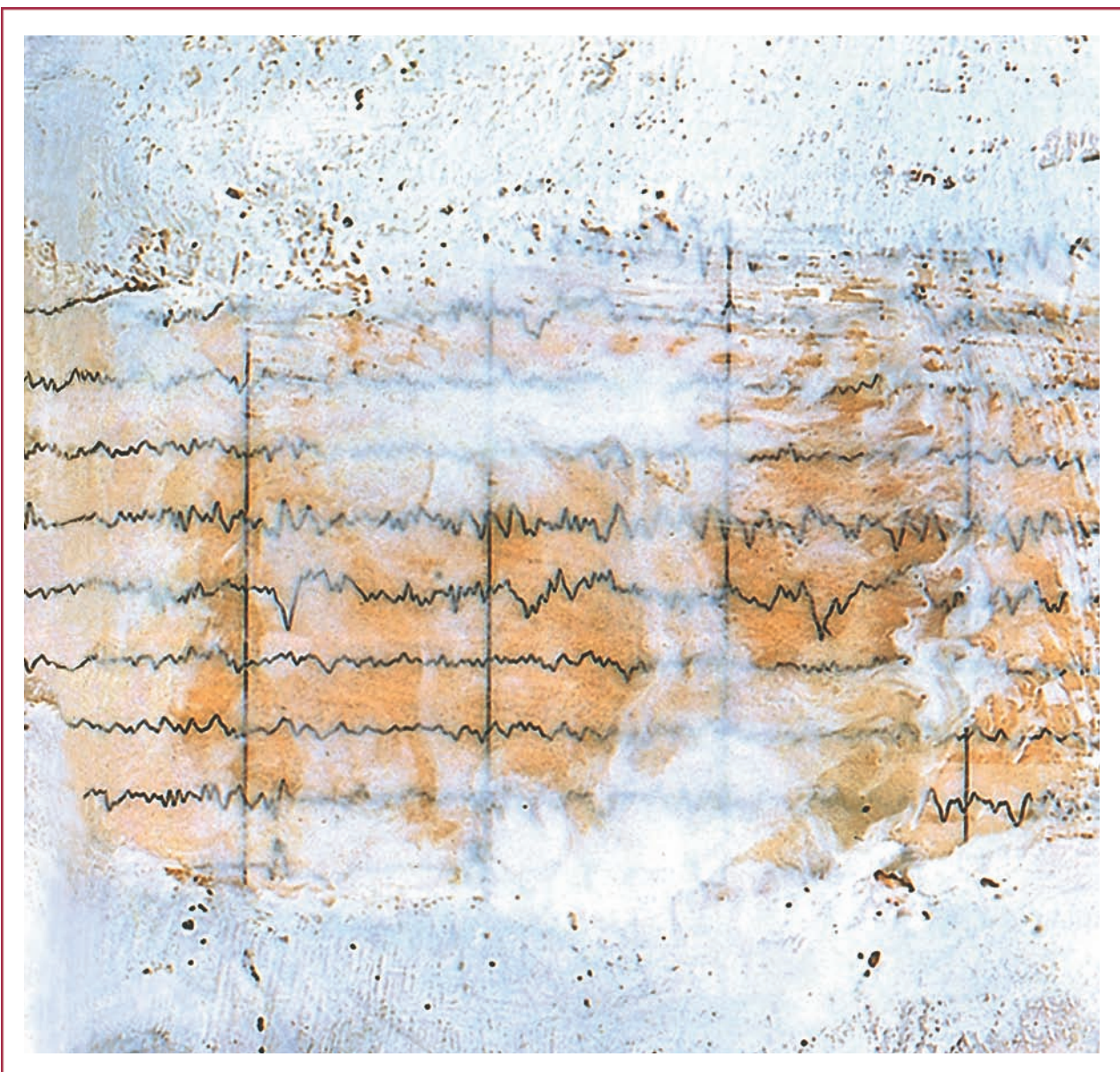


MATERIALES avanzados

Instituto de Investigaciones en Materiales ■ UNAM

Año 5 ■ Núm.10 ■ Febrero 2008

ISSN 1665-7071



Calentamiento global ■ Buscando la región más transparente: otro reto para las zeolitas ■ La piedra múcara: bello material de construcción ■ La ubicuitina, ¿una proteína traidora? ■ El pincel turbulento de Van Gogh ■ Proyecto Alfa II: nanogastor

UNAM POSGRADO

Ciencias e Ingeniería de Materiales



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 2009-1
(del 11 de agosto al 11 de diciembre, 2008)
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

Publicación de la convocatoria: **febrero, 2008**
Inscripción a cursos propedéuticos: **febrero, 2008**
Inicio del semestre: **11 de agosto, 2008**
Fin de curso: **11 de diciembre, 2008**

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.

