigación tecnológica) hacia el logro de un entendimiento de las propiedades fundamentales de este material y de los mecanismos que dan origen a su luminiscencia.⁵

A pesar de lo anterior, las investigaciones tecnológicas subsecuentes indicaron que antes de poder concluir que el SP podía convertirse en la base para

Desde hace diez años existen emisores de luz basados en silicio nanoestructurado a temperatura ambiente

una tecnología optoelectrónica compatible con el silicio se deberían resolver varios problemas.

El problema de la estabilidad de la luminiscencia del silicio poroso (SP) se identificó como uno de los más importantes por resolver, ya que se encontró



Oscar Gutman, 2005. Gráfica digital de la serie "Andamio para un cielo" (detalle).

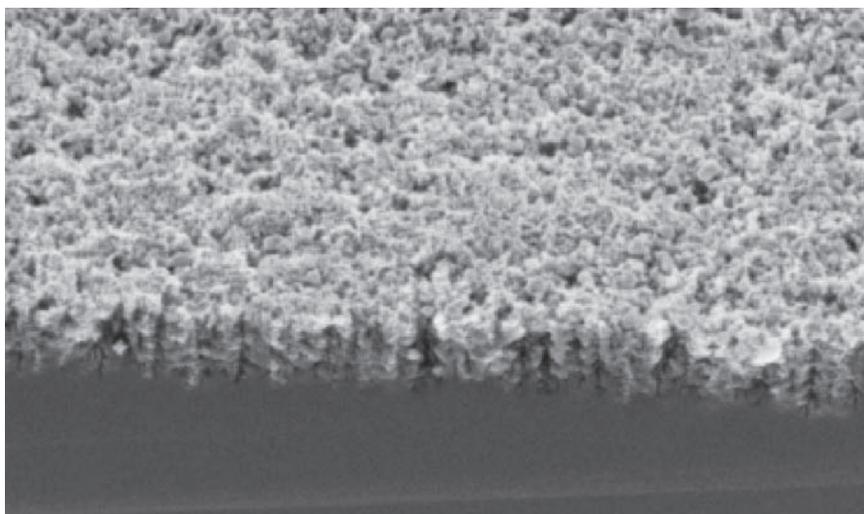


Figura 6. Estructura del silicio poroso.

que la intensidad de luz emitida por una muestra fresca (recién anodizada) de este material se degradaba después de cierto tiempo (disminuía su intensidad) e incluso se llegaba a extinguir, y lo mismo sucedía con los LEDs preparados con SP fresco.

El modelo más aceptado para explicar el origen de la luminiscencia de SP, basado en estudios de su estructura mediante microscopía electrónica y espectroscopia Raman fue el de confinamiento cuántico. Este modelo supone que el SP está formado por regiones de silicio cristalino de tamaño nanométrico separadas por poros llenos de aire como se muestra en la figura 6, y que debido a un efecto de confinamiento cuántico la brecha prohibida de los nanocristales de silicio se incrementa con respecto a la del silicio en bulto, además de que se convierte en una brecha directa.⁶ Bajo este modelo simple, suponiendo que los nanocristales de silicio son cubos de arista L y usando la aproximación de la masa efectiva, se obtiene que la bre-

cha prohibida confinada está dada por $E_{\text{confinada}} = E_{\text{bulto}} + C/L^2$, donde C es una constante que depende de la masa efectiva de los electrones en el nanocrystal.

De acuerdo con esta fórmula y un cálculo aproximado de la constante C , al reducir el tamaño del nanocrystal a dimensiones del orden de 3 nm, se encuentra que $E_{\text{confinada}} \approx 2-2.5$ eV, lo cual explica en buena medida la existencia de transiciones radiativas en el espectro visible (fotones con energías $\sim 1.7-3.0$ eV).

Así, a lo largo de la década de los noventa se obtuvieron dispositivos emisores de luz a partir del silicio poroso con eficiencias cada vez mayores, evolución que se muestra en la figura 7.

Sin embargo, estudios preliminares no mostraron evidencia de amplificación óptica en guías de onda de silicio poroso, lo que frenó su aplicación en la construcción de láseres.

Paralelamente se generó una intensa actividad de investigación básica y tecnológica dirigida hacia la formación, mediante diversos procesos, de

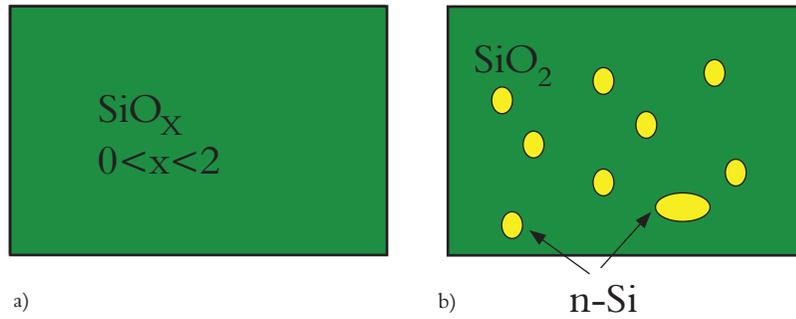


Figura 8. El óxido subestequiométrico de silicio *a)* puede servir de base para la obtención de nanoestructuras de silicio, cuando se somete a tratamientos térmicos que provocan la segregación del exceso de silicio *b)*.

ópticas, electrónicas, etc.⁷⁻¹⁰ Inicialmente la manera más usual de crear estos nanocrystal era a partir del óxido de silicio subestequiométrico con silicio en exceso (figura 8*a*).

En el silicio nanoestructurado obtenido de esta manera es posible observar ganancia óptica. Cuando el óxido subestequiométrico se somete a un tratamiento térmico a altas temperaturas (1000-1300 °C) se produce la segrega-

temperatura ambiente, cuya posición espectral depende del tamaño de los nanocrystal de silicio (figura 9).

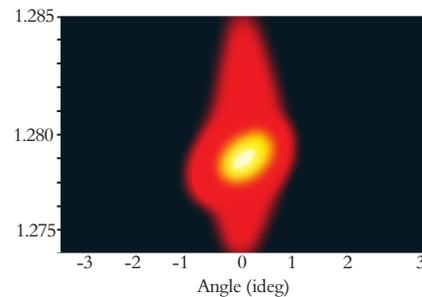
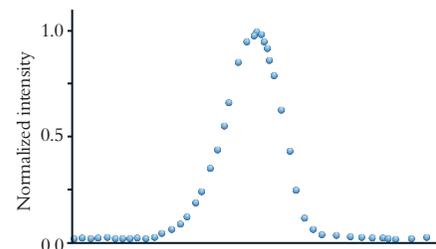
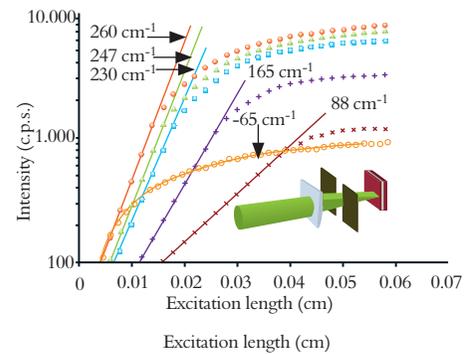


Figura 9. Ganancia óptica y emisión estimulada en nanopartículas cristalinas de silicio, *Nature Materials*, 4 (2005) 887-891.

Las investigaciones avanzan en el sentido de formar nanocúmulos de silicio

nanocúmulos o nanocrystal de silicio (nc-Si), e incluso de otros elementos, embebidos en películas delgadas de diversas matrices aislantes (principalmente SiO_2 , Si_3N_4 , $\text{SiO}_x\text{:H}$, $\text{SiN}_x\text{:H}$), y al estudio teórico y experimental de su estructura, composición, propiedades

de silicio en exceso, formándose las nanoestructuras de silicio dentro de la matriz del óxido (figura 8*b*). Las propiedades luminiscentes del silicio nanoestructurado obtenido de esta manera son muy similares a las del silicio poroso: una ancha banda de emisión a

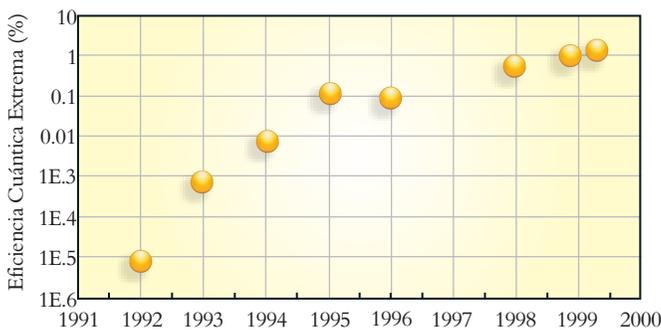


Figura 7. Eficiencia cuántica externa de LEDs basados en silicio poroso obtenidos a lo largo de la década de los noventa.

Las investigaciones realizadas destacan las ventajas y desventajas comparativas del uso de óxido de silicio o nitruro de silicio como matriz para alojar nanocúmulos de silicio y fabricar dispositivos electroluminiscentes. Por ejemplo, como ventaja del SiO₂ se destaca su alta calidad de aislamiento eléctrico (altos voltajes de ruptura) debido a su amplia brecha de energías prohibidas (bandgap ~8-9 eV). Sin embargo, esto origina una altura de barrera de potencial nc-Si/SiO₂ relativamente alta (2.1-3.4 eV), que da lugar a altos voltajes de operación de los LEDs fabricados con nc-Si embebido en películas de óxido de silicio.⁹ En este sentido, el nitruro de silicio por tener una brecha prohibida menor (bandgap~4-5 eV) da lugar a una barrera de potencial nc-Si/Si₃N₄ menor (1.5-2.0 eV), lo cual permitiría en principio reducir los voltajes de operación de los LEDs fabricados con nc-Si embebidos en películas de nitruro de silicio.¹⁰

Para llegar al láser de Si se emplea silicio dopado con erbio, que aumenta la capacidad de transmisión de las fibras ópticas

Estudios recientes señalan también ventajas del hecho de que los nc-Si embebidos en las matrices aislantes sean amorfos en lugar de cristalinos. Debido a que la energía de la brecha prohibida del silicio amorfo en bulto, a-Si (1.6 eV), es mayor que la del silicio cristalino en bulto, c-Si (1.1 eV), se ha predicho que el a-Si es un mejor candidato para producir luminiscencia en el espectro visible, sin necesidad de un confinamiento tan estricto, de acuerdo con la brecha prohibida de los nc-Si correspondiente a cada caso, según el modelo de confinamiento cuántico:

$$\begin{aligned} E_{a-Si \text{ confinado}} &= E_{a-Si \text{ bulto}} + C/L^2 = \\ &= 1.6 \text{ eV} + C/L^2 \text{ para el a-Si, y } E_{c-Si \text{ confinado}} = \\ &= E_{c-Si \text{ bulto}} + C/L^2 = 1.1 \text{ eV} + C/L^2 \end{aligned}$$