Son ya diez los números de **MATERIALES avanZados**. Son cerca de cinco años durante los cuales nuestra revista ha aparecido con regularidad presentando artículos sobre materiales que van de los nanotubos de carbono a los polímeros, de los materiales antropológicos a los biológicos o los de la arquitectura. Esta diversidad de temas así como su actualidad se refleja en este número. Es como si el número diez quisiera ser un resumen de lo hecho hasta ahora. En efecto, conviven los materiales de construcción usados en Veracruz con las proteínas deladoras, proteínas tan especializadas que sirven para determinar en qué zona del organismo hay una infección. La revista no ha dejado de comprometerse con los temas más candentes, en este caso incluimos un extenso y muy interesante artículo sobre el cambio climático y sus consecuencias, junto con uno que nos propone nuevos catalizadores.

En la sección “Nuestros Proyectos” inaugurada en el número pasado se presentan algunos de los temas del proyecto Nanogastor que intenta colaborar en el diseño de materiales destinados a retener gases. Y por si fuera poco, contamos con la reseña del libro *Ideas fundamentales de la superconductividad* de O. Navarro y R. Baquero. Enhorabuena, es un excelente libro de ciencia escrito en español.

Hemos creído pertinente publicar una nota sobre la interpretación de una pintura de Van Gogh en términos de modelos matemáticos, ya que una de las particularidades de nuestra revista es la convivencia del arte moderno con los conceptos científicos. Sin duda, a nuestros lectores les apasionará esta propuesta.

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:

laz@servidor.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

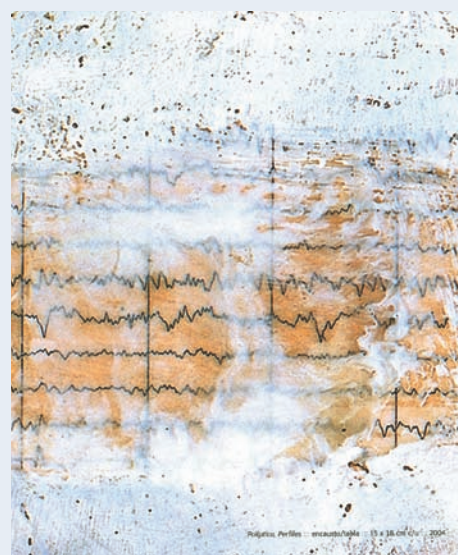
Las fotografías e ilustraciones deberán incluirse en uno de los dos formatos siguientes:

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

Información adicional:

Larissa Alexandrova
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: María José Lavín, 2004. Políptico, *Perfiles*, encausto, tabla.



Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. José Narro Robles
RECTOR

Dr. Sergio Alcocer Martínez
SECRETARIO GENERAL

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



Instituto de Investigaciones en Materiales

Luis Enrique Sansores Cuevas
Director del Instituto de Investigaciones en Materiales

Larissa Alexandrova
Editora Responsable

Comité Editorial
Ana Martínez Vázquez
Pedro Bosch Giral
Roberto Escudero Derat

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 Metropolitana de la UAM y a los artistas plásticos cuyas obras se reproducen en estas páginas su valiosa colaboración. Damos las gracias también a Blanca Luz Pulido por sus fotografías.

Impreso en México

MATERIALES avanzados

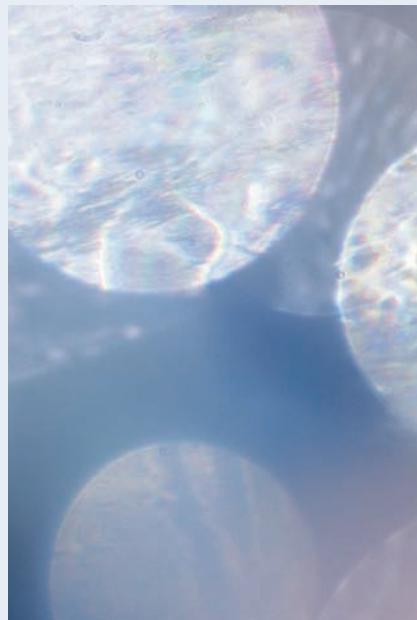
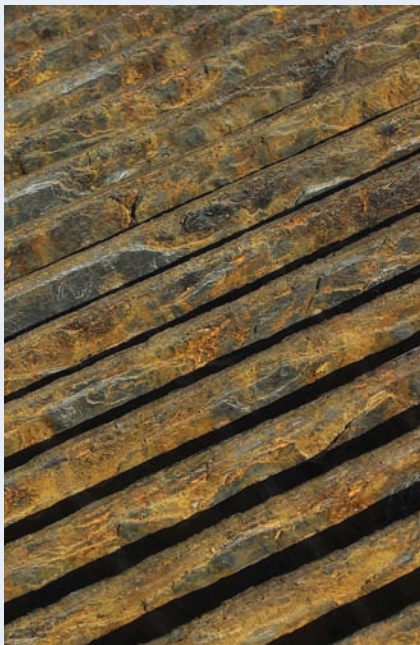
Contenido

Presentación	1
Instrucciones para los autores	2
Noticias	4
Calentamiento global René Garduño y Enrique Geffroy	9
Buscando la región más transparente: otro reto para las zeolitas Ariel Guzmán Vargas y María de Jesús Martínez Ortiz	29
La piedra múcara: bello material de construcción A. Garrido-Alfonseca, T.J. Zamudio-Zamudio D. Tenorio y M. Jiménez-Reyes	35
La ubicuitina, ¿una proteína traidora? Claudia Guadalupe Benítez-Cardoza	39
El pincel turbulento de Van Gogh José Luis Aragón	43
Proyecto Alfa II: nanogastor Pedro Bosch	45

NOTICIAS

Integración de biosensores en circuitos electrónicos

Los biosensores son instrumentos analíticos poderosos debido a su sensibilidad, selectividad y amplio rango de aplicaciones. Una de las dificultades para el uso práctico de este tipo de sensores es su incorporación en dispositivos que decodifiquen la información de una manera simple. Los intentos realizados para integrar biosensores en sustratos de silicio han sido hasta ahora infructuosos, pues la capa de óxido en el sustrato es aislante y poco reactiva. Estos problemas, sin embargo, parecen haberse resuelto mediante la incorporación directa de nanotubos de carbón de pared sencilla (*single-walled carbon nanotubes, SWNT*) a los sustratos de silicio, ya que los nanotubos proporcionan un conducto para acceder a los estados electrónicos del sustrato semiconductor, haciendo posible el transporte de electrones hacia el silicio. Estas corrientes podrían leerse directamente en un dispositivo



integrado con elementos de sensado y circuitos electrónicos. Los nanotubos de carbón se incorporan al sustrato mediante un proceso químico que genera la hidroxilación del óxido de silicio, que produce grupos OH que reaccionan con nanotubos funcionalizados a través de una reacción de condensación. Además de evitar problemas de adhesión y generar únicamente la alineación vertical de los nanotubos, este método permite incorporar otras especies químicas que podrían ser útiles para el biosensado. Aplicaciones potenciales para estos arreglos incluyen sensores electroquímicos basados en silicio, celdas solares y dispositivos nanoelectrónicos. *SPIE Newsroom*, Flinders University, Australia, 2007.