Cabe señalar que en la investigación orientada hacia la preparación de nanocúmulos o nanocristales de silicio embebidos en películas delgadas de óxido de silicio y nitruro de silicio destaca el uso de las técnicas de depósito de vapores químicos asistido por plasma (PECVD), debido a que éstas son cien por ciento compatibles con la microelectrónica del silicio. Otro aspecto que destaca es que el gas fuente de silicio más comúnmente utilizado para producir nanocúmulos de silicio embebidos en películas delgadas de dióxido de silicio y nitruro de silicio es el silano (SiH₄) y que, consecuentemente, en la gran mayoría de los casos subsiste el problema de la estabilidad en las propiedades luminiscentes, de absorción óptica y conducción electrónica, debido a la incorporación de hidrógeno en las películas matriz (SiO_x:H, SiN_x:H) que alojan los nanocúmulos.⁷⁻¹⁰

Debido a que los enlaces del silicio con los elementos halógenos (Si-Cl y

Si-F) son mucho más estables que los enlaces S-H, recientemente se ha producido un creciente interés en el uso de fuentes halogenadas de silicio como el SiH₂Cl₂ y el SiCl₄ para el depósito por PECVD de nanocúmulos de silicio embebidos en películas delgadas de nitruro de silicio.¹¹

Nanocristales de silicio acoplados con erbio

Otra de las vías por las que actualmente se intenta llegar al láser de silicio es a través del silicio dopado con erbio. Este material se conoce por su uso en los amplificadores ópticos de las guías de onda y a él se debe el incremento actual en la capacidad de transmisión de las fibras ópticas. En estos amplificadores, una fibra óptica de cuarzo se dopa con iones Er³⁺, cuya transición interna en 1.54 nm

se explota para lograr la amplificación. Hasta hoy, siguiendo esta misma línea, se han obtenido LEDs de silicio dopado con Er que operan a temperatura ambiente. Un hallazgo importante en estas investigaciones fue el notable aumento de la luminiscencia del cuarzo dopado con Er cuando el cuarzo contiene n-Si embebidos.¹² Con este sistema se han diseñado dispositivos emisores de luz MOS con eficiencias cuánticas mayores de uno por ciento. Para los dispositivos de óxido de silicio subestequiométrico dopado con Er se han reportado eficiencias de alrededor de 10 por ciento, si bien todavía no resultan confiables.

El sistema de nanocristales de silicio (nc-Si) dopado con Er es muy prometedor para aplicarlo en láseres por diversas razones: primero, el material activo (Er³⁺ en SiO₂) ya ha demostrado *lasing properties*; segundo, la tecnología para producirlo es compatible con el procesamiento CMOS, y tercero, ya se han demostrado LEDs con una enorme eficiencia, y microcavidades con excelentes propiedades luminiscentes (figura 10), a pesar de todo esto uno de los grandes inconvenientes es que su emisión es en el infrarrojo, lo cual limitaría el número de sus aplicaciones.

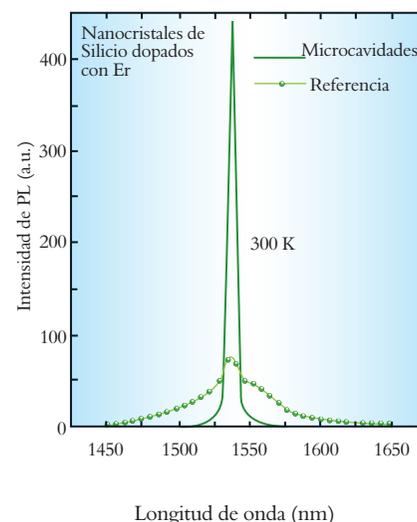


Figura 10. Emisión a temperatura ambiente de una microcavidad de silicio nanocristalino dopado con erbio.



Oscar Gutman, 2005. Gráfica digital de la serie "Andamio para un cielo" (detalle).

Estructuras cuánticas en cascada de Si/Ge

Como alternativas, entre las vías seguidas para obtener el láser de silicio se encuentran las que utilizan las cascadas de silicio-germanio. Una forma de eludir la limitación fundamental del silicio para utilizarlo en láseres (su gap indirecto) es utilizar transiciones intrabanda en lugar de interbandas. Esto es lo que se persigue con los sistemas cuánticos de cascada de Si/Ge. El sistema Si/SiGe ofrece importantes ventajas sobre las heteroestructuras III-V cuando de aplicaciones en láseres de cascadas cuánticas se trata,¹³ pues ofrece la posibilidad de integración monolítica con la microelectrónica del silicio; además, en ellos no está presente la interacción no polar electrón-fonón, proceso dominante en las pérdidas de los láseres III-V de cascada cuántica, y un tercer aspecto favorable es que la energía de los fonones ópticos en el silicio es mucho mayor que en el GaAs (64 meV, comparado con 36 meV), por lo que la ventana de frecuencias dentro de la cual la dispersión por fonones ópticos está suprimida es mayor. Finalmente, la conductividad térmica del silicio es mucho mayor que la del GaAs, lo que significa mejores perspectivas para la operación de los pozos cuánticos a temperaturas no criogénicas (figura 11).

Las investigaciones en este campo en México

En el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, aprovechando la experiencia de un grupo de investigadores en la preparación mediante técnicas PECVD y RPECVD de películas delgadas nanométricas (espesores < 100nm) de silicio y sus diversos compuestos aislantes, y en el estudio de su estructura, composición, propiedades electrónicas y ópticas, se inició un proyecto de inves-

La figura 12 muestra la luminiscencia a temperatura ambiente de nanocúmulos de silicio embebidos en películas delgadas de compuestos de silicio preparadas por PECVD, usando mezclas de SiH₂Cl₂/NH₃/Ar, a distintas presiones: a) 0.2 torr, b) 0.5 torr, c) 1.0 torr. La a minúscula después del nombre de cada muestra indica que es el espectro de la muestra después de haber sido recocida a 1000 °C en una atmósfera de nitrógeno. Los resultados obtenidos de la inves-

En la UNAM se realizan distintas investigaciones con el fin de obtener el láser de silicio y los logros no han sido pocos

tigación que se inserta en esta línea tan importante, cuyo objetivo principal es obtener mediante las técnicas PECVD y RPECVD y el uso de halogenuros de silicio (SiH₂Cl₂, SiCl₄, SiF₄) películas delgadas de nitruro de silicio y óxido de silicio que contengan embebidos nanocúmulos de Si, que presenten una alta eficiencia luminiscente.

tigación realizada hasta ahora son muy alentadores y constituyen una contribución importante hacia la construcción del láser de silicio.¹³

En la figura 13 se muestra una imagen de alta resolución donde aparecen los cúmulos de silicio; en ella puede apreciarse la estructura cristalina de los cúmulos en materiales tal y como fue-

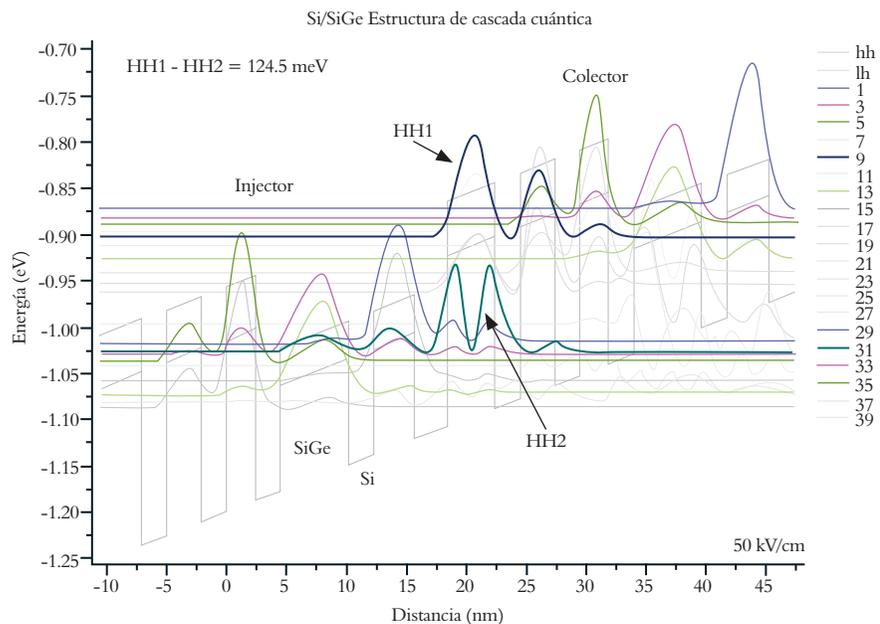


Figura 11. Estructura y emisión de un láser de Si/SiGe en cascada.

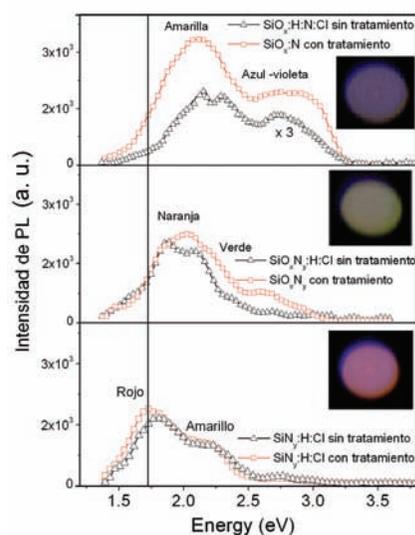


Figura 12. Espectros de fotoluminiscencia de nanocúmulos de silicio embebidos en diferentes compuestos de silicio.

ron crecidos gracias al uso de compuestos clorados de silicio, la distribución de tamaños de los cúmulos obtenidos se encuentran entre 1.5 y 4 nm, lo cual implica que la emisión puede variar en diferentes zonas del espectro visible en función del tamaño y la densidad de los nanocúmulos que prevalezcan y pueden de esta manera sintonizar diferentes colores según las condiciones de crecimiento.¹⁴

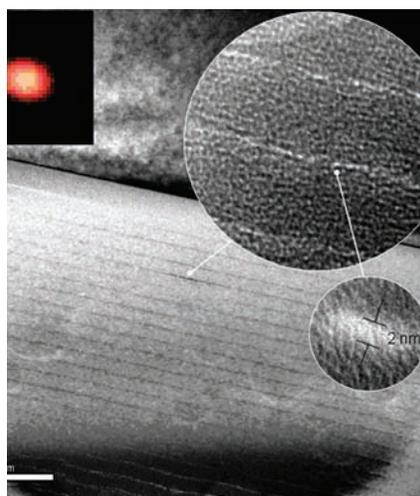
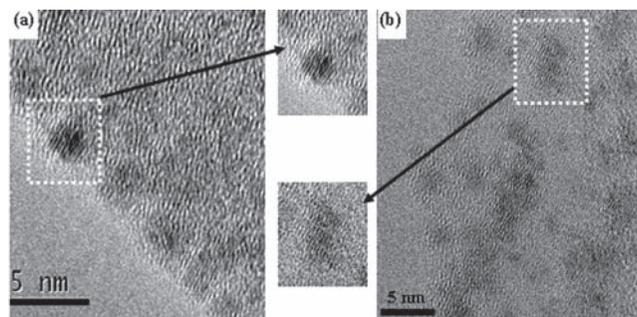


Figura 14. Imagen de alta resolución (HRTEM) donde se aprecia el sistema de pozos cuánticos de tipo $\text{SiN}_x/\text{nc-Si}/\text{SiN}_x$ y la emisión una vez que es excitado con un láser a 325 nm.

Figura 13. Imagen de alta resolución (HRTEM) de nanocúmulos de silicio cristalino embebidos en una matriz de nitruro de silicio.



También en la línea de investigación hacia el láser de silicio, en nuestras instalaciones se llevan a cabo investigaciones dirigidas a la obtención de sistemas de pozos cuánticos del tipo $\text{SiN}_x/\text{nc-Si}/\text{SiN}_x$, con muy buenos resultados en cuanto a eficiencia de emisión.¹⁵ La figura 14 muestra, en una imagen de alta resolución, un sistema de pozos cuánticos de silicio crecidos en las instalaciones de IIM, donde se puede apreciar la estructura de barreras de nitruro de silicio de 20 nanómetros de ancho con pozos cuánticos de silicio cristalino con espesores de 2 nanómetros. También se muestra una imagen del color de la fotoluminiscencia obtenida al ser excitado el sistema con un láser de He-Cd a 325 nm. Esta emisión de color rojizo se produce por confinamiento cuántico en la dirección z del crecimiento.

Como se demuestra en este trabajo, se han obtenido importantes logros tanto en el ámbito internacional como en el nacional en el tema de fotónica cuántica, pero aún falta un buen tramo por recorrer en la ruta hacia el láser de silicio.

Bibliografía

- ¹ L. Pavesi, *Materials Today*, enero, 2005, 18.
- ² L. Pavesi, L. Dal Negro, C. Mazzoleni, G. Franzo, A. y F. Priolo, *Nature*, **408** (2000) 23.
- ³ M.A. Green, J. Zhao, A. Wang, P.J. Reece, M. Gal, *Nature*, **412** (2001) 805-808.
- ⁴ H. Rong *et al*, *Nature*, OJO (2005) 433-292.
- ⁵ L.T. Canham, *Applied Physics Letter*, **57** (1990) 1046.
- ⁶ C. García, B. Garrido, P. Pellegrino, *et*

al, *Physica E*, **16** (2003) 429-433.

⁷ L.Y. Chen, W.H. Chen, F.C.N Hong, *Appl. Phys. Lett.*, **86** (2005) 193506.

⁸ Y. Wang, D. Shen, Y. Liu, J. Zhang, Z. Zhang, Y. Liu, Y. Lu, X. Fan, *Physica E*, **27** (2005) 284.

⁹ K.S. Cho, N.M. Park, T.Y. Kim, K.H. Kim, G.Y. Sung, J.H. Shin, *Appl. Phys. Lett.*, **86** (2005) 071909.

¹⁰ A. Puzder, A.J. Williamson, J.C. Grossman, G. Galli, *Phys. Rev. Lett.*, **88** (2002) 097401-1.

¹¹ S. Coffa, S. Libertino, G. Coppola, A. Cutolo, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, **36**, 10 (2000) 1206.

¹² S.T. Huxtable, A.R. Abramson, C.L. Tien, A. Majumdar, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 10 (2002), 1737.

¹³ G. Santana, B.M. Monroy, A. Ortiz, L. Huerta, J. Aguilar-Hernández, G. Contreras-Puente, J.C. Alonso, "Influence of the surrounding host in obtaining tunable and strong visible photoluminescence from silicon nanoparticles", *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 04 (2006) 1916.

¹⁴ A. Ponce, A. Benami, G. Santana, J.C. Alonso, J. Aguilar-Hernández, G. Contreras-Puente, A. Ortiz, J. Fandiño, D. Romeu, "Structural evolution of nanocrystalline silicon studied by high resolution transmission electron microscopy", *Physics of Status Solidi*, en prensa.

¹⁵ B.M. Monroy, G. Santana, J. Aguilar-Hernández, A. Benami, J. Fandiño, A. Ponce, G. Contreras-Puente, A. Ortiz, J.C. Alonso, "Photoluminescence properties of SiN_x/Si amorphous multilayer structures grown by plasma enhanced chemical vapor deposition", *Journal of Luminescence*, en prensa.

Los polímeros iónicos y sus propiedades en la adsorción selectiva de metales pesados

Selena Gutiérrez, IIM, UNAM; Armando Pineda Contreras, Facultad de Química, Universidad de Colima, y Mikhail A. Tlenkopatchev,* IIM, UNAM.

Introducción

El problema de la contaminación y control de la calidad del agua ha llamado mucho la atención debido a la importancia que tiene para la salud humana. A pesar de los esfuerzos realizados, la contaminación de los ríos, acuíferos y otros cuerpos de agua continúa en aumento. En México sólo se le da tratamiento a 21 por ciento de las aguas residuales generadas, contrariamente a lo que se esperaba, pues en el año 2000 entró en vigor una norma para localidades mayores de 50,000 habitantes, que resultó inadecuada.¹ El origen de la contaminación del agua se debe a varios factores que involucran tanto a la actividad humana (especialmente la industrial) como a la propia naturaleza. Por ejemplo, en las aguas subterráneas las especies inorgánicas potencialmente tóxicas tienen origen natural. Es-

tos contaminantes, al infiltrarse a través del suelo y subsuelo, pueden reaccionar con el material acuífero, cambiar su forma y estructura y modificar sus propiedades tóxicas. En México existen diferentes fuentes de contaminación del agua, entre las principales se encuentran el riego con aguas residuales, el uso de plaguicidas en la agricultura y el manejo inadecuado de residuos urbanos e industriales. Además, las características geológicas del país (importante actividad volcánica e hidrotermal) y la presencia de zonas mineras, propician los procesos de contaminación natural. Se han identificando zonas en aguas subterráneas,¹ con elementos potencialmente tóxicos, como arsénico, flúor y metales pesados, con concentraciones superiores a las indicadas por las normas para agua potable.



Pablo O'Higgins, 1934-1936. *Explotación y riqueza*, fresco (detalle).

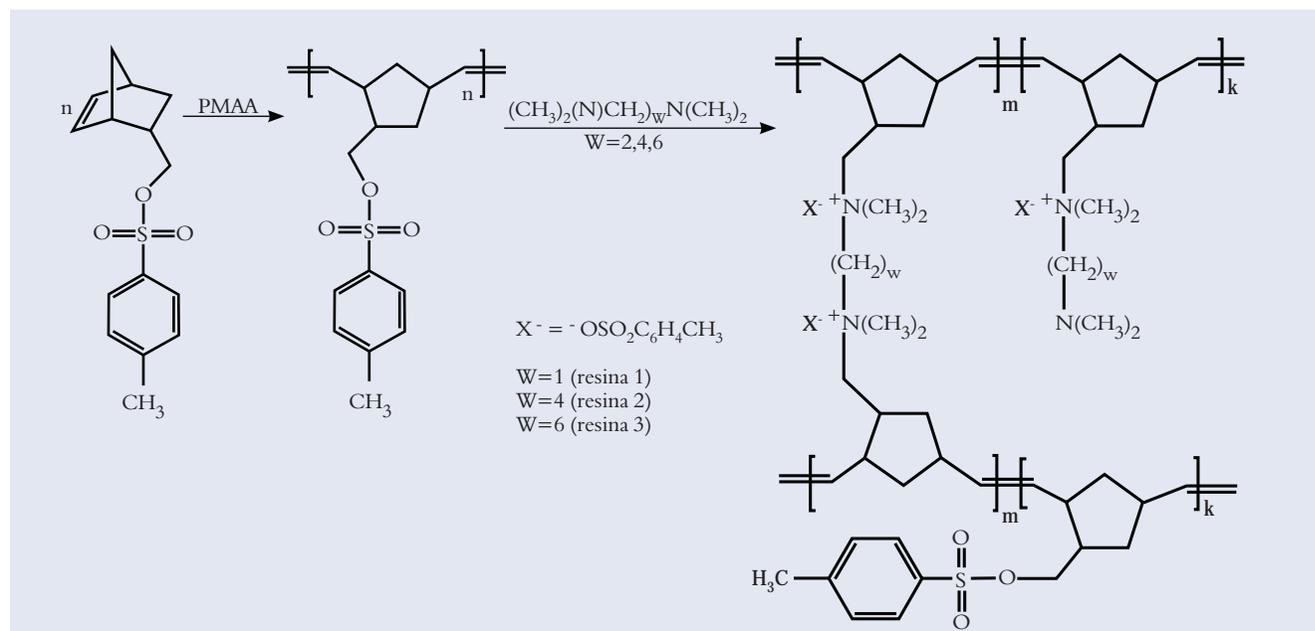


Figura 1. Síntesis de polinorbornileno iónico reticulado.

En los últimos años se ha incrementado el interés en la preparación de polímeros iónicos, debido a sus versátiles aplicaciones como agentes antiestáticos, dispositivos biomédicos, membranas de alta

selectividad, etc. Gracias a la habilidad de los polímeros iónicos para formar complejos polímero-metal, éstos pueden utilizarse para la extracción de diferentes metales en minerales de baja ley y para recuperar metales de residuos de minerales.² Por ejemplo, algunos compuestos de cromo se utilizan ampliamente en la industria del recubrimiento y los desechos de esas industrias pueden contener Cr(VI) en un rango de 15-70 ppm.³ Se sabe que estos compuestos son perjudiciales para la salud humana y, por lo tanto, es importante eliminarlos de los residuos industriales.⁴⁻⁶

velocidad de intercambio del ión y su alta estabilidad química y mecánica.

Existen muchos trabajos de investigación acerca de la preparación de polímeros funcionalizados vía polimerización por metátesis con apertura de anillo (PMAA) de derivados de norbornileno.¹⁰⁻¹² Los monómeros de norbornileno son de gran interés debido a la relativa facilidad con que se pueden introducir diferentes grupos funcionales, a su alta reactividad en PMAA y a la polimerización sin apertura de anillo.¹³ Además, a partir de estos monómeros es posible obtener polinorbornilenos



Pablo O'Higgins, 1936. Momentos de la lucha de los trabajadores de los Talleres Gráficos de la Nación, fresco (detalle).

Los polímeros iónicos pueden utilizarse para recuperar metales en minerales de baja ley o en residuos minerales

Se han reportado muchos trabajos sobre la síntesis y caracterización de un gran número de resinas con propiedades de adsorción de iones de metales pesados.⁷⁻⁹ Las membranas de polímeros son muy atractivas para la extracción de metales debido a su selectividad, su alta

funcionalizados de alto peso molecular y con buenas propiedades mecánicas vía PMAA utilizando catalizadores apropiados.

El éxito del presente trabajo es la síntesis, caracterización y el estudio de la adsorción selectiva de metales pesados.

dos como Cr(VI), Cr(III) y Ni(II) del agua contaminada usando polinorbornilenos iónicos (PNI) entrecruzados, cuya síntesis se realizó como se indica a continuación:

El monómero de norbornileno se polimerizó con catalizadores de vinilideno-rutenio y complejos de rutenio generados *in situ* a partir de $\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_3$ y fenilacetileno.¹⁴ Es importante hacer notar que es difícil realizar la polimerización de norbornilenos que contienen una amina cuaternizada, por su baja solubilidad y su gran capacidad higroscópica. La preparación de polinorbornilenos iónicos es mucho más factible mediante la modificación de polímeros precursores. El polinorbornileno iónico entrecruzado se preparó mediante la modificación de tosilatos de polinorbornileno con N,N'-tetrametildiaminas (figura 1).