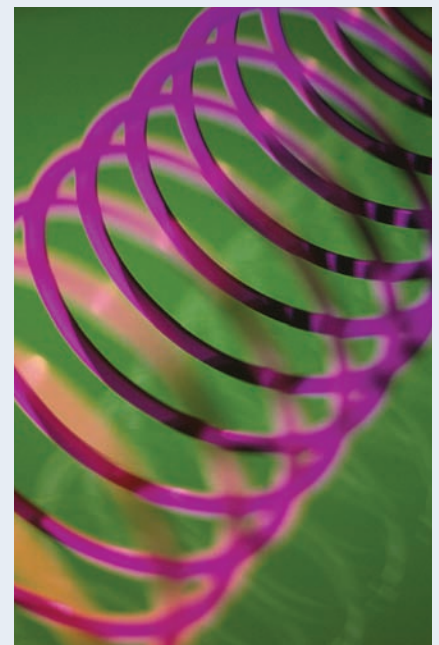
Recubrimientos antirreflejantes ideales

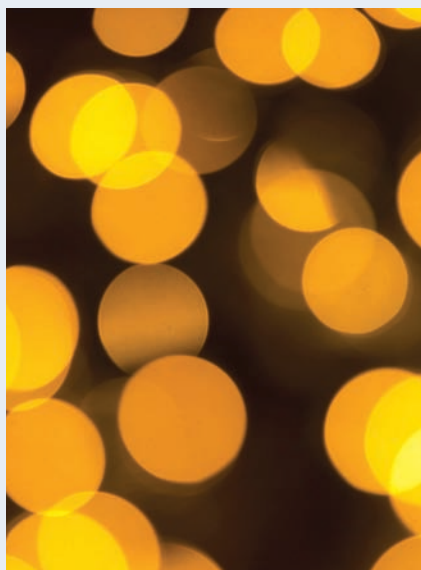
Mediante el uso de arreglos de nanobarras orientados de forma oblicua a la superficie, se ha reportado la fabricación de películas ópticas con un índice de refracción cercano al del aire. De acuerdo con sus creadores, varias capas graduales de este tipo de película podrían eliminar virtualmente la reflexión de luz a cualquier longitud de onda. La película

delgada que se ha fabricado tiene un índice de refracción de 1.05 y está basada en el depósito de nanobarras de silicio en un ángulo oblicuo sobre una superficie de nitrato de aluminio. El índice de refracción de la película está dado por la proporción de aire y nanobarras en la superficie del sustrato; un mayor espaciamiento entre las nanobarras incrementa la proporción de aire contenido en el arreglo y es posible entonces disminuir el índice de refracción a valores cercanos a uno. La característica más importante de estas películas es que el valor del índice de refracción puede ajustarse de manera precisa si se varía el ángulo de depósito de las nanobarras. Es posible entonces apilar películas con distintos ángulos de depósito para formar estructuras multicapa con índice gradual, lo cual podría producir estructuras tales como reflectores de Bragg. *Optics.org*, marzo 2007, Rensselaer Polytechnic Institute, Nueva York.

Interruptores ópticos con polarización de espín

Se descubrió un nuevo material que puede generar conmutación en un haz de luz entre estados de encendido y apagado. El material, hecho de partículas





magnéticas de cobalto parcialmente recubiertas con oro, combina efectos de espintrónica y plasmones para conmutar el haz de luz. Cuando el material se expone a un campo magnético externo, los electrones de las partículas de cobalto experimentan polarización en el espín. Cuando una luz en el rango de frecuencias de los terahertz incide en el material, el campo electromagnético de la onda lleva algunos de los electrones polarizados del cobalto al recubrimiento de oro. Esto genera un tipo de resistencia eléctrica entre el oro y el cobalto conocida como magneto-resistencia anisotrópica. Cuando el campo magnético (MRA) está ausente, la MRA es mínima y el haz de luz puede transmitirse a través del material vía plasmones, pero cuando el campo se enciende la MRA aumenta e impide el flujo de plasmones. Esto genera un decremento de más de 70% en la transmisión de luz a través del material. *Optics.org*, abril 2007, *Phys. Rev. Lett.*, **98** (2007) 133901.