En la figura 2 se muestra el espectro de FT-IR del polinorbornileno precursor antes y después de la modificación con N,N'-tetrametil-hexametilendiamina. El espectro muestra una señal intensa a 3426 cm^{-1} correspondiente al grupo N-CH₃, una señal ancha entre $2860\text{--}2968\text{ cm}^{-1}$ correspondiente a la elongación del enlace C-H, en 3059 cm^{-1} aparece la señal del enlace C-H aromático y la señal a 954 cm^{-1} correspon-

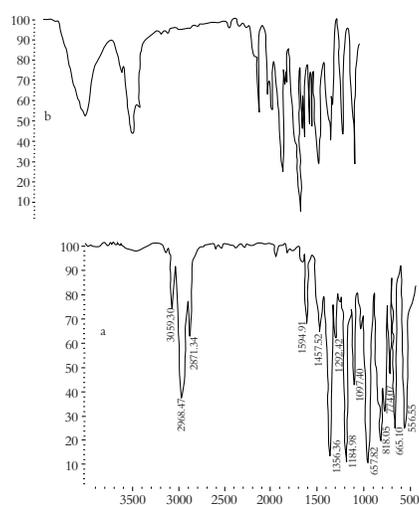


Figura 2. Espectros de IR-FT de polinorbornileno a) antes y b) después de su modificación con N,N'-tetrametil-hexametileno-diamina.



Pablo O'Higgins, 1934-1936. *La vida de los campesinos*, fresco (detalle).

de al doble enlace *trans* del polímero.⁶

Se sabe que la actividad de las resinas en la adsorción de metales depende, particularmente, de la difusión del metal en

Los polímeros iónicos que se prepararon utilizando N,N'-tetrametilendiamina (resina 1) y N,N'-tetrametilbutilendiamina (resina 2) demostraron poca

La preparación de polinorbornilenos iónicos es factible con la modificación de polímeros precursores

el polímero. Por ejemplo, impedimentos estéricos debidos a la matriz polimérica algunas veces limitan la habilidad de coordinación de las resinas. Se ha observado que la capacidad del PNI en la adsorción de metales depende de la estructura de las diaminas entrecruzadas.

capacidad en la adsorción de metales comparados con el PNI preparado con N,N'-tetrametilhexametildiamina (resina 3). La capacidad de adsorción para los iones Cr(VI), Cr(III) y Ni(II) de las resinas obtenidas a pH igual a uno se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Capacidad de adsorción máxima de resinas para iones de cromo y níquel a pH = 1.

Resina	mmol/g resina		
	Cr(VI)	Cr(III)	Ni(II)
1	1.5 ± 0.1 (76%)	1.4 ± 0.1 (72%)	1.0 ± 0.1 (58%)
2	1.7 ± 0.1 (87%)	1.7 ± 0.1 (86%)	1.1 ± 0.1 (67%)
3	1.8 ± 0.1 (95%)	1.8 ± 0.1 (97%)	1.3 ± 0.1 (78%)

En paréntesis, el porcentaje de adsorción de las resinas para iones metálicos.

Tabla 2. Porcentaje de cromo Cr(VI), de cromo Cr(III) y de níquel Ni(II) adsorbido en función de tiempo, para la resina 3, a pH = 1.0 del agua contaminada.

Ion metálico	Tiempo (min)				
	20	40	60	90	180
Cr(III)	83.9	91.9	95.3	96.5	96.8
Cr(VI)	80.6	89.5	94.6	95.2	95.4
Ni(II)	60.3	71.1	76.2	78.4	-

Tabla 3. Porcentaje de cromo Cr(VI), de cromo Cr(III) y de níquel Ni(II) adsorbido en función de tiempo, para la resina 3, a pH = 3.0 del agua contaminada.

Ion metálico	Tiempo (min)				
	20	40	60	90	180
Cr(III)	45.9	55.7	60.3	64.7	64.9
Cr(VI)	38.2	50.5	57.4	58.4	-
Ni(II)	62.7	79.1	85.8	89.9	91.2

Los porcentajes de retención de iones metálicos como una función del tiempo de agitación, a temperatura ambiente; para la resina 3, se muestran en la tabla 2 para pH=1 y en la tabla 3 para pH=3.

En estas tablas se observa que el tiempo necesario para la completa saturación en la capacidad de adsorción de la resina 3 para los iones Cr(VI) y Cr(III) es de 20 minutos. Asimismo, se aprecia que un incremento del pH disminuye la habilidad de coordinación de la resina para los iones de cromo. Este comportamiento se explica al considerar el mecanismo de retención como un intercambio aniónico en el que están involucradas las especies $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ y CrO_3^{3-} . En la figura 3 se presenta el posible mecanismo de remoción de Cr(VI) por la resina.

La adsorción de Ni(II) en la resina 3 se incrementa con el aumento del pH (tablas 2 y 3). Este resultado sugiere que el incremento del pH promueve una fácil complejación de Ni(II) con los grupos amina $\text{N}(\text{CH}_3)_3$ de las resinas de polinorbornileno. Los espectros de

FT-IR de la resina 3 saturada de iones Ni(II) presentan una nueva banda a 567 cm^{-1} que indica la presencia de grupos amina coordinados con Ni(II).

En la figura 4 se muestra la efica-

cia de la resina 3 para la adsorción de Cr(VI) del agua contaminada. Como se observa, a pH=1, después de 25 horas, se logra una retención de Cr(VI) de cien por ciento. Además, si se añade una nueva porción de agua contaminada con Cr(VI), la adsorción de la resina 3 no se detiene, por lo que ésta continúa activa (en la figura se indica con una flecha el momento de adición de nueva agua contaminada). Finalmente, en la misma figura se observa que la desactivación de la resina 3, a pH=3, ocurre después de que se alcanza 85 por ciento de recuperación de Cr(VI).

La desorción de iones Cr(VI) de las resinas se llevó a cabo utilizando ácido clorhídrico con varias concentraciones (tabla 4). Se observa que el HCl con una concentración 1M es muy efectivo y conduce a una completa desorción de los iones de la resina. El análisis de los porcentajes de elusión de Cr(VI) de las resinas, tanto en medio ácido como en medio básico, muestran que el cromo que se desorbe de las resinas gracias al ácido (HCl a 1M) es mayor de 60 por ciento. Cuando se utiliza el medio básico (NaOH a 1M) para la desorción, el porcentaje de elusión es de 85 por ciento. Es importante hacer notar que

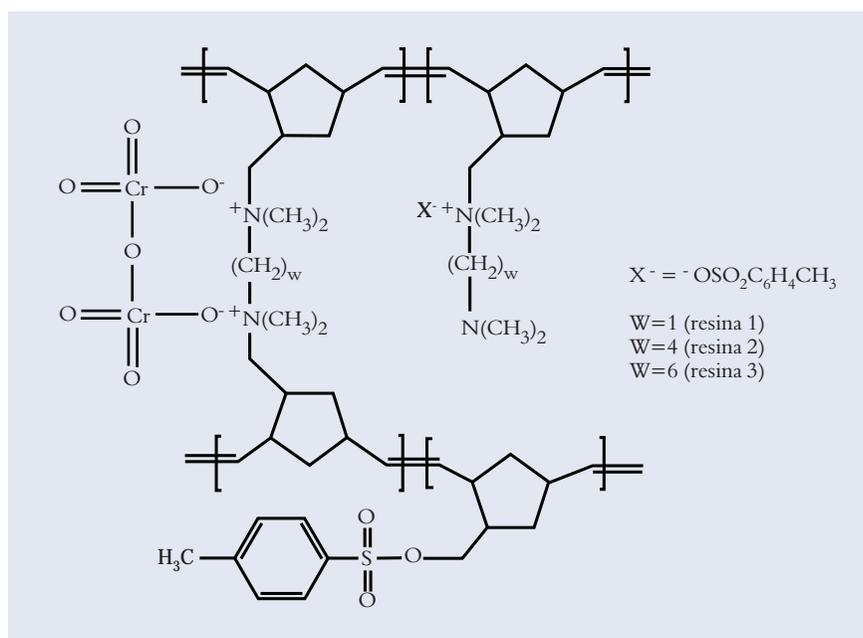


Figura 3. Posible mecanismo de la remoción de Cr(VI) debido a la resina.

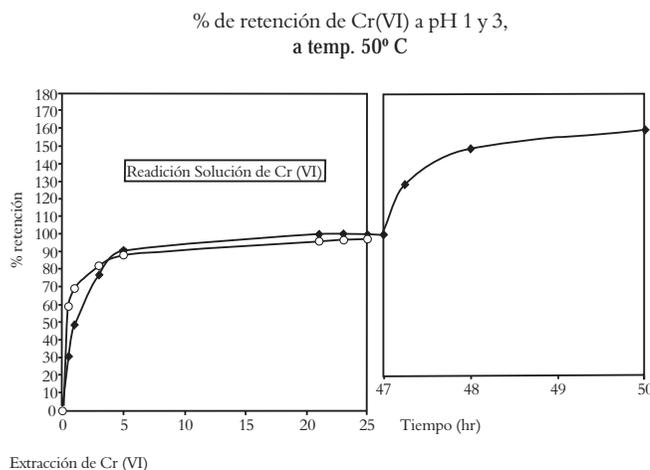


Figura 4. Porcentaje de retención de Cr(VI) del agua contaminada con la resina 3, a pH=1 y pH=3.

la desorción de Cr(VI) de la resina 3 con la base, seguido por el tratamiento con el ácido, es muy alta; la desorción del cromo es de 95 por ciento, de 80 por ciento para la resina 2 y de 76 por ciento para la resina 1. Además, no se observan cambios en la capacidad de la resina 3 después de tres ciclos de operación de adsorción y desorción. Se encontró que el porcentaje de degradación del tamaño de partícula está entre 1.5 y 2 por ciento.

Conclusiones

Se sintetizaron y caracterizaron tres nuevas resinas de polinorbornileno iónico para la adsorción selectiva de los iones Cr(VI), Cr(III) y Ni(II). Las propiedades de complejación de iones metálicos de las resinas (1-3) dependen del pH y de la estructura de las diaminas entrecruzadas. Los polímeros iónicos que se prepararon con N,N'-tetrame-

tiletilendiamina (resina 1) y N,N'-tetrametilbutilendiamina (resina 2) como agentes entrecruzantes mostraron una habilidad pobre de adsorción de metales comparada con el polinorbornileno iónico preparado con N,N'-tetrametilhexametilendiamina (resina 3). La resina 3 es altamente selectiva para Cr(VI) y Cr(III) a pH=1 y no cambia su capacidad después de tres ciclos de operación de adsorción y desorción.

Agradecimientos

Agradecemos a Conacyt por la ayuda otorgada para esta investigación con el contrato número 25086A. También agradecemos a Miguel A. Conseco, Juan M. García L. y Rubén Gaviño por su ayuda en los análisis de IR, GPC y RMN.

Bibliografía

¹ Primer Encuentro Universitario del

Agua, 10-11 de octubre de 2006, Co-coyoc, Morelos.

² A. Warshawsky, en *Ion Exchange and Sorption Processes in Hydrometallurgy*, M. Streat, D. Naden (comps.), Wiley, Nueva York, 1987.

³ G.R. Smithson, *Water Pollution Control Research Series, Environmental Protection Agency*, Washington, 12010, EIE, 03, 1971.