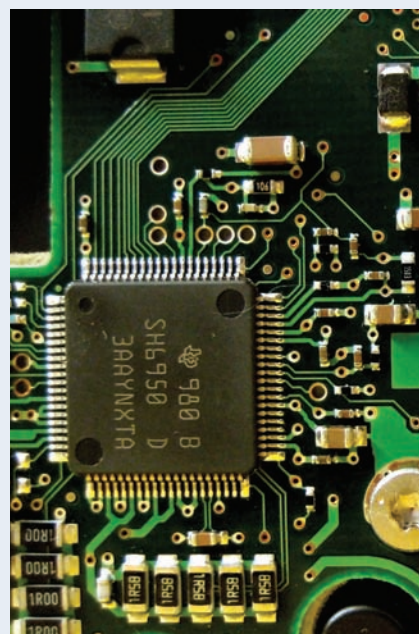
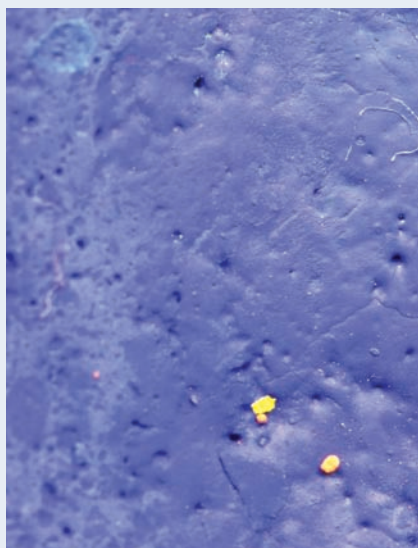
Arreglos de nanobarras para fabricar polarizadores

Las propiedades electrónicas y ópticas de cadenas y arreglos de nanopartículas han resultado ser lo suficientemente interesantes como para despertar gran interés científico en todo el mundo. Hay una

gran curiosidad por entender, por ejemplo, cómo se propaga la luz a través de este tipo de arreglos, aunque las teorías existentes han resultado insuficientes. Hipótesis como la del medio efectivo se utilizan en general para tratar de describir cómo se propaga la luz a través de nanopartículas metálicas embebidas en una matriz dieléctrica; sin embargo, se ha demostrado que este tipo de descripción no toma en cuenta propiedades importantes de las partículas tales como el tamaño, la forma, la aglomeración y los efectos colectivos. Hace poco científicos suecos desarrollaron una nueva descripción teórica que permite considerar estas propiedades y han demostrado que éstas son de gran importancia para describir apropiadamente la propagación de luz en dichas estructuras. Un resultado importante derivado de estos análisis teóricos es que, aparentemente, los factores geométricos de los arreglos de nanobarras pueden afectar la propagación de la luz; como ejemplo se menciona la posibilidad de desarrollar polarizadores de alta calidad con este tipo de estructuras. *Optics.org*, marzo 2007. *J. Opt. A: Pure and Applied Optics*.

Computadora cuántica

La compañía canadiense D-Wave Systems puso a la venta lo que, de acuerdo con su publicidad, es la primera com-



putadora cuántica comercial. Entre el escepticismo de muchos científicos, la compañía presentó la máquina Orion, capaz de resolver problemas complicados, como sentar a los invitados de una boda para minimizar fricciones entre ellos. Sin embargo, la compañía no ha convencido aún a la comunidad científica de que Orion funcione en un régimen cuántico y además el tamaño de la máquina (16 qubits) parece ser insuficiente para mejorar el desempeño de las computadoras convencionales. El desarrollo de la máquina está basado en lo que se conoce en este ámbito como computación cuántica adiabática. Utiliza un microchip superconductor para generar anillos de corrientes giratorias, girando en dos direcciones de manera simultánea y, supuestamente, actuando como bits cuánticos. *Nature*, **446** (2007).

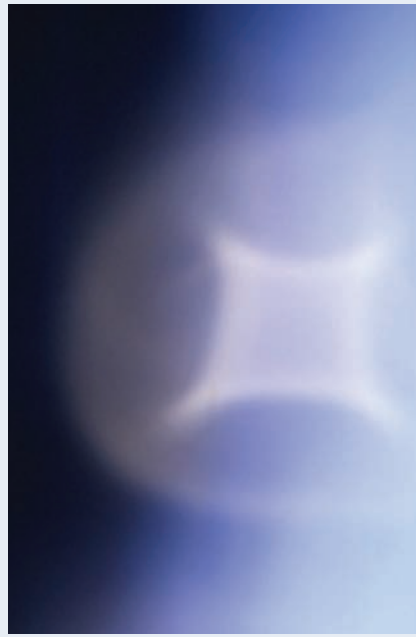
Plataformas inteligentes para reconstrucción ósea