⁴ R.B. Haynes, *Topics Environ Health*, **5** (1985) 221.

⁵ J.I. Kim, J. Zoltek, *Progress in Water Technology*, **9** (1977) 143.

⁶ A.R. Bowers, C.P. Huang, *Progress in Water Technology*, **12** (1980) 629.

⁷ B.L. Rivas, H.A. Maturana, E. Pereira, *Angew. Makromol. Chem.*, **220** (1994) 61.

⁸ B.L. Rivas, H.A. Maturana, I.M. Peric, *Polym. Bull.*, **33** (1994) 195.

⁹ B.N. Kolarz, J. Jezienska, D. Bartkowiak, A. Gontarczyk, *React. Polym.*, **23** (1994) 53.

¹⁰ L. José, V. N. Pillai, *Macromol. Chem. Phys.*, **197** (1996) 2089.

¹¹ M.A. Tlenkopatchev, E. Mirando, M.A. Canseco, R. Gavino, T. Ogawa, *Polym. Bull.*, **34** (1995) 385.

¹² M.A. Tlenkopatchev, S. Fomine, L. Fomina, R. Gavino, T. Ogawa, *Polym. J.*, **29** (1997) 622.

¹³ M.A. Tlenkopatchev, S. Fomine, E. Mirando, L. Fomina, T. Ogawa, *Polym. J.*, **27** (1995) 1173.

¹⁴ V. Maya, A.P. Contreras, M-A. Con-seco, M.A. Tlenkopatchev, *React. Funct. Polym.*, **49** (2001) 14

tma@servidor.unam.mx

Tabla 4. Porcentaje de recuperación de cromo Cr(VI) en medio ácido y básico.

Resina	HCl		NaOH	
	1M	4M	0.25M	1M
1	76.8	78.9	65.7	76.2
2	78.2	80.3	72.7	78.9
3	94.8	88.4	86.9	92.7

Pablo O'Higgins, 1948-1949. *La importancia de la educación*, fresco (detalle).



PONA, S.A. DE C.V.

Equipo para Laboratorio
Soporte Técnico
Asesoría en Aplicación



MATRIZ
TREVINO 1233 PTE. CENTRO
C.P. 64000 MONTERREY, N.L.
TEL: (81) 83-74-18-50 FAX: (81) 83-75-62-66
E-MAIL pona@infosel.net.mx

SUCURSAL MÉXICO
INSURGENTES CENTRO 132-303
C.P. 06470 MÉXICO, D.F.
TEL: (55) 55-66-48-50 FAX: (55) 55-66-44-66
E-MAIL ponamex@infosel.net.mx

SUCURSAL GUADALAJARA
VIOLETA 226 INT. 8 COL. SAN CARLOS
C.P. 44421 GUADALAJARA, JAL.
TEL/FAX: (33) 36-50-04-50
E-MAIL ponagdl@prodigy.net.mx

Los nuevos materiales en arquitectura y construcción de edificios en México

Silverio Hernández Moreno,* Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma del Estado de México.

Introducción

Este artículo pretende ofrecer un panorama general de los nuevos materiales y sus aplicaciones en la industria de la construcción, dirigido principalmente a sectores y personas afines al área de la construcción, arquitectura e ingeniería civil; así como dar a conocer un breve estado del arte de los nuevos materiales y sus aplicaciones.

Uno de los objetivos del artículo es la divulgación en el área de materiales, para tratar de incluir y de interesar en estos temas a los profesionistas dedicados al campo de la construcción, ya que los materiales constructivos se usan en la vida cotidiana, tanto en la actividad profesional de arquitectos, ingenieros y constructores como en la vida estudiantil.

¿Qué entendemos por nuevos materiales?

Los nuevos materiales son resultado de investigaciones recientes sobre productos novedosos para requerimientos inéditos y ofrecen nuevas aplicaciones.¹ En la industria de la construcción, estos nuevos requerimientos en materiales son principalmente la necesidad de reducir el peso en los edificios y hacerlos más resistentes, por lo tanto, los nuevos materiales serán más ligeros y con mayores resistencias mecánicas (tensión, compresión, cortante, torsión, flexión, térmica y acústica).

En general, los nuevos materiales también mejoran las propiedades y características de materiales existentes o del pasado, porque son innovadores y de manufactura reciente y original.²



Olga Costa, 1985. *La mesa roja*. Óleo sobre tela 110 × 120 cm (detalle).

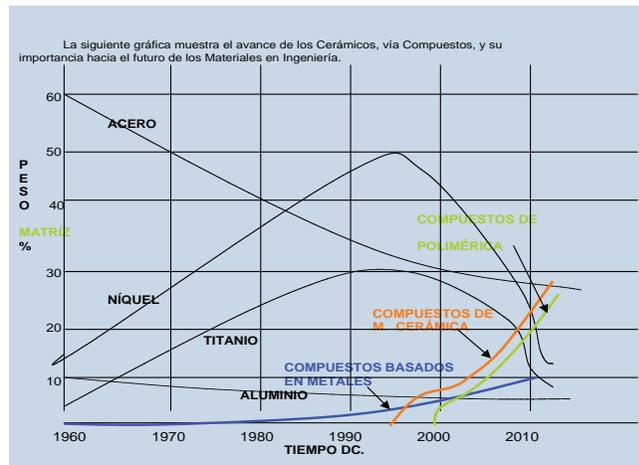


Figura 1. Evolución y prospectiva de los distintos tipos de materiales en el mundo.¹

Los campos de acción de los nuevos materiales son las industrias aeronáutica, química, electrónica, automotriz y de la construcción, entre otras.

Para su estudio, los nuevos materiales se clasifican³ en cerámicos, poliméricos, metálicos y compuestos, que son combinaciones de los tres anteriores y se clasifican según su matriz de liga y los dispersoides que los conforman.

Matriz de liga y dispersoides

Un material compuesto se forma principalmente de dos partes, una que aglutina el material y que se llama matriz de liga, y otra que se llama dispersoide o agregado y que es la parte aglutinada por la matriz, la que le da propiedades definidas al material resultante.²

Un ejemplo conocido de un material compuesto para la industria de la construcción es el concreto, cuya matriz de liga es el cemento y los dispersoides son los agregados de arena y grava. En los materiales de construcción, la matriz de liga juega un papel primordial para la conformación de los elementos constructivos, ya sean prefabricados o fabricados en el sitio; por ejemplo, la cal, el yeso y algunas puzolanas naturales. Por otro lado, los dispersoides en los materiales de construcción constituyen el elemento aglutinado y de mayor volumen dentro del material, y los más usados en la industria de la construcción son arenas, gravas, arcillas, además de fibras metálicas, poliméricas y

en un futuro no muy lejano el uso de fibras cerámicas para la fabricación de elementos constructivos de uso común. La función o papel principal de los dispersoides, también llamados agregados, es dar volumen y consistencia al material, porque sin dispersoides la matriz no tendría nada que aglutinar y sufriría, por sí sola, contracciones y esfuerzos que dañarían mecánicamente el material y los productos realizados con él.

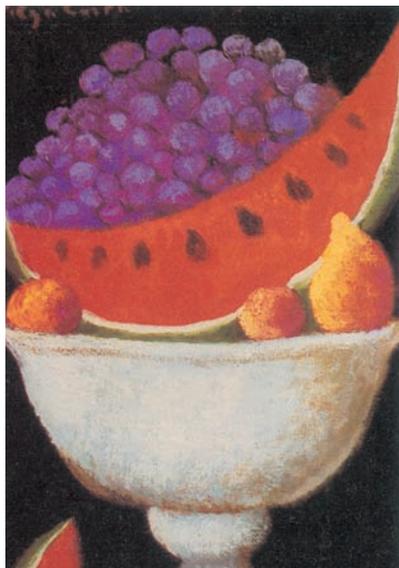
Nuevos materiales constructivos

Los nuevos materiales constructivos son aquellos que se emplean actualmente, de forma innovadora, en la edificación y, como su nombre indica, en la construcción en general; se consideran innovadores porque mejoran las características y propiedades de los materiales existentes o de los del pasado y también porque son materiales originales no fabricados antes. Estos últimos son principalmente compuestos que provienen de la combinación de materiales de matriz cerámica, metálica y polimérica, con dispersoides o agregados del mismo origen, principalmente destinados a aplicaciones en acabados, cerramientos y elementos de estructura en edificios; tienen propiedades de mejoramiento en la resistencia mecánica, térmica y acústica,⁴ así como características ecológicas: reciclamiento, durabilidad y disminución de agentes contaminantes.

La resistencia mecánica en los materiales de construcción desempeña un papel muy importante en la fabricación de elementos constructivos como pisos,



Figura 2. Placas de concreto ligero aireado, un nuevo material fabricado con matriz de cemento Portland y dispersoide o agregado de arena y polvo de aluminio como agente aireador. El agente aireador es el agregado o aditivo que se incorpora a la mezcla de cemento y arena para introducir miles de burbujas de aire dentro del compuesto en el momento de secar y fraguar, lo cual hace que el material sea más ligero.



Olga Costa, 1968. *Frutero con sandías*. Óleo sobre tela 40.5 × 20.5 cm (detalle).

techos y muros, ya que para la construcción de estos elementos se requieren altas resistencias de compresión, tensión, cortante, flexión y torsión, que generalmente se mide en kg/cm^2 ; además de una densidad del material poco elevada, es decir que sean materiales ligeros o de escaso peso, lo cual se mide en kg/m^3 . La resistencia mecánica se mide mediante pruebas en el laboratorio con maquinas como la Universal.

La resistencia térmica y la acústica son propiedades importantes en la construcción del envolvente o los cerramientos de los edificios, ya que al mejorarse las propiedades de aislamiento tanto térmico como acústico se mejora la comodidad en el interior de la construcción, además de disminuir los gastos energéticos en los edificios. La conductividad térmica se mide en 1 watt por metro kelvin $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, que es la conductividad térmica de un cuerpo homogéneo isótropo, en la que una diferencia de temperatura de un kelvin entre dos planos paralelos cuya área sea un metro cuadrado y distantes entre sí un metro, produce entre estos planos un flujo térmico de un watt. La resistencia acústica es la propiedad que tienen los materiales para conducir o rechazar el sonido.

Tabla 1. Uso de materiales cerámicos en la construcción

Material de matriz cerámica*	Usos en la construcción y la arquitectura
Óxido de berilio (BeO)	Le brinda a las capas de revestimiento cerámico mayor dureza (alrededor de 1300 kf/mm^2) y mayor resistencia a la compresión (hasta 1850 MPa), asimismo ofrece mejores propiedades anticorrosivas; su uso en la construcción se centrará en recubrimientos cerámicos para pisos y paredes en condiciones especiales de corrosión e intemperie, y también como aislante en piezas eléctricas. Se está experimentando también a nivel nanotecnológico. ⁶
Grafito y fibra de carbono (C)	Estos materiales se emplean para elevar las resistencias mecánicas, por lo que se usan en la construcción de piezas especiales para alta resistencia en estructuras de edificios (conexiones de marcos); en combinación con resinas de polímeros se forma un compuesto de muy alta resistencia mecánica (resistencia a la tensión de 5650 Mpa). El grafito posee además excelentes propiedades térmicas y eléctricas. Están en etapa de investigación y tendrán también un desarrollo nanotecnológico.
Cerámicas comunes: arcillas, feldespatos, aluminatos y silicatos (principalmente silicatos de aluminio hidratado)	En combinación con materiales metálicos se pueden obtener cermets, herramientas de corte, etcétera, y solos, baldosas, vitrocerámicas, bloques de cerámica para muros, tejas y otros recubrimientos y acabados.
Cerámicas reforzadas con fibras: alúmina (Al_2O_3), titanio (Ti) y carburos (SiC y TiC)	Se pueden obtener piezas especiales de construcción con prefabricados para el caso de estructuras y cerramientos de edificios, materiales aislantes, piezas para mampostería (bloques huecos), tuberías, pisos, baldosas y refractarios.
Porcelana y gres (arcillas blandas en combinación con cuarcita, diorita, magnesita y otros materiales similares)	Ofrece materiales con gran capacidad aislante y moldeable para piezas en instalaciones eléctricas y para su posible uso en revestimientos para paneles laminados prefabricados.
Vidrio: sílices fundidas, arenas y cales (SiO_2)	En la fabricación de vidrio para ventanas, domos y bloques para muro, y en combinación con otras sustancias cerámicas y metálicas para fabricar vidrios moduladores de luz, por ejemplo mediante la aplicación de películas delgadas.
Concreto y morteros comunes: con base en el cemento Portland (arcillas, calizas y puzolanas)	Es el material de construcción más usado en el mundo junto con el acero, para la construcción de estructuras y cerramientos.
Cermets: óxidos y partículas metálicas con fases cerámicas (una fase es donde los materiales se combinan a determinada temperatura y se transforman en un compuesto)	Tuberías industriales, herramientas de corte, toberas, paneles laminados reflectantes. También se está estudiando su posible uso en estructuras para edificios: conexiones para marcos de estructuras de concreto y/o acero.

* Material que contiene como materia principal y aglutinante cerámicas y/o vidrios.

Aplicación de los nuevos materiales en arquitectura y construcción

Los nuevos materiales, además de ser más resistentes y tener mejores propiedades, deben ser lo menos contaminantes posible para el medio ambiente a lo largo del ciclo de vida de un edificio o construcción;⁵ los materiales son por lo tanto amigables para su entorno cuando se fabrican con materiales que se puedan reciclar, reusar o que provengan de materias primas que, en el momento de su extracción, transformación y producción consuman la menor cantidad de energía, agua e insumos varios.³

Las tablas 1, 2 y 3 muestran las aplicaciones más importantes de los nuevos materiales en los sectores de la construcción y la arquitectura.

Nótese que aunque algunos de los materiales metálicos que se enlistan en la tabla 3 no son nuevos ni de reciente invención, al combinarse con otros materiales metálicos pueden formar nuevas aleaciones que mejoran muchas de las características y propiedades de los anteriores.²

Conclusiones

Se concluye que los materiales abarcan numerosos campos de aplicación y que tienen que ver con la mayoría de las industrias en el mundo; en la industria de la construcción, los materiales son de gran importancia porque esta industria exige cada día mejores soluciones a dis-



Olga Costa, 1974. *Caserío Vertical*. Crayola y tinta 17 × 12 cm (detalle).

Tabla 2. Uso de materiales poliméricos en la construcción

Material de matriz polimérica*	Usos en la construcción y la arquitectura
PE, PP (polietileno, polipropileno) SPECTRA® (fibra de polietileno) Kevlar®	Polímero termoplástico fácil de reciclar, se usa en cubiertas para techo, fibras para concreto, tuberías para drenaje e instalaciones hidráulicas, canalones y otros accesorios.
PVC (cloruro de polivinilo)	También de fácil reciclamiento, se usa principalmente en tuberías, ventanas y puertas, accesorios para techos y plafones, y cubiertas de pisos y techos.
Bitumen Bitumen modificado (APP y SBS)	Se usa como impermeabilizante y en carpetas y pavimentos asfálticos. Para techumbres, canalones y accesorios.
EPDM (elastómero de dieno monómero de etileno-propileno)	Es termoplástico y por lo tanto se puede reciclar; se usa principalmente como caucho sintético en diversas aplicaciones.
Poliuretano	Láminas para plafón, juntas y selladores de construcción.
EPS (poliestireno expandido y extruido)	Para aligerar estructuras y muros.
Resina alquidámica	Pinturas y selladores alquidámicos.
Resina acrílica	Pinturas y selladores acrílicos.
Silicón	Plástico mineral usado como semiconductor.
Poliéster	Cubiertas para muros y tapices.
Vinilo	Material para cercas, paredes divisorias, marcos de ventanas y puertas, y pisos.
Acrílico	Tragaluces, bloques prefabricados para domos y muros divisorios.

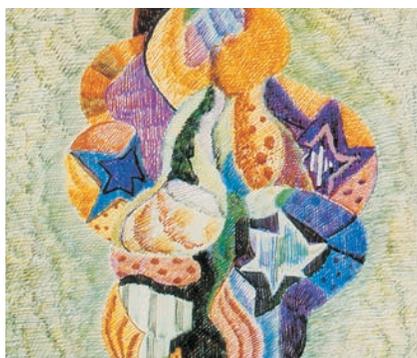
*Material que contiene como materia principal y aglutinante materiales sintéticos de tipo plástico o polímeros.

Tabla 3. Uso de materiales metálicos en la construcción

Material de matriz metálica*	Usos en la construcción y la arquitectura
Acero estructural	El material metálico más usado en el mundo de la construcción, en estructuras, cubiertas y soportes.
Aluminio (Al- Mg)	Usado en la fabricación de cancelería, puertas, ventanas, domos, mobiliario, y soporte para muros, fachadas, etc.
Zinc (Zn- Cu, Zn- Ni)	Su fabricación es contaminante, pero se emplea en aleaciones especiales, pinturas, galvanizados, etc.
Cobre (Cu-Zn, Cu-Ni)	Usado en tuberías para instalaciones hidráulicas, como conductor en instalaciones eléctricas, etc.
Hierro (Fe-C)	Tuberías, ventanas y puertas, y accesorios como tapas, clavos, etc.
Titanio, cadmio, boro, etc. (y sus combinaciones para formar aleaciones especiales)	Su aplicación en la construcción aún está en investigación, pero se están probando aleaciones superresistentes para materiales estructurales, anticorrosivos, tanto en láminas como en fibras para refuerzos de compuestos.

*Material que tiene como materia principal o única a los metales.

tintos requerimientos en la edificación; por lo tanto, se proporciona un panorama muy general de la situación de los materiales empleados en la construcción y sus posibles usos y aplicaciones. Estas líneas ponen de manifiesto que en la industria de la construcción, como en otras, se requieren nuevos materiales que satisfagan las necesidades por venir.



Olga Costa, 1976. *Composición No.7*. Plumil 16 x 22 cm (detalle).

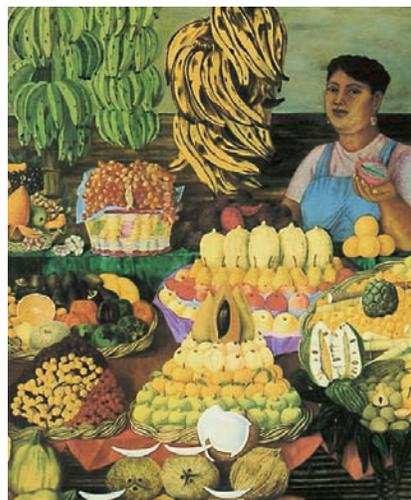
Se concluye también que los principales materiales del futuro serán compuestos formados por materiales cerámicos, poliméricos y metálicos; y que además la producción de nuevos ma-

Los nuevos materiales permitirán innovaciones arquitectónicas porque sus características serán mejores

teriales no sólo dependerá de mejorar las propiedades y características de los mismos, sino de preservar los recursos naturales y aprovecharlos de la mejor manera para dañar lo menos posible el ambiente.

Agradecimientos

Agradezco al Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM por abrirme sus puertas para la consulta de su acervo



Olga Costa, *La vendedora de frutas*. Óleo (detalle).

bibliográfico, así como su apoyo para la publicación de artículos relacionados con temas de materiales constructivos desde el punto de vista de los arquitectos y constructores de edificios.

Bibliografía

- ¹ K. Potter, *An Introduction to Composite Products*, Chapman and Hall, University of Bristol, Bristol, 1997.
- ² J.F. Shackelford, *Ciencia de materiales para ingenieros*, Pearson Education, México, 1995.
- ³ S.K. Mazundar, *Composite manufacturing*, CRC Press, Florida, 2000.

⁴ A.K. Kaw, *Mechanics of Composite Materials*, CRC Press, Florida, 2000.

⁵ S. Hernández Moreno, *Introducción a la aplicación de nuevos materiales en arquitectura y construcción*, Facultad de Arquitectura, UNAM, México, 2004.

⁶ M.J. Cima, *Ceramic Transactions*, Massachusetts Institute of Technology, Boston, 1992.

silverhm2002@yahoo.com.mx

Premio a la mejor tesis doctoral en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales

Tatsuo Akachi Miyazaki

El Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, con el propósito de estimular la formación de recursos humanos de alta calidad en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales, creó, en 1995, el “Premio a la mejor tesis doctoral en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales”; este certamen se organiza todos los años y aquí publicamos los resultados de 2005.

Se trata de una convocatoria nacional y pueden participar tanto mexicanos como extranjeros. Un autor mexicano puede haber obtenido su grado en cualquier universidad del mundo, mientras que si es extranjero es indispensable que lo haya hecho en una institución educativa mexicana.

El premio consiste en un diploma y un estímulo económico, que se entrega tanto al autor de la tesis como al director de

la misma. Para que el director de la tesis pueda ser acreedor al premio, es necesario que esté adscrito y haya dirigido la tesis en una institución mexicana.

En este certamen, de acuerdo con el jurado calificador –integrado por miembros prominentes de la comunidad científica mexicana–, se pueden otorgar menciones honoríficas a los trabajos sobresalientes.

En el certamen 2005, el jurado designó como ganadora del premio a la doctora Ana Karina Cuentas Gallegos, su doctorado en Química lo realizó en el Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona de la Universidad Autónoma de Barcelona, con la tesis titulada “Organic/inorganic hybrid materials based on conducting organic polymers as electrodes for energy storage devices (Materiales híbridos orgánicos/



Manuel Felguérez, 1959. *En busca de la gaviota*.

inorgánicos basados en polímeros orgánicos conductores como electrodos en dispositivos de almacenamiento de energía”, bajo la dirección del doctor Pedro Gómez Romero; se graduó el 2 de diciembre de 2003.

El jurado acordó otorgar, en esta ocasión, dos menciones honoríficas, una al doctor Milton de Jesús Muñoz–Navia y la otra a la doctora Carolina Romero Salazar. El primero obtuvo su doctorado en Ciencias (Física) en el Instituto de Física de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el 28 de septiembre de 2004, con la tesis titulada “Propiedades electrónicas de nanoestructuras de carbono con paladio como catalizador y propiedades magnéticas de cúmulos binarios de Co–Rh”, bajo la dirección de los doctores Jesús Dorantes Dávila y Humberto Terrones Maldonado. La doctora Carolina Romero Salazar obtuvo su doctorado en Ciencias (Física) en el Instituto de Física “Luis Rivera Terrazas” de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, el 19 de enero de 2005, con la tesis titulada: “Corte de líneas de flujo magnético en superconductores duros isotrópicos y anisotrópicos: estudio fenomenológico con modelos de estado crítico innovadores”, bajo la dirección del doctor Felipe Pérez Rodríguez.

A continuación se presentan los resúmenes de las tesis galardonadas.

Materiales híbridos orgánicos/inorgánicos basados en polímeros orgánicos conductores como electrodos en dispositivos de almacenamiento de energía

Ana Karina Cuentas Gallegos

El estudio de materiales híbridos funcionales basados en polímeros orgánicos conductores (COPs) y especies inorgánicas electroactivas explora dos áreas de la química (orgánica e inorgánica), tratando de unir en un solo material las mejores propiedades de cada componente para aumentar sus cualidades. Estos híbridos electroactivos o funcionales son materiales conceptuales novedosos con propiedades y posibles aplicaciones que necesitan explorarse. El objetivo general de esta tesis es avanzar en el conocimiento de estos materiales híbridos mediante la optimización de ciertos materiales, preparando combinaciones novedosas y probándolas como electrodos en celdas recargables de Li y en supercapacitores electroquímicos.

Primero se llevó a cabo la síntesis de materiales híbridos basados en MnO_{2-x} mediante la formación simultánea de la parte orgánica e inorgánica del híbrido, para obtener materiales nanocompuestos. En el caso de derivados de polianilina, el método empleado dio origen a la formación de oligómeros sin una cantidad sustancial de MnO_{2-x} . Por otro lado, se prepararon híbridos (PPy/ MnO_2) a partir de pirrol y KMnO_4 , cuyo resultado fue la obtención de híbridos con diferentes cantidades de MnO_{2-x} . Los híbridos con mayor contenido de MnO_{2-x} presentaron valores más elevados de carga específica en el pri-



Manuel Felguérez, 1973. *Límite de una secuencia*.

mer ciclo de carga–descarga en celdas recargables de Li.

Asimismo, se estudió la síntesis modificada de geles de V_2O_5 , se evaluaron diferentes tratamientos térmicos bajo atmósferas diferenciadas para formar xerogeles y se observó su repercusión en las propiedades electroquímicas en celdas recargables de Li, así como su híbrido correspondiente basado en la intercalación de polianilina entre las capas de la matriz inorgánica. El espaciado entre las capas de los xerogeles (V_2O_5) varió dependiendo del contenido de agua, que puede eliminarse en un rango de temperaturas de 100 a 360 °C. A temperaturas altas estos materiales se cristalizan y producen la fase ortorrómbica. El contenido de agua y el grado de cristalinidad influyen en la carga específica y en la ciclabilidad de la celda de Li. Estos resultados mostraron que los mejores xerogeles para utilizarse como electrodos de inserción de Li son aquellos que combinan la menor cantidad de agua con una presencia mínima de fase cristalina.

También se estudió el comportamiento de híbridos de PANi/ V_2O_5 como cátodos en celdas recargables de Li; se valoraron el efecto de parámetros de síntesis y los tratamientos en oxígeno en la microestructura y electroactividad. La síntesis modificada indujo la incorporación de anilina adicional sin gran exceso del monómero, lo que produjo mayor microporosidad y la eliminación de tratamientos térmicos en oxígeno. Se obtuvieron valores iniciales altos de cargas específicas (280 Ah/Kg a C/6), que bajaron y se estabilizaron en alrededor de 50–60 Ah/Kg después de cien ciclos de carga–descarga. Esta pérdida de la carga no parece estar asociada a la destrucción del material híbrido, sino a un problema de la celda.

Con base en este híbrido (PANi/ V_2O_5) y en trabajos anteriores con el grupo (PANi o PPy/HCF), se exploró el concepto

de híbrido triple con la finalidad de encontrar propiedades electroquímicas mejoradas. El diseño de estos híbridos se realizó en un solo paso a partir de la intercalación de PPy o PAni dopada con hexacianoferrato (HCF) entre las capas de V_2O_5 . Así, se obtuvieron nuevos híbridos, cuyas propiedades electroquímicas como cátodo de inserción de Li ofrecieron valores iniciales altos de carga específica (160 Ah/Kg). La reversibilidad de las celdas ensambladas debe optimizarse mediante un ajuste de la ventana de voltaje.

Adicionalmente, se abordó la síntesis en un solo paso de nuevos híbridos basados en $VOPO_4 \cdot 2H_2O$ con estructura laminar. Los materiales híbridos obtenidos con impurezas de V_2O_5 , además de la fase $VOPO_4$ y el COPs, se probaron con éxito por vez primera en celdas de Li. Los híbridos PPy/ $VOPO_4$ revelaron una carga específica inicial irreversible que se redujo con lavados sucesivos en disolventes orgánicos que eliminaron las impurezas de V_2O_5 , dando como resultado valores estables de carga específica de 90 a 100 Ah/Kg durante 35 ciclos ($I=20$ mA/g) para el híbrido novedoso de fórmula $Py(VOPO_4)_{0.13} \cdot 1.1H_2O$. Por otro lado, el híbrido PAni/ $VOPO_4/V_2O_5$ dio valores iniciales de carga específica de 118 Ah/Kg ($I=10$ mA/g) que fueron estabilizados de 100 a 110 Ah/Kg y mantenidos durante 20 ciclos. Estos híbridos presentaron buena cinética de intercalación.

Finalmente, materiales híbridos moleculares formados por polioxometalatos dispersos en PAni representan materiales conceptuales interesantes para almacenar energía. El trabajo constituye la primera realización práctica de electrodos basados en estos materiales para supercapacitores electroquímicos. Los híbridos moleculares PAni/SiW12PAni/PW12, PAni/PMo12 se han preparados electroquímicamente en sustratos de carbono, el híbrido PAni/PMo12 es un ejemplo prototipo. Este híbrido mostró la actividad combinada de sus componentes para almacenar y liberar carga en celdas supercapacitivas de estado sólido con valores prometedores de 120F/g y buenas ciclabilidades (10^3 ciclos).

Propiedades electrónicas de nanoestructuras: estudio teórico-experimental de nanoestructuras de carbono con paladio como catalizador y propiedades magnéticas de cúmulos binarios de Co-Rh

Milton de Jesús Muñoz-Navia

En esta tesis se estudian las propiedades electrónicas de dos sistemas relevantes en el campo de las nanoestructuras: nanoestructuras de carbono y cúmulos binarios de metales 3d y 4d. Experimental y sistemáticamente se analizaron las propiedades catalíticas del paladio en las nanoestructuras de carbono. Con la técnica de pirólisis, en una atmósfera de argón sobre compuestos orgánicos de paladio, se caracterizó la morfología de las nanoestructuras de carbono generadas y se tomó como variable la temperatura del experimento.

Con temperaturas entre 850 y 1050 °C, se obtuvieron mu-

chas nanofibras cónicas de carbono (5-70 nm OD; $< 5\mu m$ de longitud). En las puntas de las fibras se observaron partículas de paladio en forma de diamante (forma poligonal), que son responsables de la formación de conos de grafito apilados (abiertos, en forma de pantalla de lámpara, o cerrados) que constituyen las nanofibras. Se propone un modelo de crecimiento para las nanofibras que incluye la posibilidad de obtener conos abiertos con distintas helicidades. Los ángulos (30° , 50° y 70°) observados en las puntas de los conos, prohibidos por el modelo de cono cerrado, se explican en términos de los conos abiertos. La presencia de estos sitios abiertos (enlaces sueltos) abre la posibilidad de utilizar las fibras en la fabricación de emisores de electrones y componentes para almacenamiento de gases, entre otros. También se analizó la coalescencia de los conos en las fibras mediante un tratamiento térmico. Para tener un mejor panorama de la dirección de los emisores de electrones, se realizó un estudio teórico y sistemático de las propiedades electrónicas de algunas estructuras cónicas de carbono, abiertas y cerradas, con diferentes simetrías. Con el método de espacio real con un Hamiltoniano de amarre fuerte en la aproximación restringida de Hartree-Fock, las propiedades electrónicas se expresan en términos de la densidad de estados, que se obtiene a través de la función de Green con el método de recursión. Se encontró que las estructuras cónicas consideradas presentan un comportamiento metálico o semimetálico, además de inducir una concentración de carga mayor en el extremo angosto respecto del más ancho; este comportamiento refleja el "efecto punta" de la electrostática. La simetría de los bordes abiertos afecta de manera significativa los estados ocupados en el nivel de Fermi, lo que favorece mayor ocupación de los sitios con simetría (local) "armchair". Mas aún, la distribución electrónica en los sitios (local) "zigzag" se ve afectada al cambiar la helicidad del cono, no así los "armchair". Cuando los conos están cerrados, se observa una redistribución de la carga con respecto a la curvatura local, teniendo una concentración mayor los anillos con curvatura positiva. La forma de la punta (distribución de los anillos con curvatura positiva, negativa o ambas) en los conos desempeña un papel importante en las propiedades electrónicas. Asimismo se discutieron los efectos del tamaño y la coalescencia en los conos del espectro electrónico.

Las propiedades magnéticas de las nanopartículas de CoNRhM se estudiaron teóricamente de manera sistemática. El momento magnético total $2hSi + hLi$ del estado base, momento magnético por átomo de cobalto μNCo y la energía de anisotropía magnética se calcularon con el método de espacio real en la aproximación no restringida de Hartree-Fock, incluyendo las correcciones relativistas al Hamiltoniano. El comportamiento magnético experimentalmente observado de estos cúmulos binarios se explica a través de un análisis local de la dependencia de propiedades magnéticas con respecto a la estructura, la concentración de cobalto y la fase química de los cúmulos. Los resultados muestran que los cúmulos con

un núcleo de rodio cuya razón superficie/volumen sea grande y una mezcla de cobalto-rodio en la interfaz es el arreglo químico más favorable. Los momentos magnéticos locales de espín y orbital inducidos en los átomos de rodio de la interfaz y los momentos orbitales en los átomos de cobalto tienen un papel crucial en la interpretación del experimento. Los resultados para la razón $L/2(Si)$ (Rh) están en excelente acuerdo con el experimento. La energía de anisotropía magnética EAM como función de la concentración de cobalto x_{Co} en los cúmulos de $CoNRhM$ presenta comportamientos singulares y en algunos casos crece hasta cien por ciento con respecto a la de CoN puro.

Corte de líneas de flujo magnético en superconductores duros isotrópicos y anisotrópicos: estudio fenomenológico con modelos de estado crítico innovadores

Carolina Romero Salazar

El estudio de la superconductividad y, específicamente, del estado de vórtice en materiales superconductores tipo II de alta y baja temperatura crítica sigue vigente al existir empresas destinadas al desarrollo e ingeniería de materiales superconductores tipo II y debido a que el premio Nobel de Física 2003 se otorgó a A.A. Abrikosov, V.L. Ginzburg y A. Leggett por su contribución a la ciencia del estado de vórtice. Existen

prototipos para infraestructura eléctrica, como cables transmisores y generadores de poder, motores y trenes flotantes con componentes hechos de materiales superconductores tipo II e incluso aplicaciones tangibles como los reactores de fusión nuclear (Tokamaks) y los magnetómetros ultrasensibles Squid (acrónimo de *Superconducting Quantum Interference Device*) que emplean superconductores tipo II de baja T_c . En medicina se emplean imanes superconductores de NbTi para obtener imágenes por medio de resonancia magnética.

En ciencia básica es posible estudiar los superconductores tipo II, caracterizados por la interacción entre los vórtices y los defectos del material, empleando el modelo de estado crítico de Bean (1962), que propone un valor para la densidad de corriente crítica J_c (Bean estableció que un material superconductor tipo II está en estado crítico si es capaz de mantener, sin disipar energía, una corriente macroscópica hasta que ésta alcanza un valor crítico denominado densidad de corriente crítica J_c) que permite la descripción cuasiestática del estado de vórtice.

Aun cuando este modelo ha tenido éxito para reproducir curvas de magnetización, transporte de corriente o cuantificar el flujo remanente y la energía disipada por histéresis en superconductores tipo II, está limitado al no considerar ningún tipo de anisotropía, ya sea asociada a la estructura del material o inducida debido a la interacción vórtice-vórtice (de una gran cantidad de vórtices, razón por la que se ha denominado corte de líneas de flujo magnético, CLF, *flux-line cutting*).

Y es que en el estudio de la respuesta magnética de materiales superconductores sometidos a campos magnéticos multicomponentes y/o variables en dirección, en los que no es posible ignorar el CLF, aún no han sido despejadas todas las incógnitas debido a que en esta geometría surgen diversos fenómenos complejos e interesantes, como el colapso de la magnetización, el paramagnetismo, el consumo de flujo magnético, la aparición de tubos de Meissner y la generación de estructuras turbulentas de flujo magnético, entre otros.

Así, esta tesis es un trabajo que propone modelos innovadores de estado crítico (MEC) para la descripción del comportamiento magnético de superconductores tipo II e irreversibles, estructuralmente isotrópicos o anisotrópicos, sometidos a campos magnéticos con magnitud y dirección variable y que consideran tanto el anclaje de los vórtices en los defectos del material como el CLF. Hasta ahora, los MEC representan el único puente entre la respuesta magnética de un material superconductor tipo II irreversible —que se obtiene a través de mediciones experimentales— y el estudio teórico de ésta.

Este trabajo ha contribuido con éxito al estudio teórico de los materiales superconductores tipo II irreversibles al describir toda la gama de experimentos conocidos en la literatura sobre este tipo de materiales y su objetivo fue coleccionar, ensamblar e interpretar, desde un punto de vista fenomenológico, una serie de fenómenos magnéticos, que si bien ya habían sido analizados con diferentes MEC, presentaban limitaciones para su reproducción.



Manuel Felguérez, 1996. *Mujer de Saliagos*.

SPECTRAMEX, S.A. DE C.V.

CTO. CIRCUNVALACIÓN PONIENTE NO. 1-302,
CD. SATÉLITE, EDO. DE MÉXICO, CP. 53100, MÉXICO.

E-MAIL 1: gpicco@compuserve.com

TEL: +52 (55) 55629289

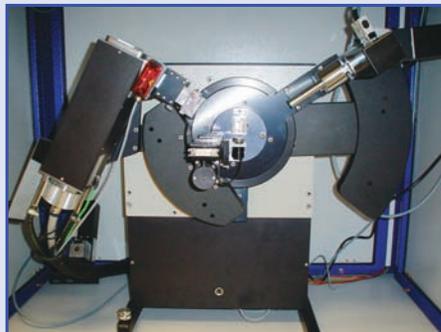
E-MAIL 2: spectramex@aol.com

FAX: +52 (55) 53930318



VENTA Y SERVICIO DE EQUIPOS ANALÍTICOS DE RAYOS X

JEOL, GBC, OXFORD DIFFRACTION, ANTON PAAR, HERZOG, CLAISSE, EDMUND BÜHLER, KATANAX



DIFRACTÓMETROS DE RAYOS X PARA SÓLIDOS, POLVOS, LÍQUIDOS, TERMODIFRACCIÓN

DIFRACTÓMETROS DE RAYOS X MULTIPROPÓSITOS

DIFRACTÓMETROS DE RAYOS X PARA MONOCRISTALES OXFORD DIFFRACTION

DIFRACTÓMETROS DE RAYOS X PARA BAJO Y GRANDES ÁNGULOS

DETECTORES SENSIBLES A LA POSICIÓN

ESPECTRÓMETROS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, MARCA JEOL

EQUIPOS DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS (PRENSAS, MOLINOS Y EQUIPOS DE FUSIÓN)

Unos cuantos versos y un consejo

Premios Sor Juana Inés de la Cruz en el IIM: Ana Martínez,
Lioudmila Fomina, María Elena Villafuerte y Cristina Piña

Pedro Bosch Giral, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

¿Qué loca ambición nos lleva
de nosotros olvidados?
Si es para vivir tan poco,
¿de qué sirve saber tanto?

¡Oh, si como hay de saber,
hubiera algún seminario
o escuela donde a ignorar
se enseñaran los trabajos!

¡Qué felizmente viviera
el que, flojamente cauto,
burlara las amenazas
del influjo de los astros!

Aprendamos a ignorar,
pensamiento, pues hallamos
que cuanto añadido al discurso,
tanto le usurpo a los años.

Sor Juana Inés de la Cruz

Los nombres de mujeres que han sobresalido en la ciencia son muchos y muy relevantes, Hipatia, las pitagóricas, Agamede, Hildegarda de Bingen, María Ardinghelli, Madame de Châtelet, Lise Meitner, María Curie... Y sin embargo, son numerosos los sabios que, en la historia, han estado convencidos de que la mujer no tenía capacidad para el estudio. Sirva la opinión de fray Luis de León como ejemplo: "...así como a la buena y honesta la naturaleza no la hizo para el estudio de las ciencias ni para los negocios de dificultades, sino para un solo oficio simple y doméstico, así las limitó el entender y, por consiguiente, les tasó las palabras y razones", o más recientemente la de Santiago Ramón y Cajal: "los misóginos deberían recordar que la más ignorante y rústica de las mujeres puede engendrar un hombre de genio".



Vista de Ciudad Universitaria.

En Alemania, Otto Hahn, refiriéndose a los términos en los que se le permitió colaborar con Lise Meitner, a principios del siglo XX, cuenta que “en aquellos días no se permitía a las mujeres trabajar en el Instituto Fischer. Cuando le planteé la colaboración a Emil Fischer, le otorgó un permiso a la señorita Meitner... le solicitó, sin embargo, que no entrase a los cuartos de estudio del piso superior ya que sentaría un mal precedente”.

En contraposición es un tema que ya en 1673 el pensador cartesiano François Poullain de la Barre discutía a partir de los recientes descubrimientos anatómicos sobre el cerebro y los órganos sensoriales. Poullain de la Barre concluía que la mente no tiene sexo. Casi cuatro siglos después uno esperaría que el tema estuviese saldado, pero no es así. En nuestra universidad, en presencia del rector Juan Ramón de la Fuente, en la entrega de los premios Sor Juana Inés de la Cruz, el 8 de marzo de 2006, la doctora María Isabel Belausteguigoitia Rius se sintió obligada a precisar que “este ascenso en la representación, premiación y visibilidad de las mujeres convive con abismos urgentes de salvar: existe una creciente violencia en contra de las mujeres en el espacio doméstico y público, no contamos aún con un solo culpable encarcelado, legitimado y reconocido, por los asesinatos cometidos en Ciudad Juárez. Se condena a las mujeres por la hora en la que fueron víctimas o el tipo de vestimenta que llevaban al ser agredidas. Si las mujeres son pobres el panorama jurídico es aún más devastador”. Se puede añadir que en 2005 la contribución de la UNAM al SNI fue de 20 por ciento de mujeres en el área de física, matemáticas e ingenierías, 41 por ciento en el área de química, biología y ciencias de la salud y 52 por ciento en humanidades y artes. No es de asombrar, pues, que el rector De la Fuente haya creado un Programa de Fortalecimiento Académico para las Mujeres Universitarias.

Pero no tiene caso desviarse, lo importante es que son cuatro, cuatro son nuestras “Sor Juanas”, cuatro las investigadoras del IIM que han sido condecoradas con la medalla Sor Juana Inés de la Cruz: Ana Martínez, Lioudmila Fomina, María Elena Villafuerte y Cristina Piña, en ese orden, como las cuatro reinas de la baraja. Decidir cuál es la reina de corazones, es decir la más dulce, o la más aguda como la de picas, la más dadivosa como la de diamantes o la que derrama más suerte como la de tréboles, es cosa del lector. Sin embargo, para ayudarlo a juzgar quizá sea útil enumerar aquí algunos de los intereses y méritos de las galardonadas. Desde luego, no tiene caso imponer aquí un párrafo de loas a sus capacidades, no hace falta ensalzarlas, ya tienen su medalla así que trataré de ser muy breve.

A Ana Martínez le apasionan los cúmulos metálicos y la enseñanza, ha escrito un sinfín de libros de texto y de divulgación. Su campo de investigación es el estudio teórico de la reactividad química. El fuerte de Lioudmila Fomina es la síntesis orgánica, en particular de dendrímeros y polímeros hiperramificados y su aplicación en catálisis. Estudió en el Instituto de Tecnología de Química Fina de Moscú. María



Arturo Marty, 2005. *Niña con zapatos amarillos*. Óleo sobre madera (110 × 50 cms).

Elena Villafuerte se ha especializado en la química de cerámicas avanzadas o cristaloquímica, que incluye el estudio de la estructura cristalina, la síntesis de los materiales cerámicos por diferentes métodos (estado sólido, sol-gel, coprecipitación, intercambio iónico). Finalmente Cristina Piña, totalmente formada en la UNAM, es una experta de los biomateriales, le ha dado especial importancia a los materiales cerámicos basados en fosfatos de calcio. Su trabajo está resumido en patentes y libros de divulgación. La única conclusión válida de tan escueta comparación es que las cuatro son excelsas, y que todas son las cuatro reinas de la baraja a la vez. Pero la perfección es siempre perfectible así que a pesar de tanta maravilla... no puedo dejarme en el tintero esta recomendación. No, no es mía, no me atrevería, es de Mafalda, otra preclara fémmina: “una mujer debe tener un equipo completo de destornilladores, taladro y al menos un sujetador negro de encaje”.

REOLOGÍA Y MECÁNICA DE FLUIDOS, SUPERCONDUCTORES Y MAGNETISMO,
CERÁMICOS Y RECUBRIMIENTOS, SIMULACIÓN MOLECULAR, PLASTICIDAD,
MATERIALES POLIMÉRICOS AVANZADOS, CELDAS DE COMBUSTIBLE, METALURGIA,
PROCESAMIENTO, BIOMATERIALES, MATERIALES POROSOS Y NANOMATERIALES

OCTUBRE 7 AL 12, 2007

Morelia, Michoacán, México

MATERIA 2007

DISÑO GRÁFICO: CECILIA QUINTERO

www.iim.unam.mx/materia2007

NOTIMAT



UNAM
POSGRADO



Informes en el Departamento de Apoyo Académico del Instituto de Investigaciones en Materiales
con la D. G. Cecilia Quintero, cubículo C 004, Tel. + + 56 22 45 71, e mail: materia2007@iim.unam.mx