Investigadores del Instituto Coreano de Ingeniería Cerámica y Tecnología han desarrollado un material que puede dosificar medicamentos de manera local durante periodos muy largos. El material es semejante a la estructura

del hueso “esponjoso” y puede actuar además como plataforma para la regeneración de tejido duro. La base de este sistema de dosificación es hidroxiapatita porosa recubierta con geles híbridos termorresponsivos con silicatos (geles L3-PNIPAm). Este tipo de recubrimientos regula la dosificación de medicamentos al modular el diámetro de los poros de acuerdo con las condiciones locales de temperatura. Estos nanocompuestos también han demostrado permitir el crecimiento de células óseas y podrían ser usados como materiales para dispensar medicamentos de manera local y con muy largo plazo durante la regeneración de hueso dañado. *SPIE Newsroom*, mayo 2007.

Más allá de la difracción

Experimentos recientes con metamateriales han permitido producir imágenes magnificadas de estructuras con dimensiones inferiores a la longitud de onda de la luz incidente en los objetos. Estos “hiperlentes” están diseñados de tal manera que permiten la propagación de campos electromagnéticos evanescentes, los cuales se atenúan de manera exponencial con la distancia de propagación en



materiales convencionales. Los campos evanescentes contienen la información generada por la interacción de la luz con las características de dimensiones menores a la longitud de onda del haz de luz. De esta manera, la propagación de estos campos y su magnificación permiten observar detalles de objetos con límites teóricos de resolución infinita. La parte clave de los “hiperlentes” es un metamaterial nanoestructurado cuya constante dieléctrica tiene signos opuestos en dos direcciones ortogonales. Esta anisotropía logra la propagación de campos evanescentes y, como consecuencia, permite magnificar características de dimensiones inferiores a la longitud de onda. *Nature* 447 (2007).

Microespejos sintonizables inspirados en insectos

Muchos de los efectos ópticos en nanoestructuras se han observado en metamateriales que se encuentran en la naturaleza. Un ejemplo que ha demostrado recientemente un gran potencial para aplicaciones prácticas es el caparazón de un escarabajo suramericano, cuya microestructura permite controlar la polarización y la longitud de onda de la luz que refleja. La estructura de las

nanocapas que conforman el caparazón está estructurada de tal forma que refleja únicamente luz con polarización circular izquierda y únicamente a longitudes de onda en el verde, naranja y rojo. Estudios de microscopia del caparazón han permitido identificar estructuras muy similares a las de los llamados cristales líquidos colestéricos. En éstos, todas las moléculas en un plano de la estructura están alineadas y las moléculas de cada plano sucesivo están rotadas ligeramente con respecto a las de los planos previos. Esta característica permite seleccionar la polarización y la longitud de onda de la luz reflejada por la estructura del caparazón y podría servir como base para fabricar espejos microscópicos programables utilizando cristales líquidos polimerizables. *Optics.org*, mayo 2007, *New Journal of Physics*.

Estabilidad de color en LED orgánicos

Científicos coreanos dicen haber logrado estabilizar el color de la luz emitida por LED orgánicos blancos. De acuerdo con sus reportes, el desempeño luminoso de los materiales orgánicos utilizados en los LED es comparable al desempeño de otras fuentes de luz tales como las lámparas de xenón y LED inorgánicos. La clave para lograr este desempeño está



en el uso de materiales fosforescentes combinados con estructuras de confinamiento de cargas. Los LED inorgánicos con estabilidad de color son de interés en el desarrollo de pantallas de cristal líquido y para iluminación en general. Optics.org, octubre 2007; *Applied Physics Letters*, **91** (2007) 123509.

Premio Nobel de Física para Fert y Grunberg

El premio Nobel de Física fue otorgado a los descubridores de la magnetorresistencia gigante. Este efecto es el que ha permitido el desarrollo de dispositivos como iPods, laptops y cualquier otro que requiera grandes capacidades de almacenamiento de información. La magnetorresistencia gigante permite que la información digitalizada almacenada en

los pequeños dominios magnéticos de los discos duros se convierta en señales eléctricas que pueden ser procesadas por circuitos electrónicos. Además de resultar útil en diversos campos tecnológicos, ha servido también como iniciador de un nuevo campo de investigación: la espintrónica. Este campo se enfoca en el estudio de aspectos básicos del espín del electrón que permitan desarrollar dispositivos que utilicen este parámetro para codificar, transmitir y procesar información. *Nature Physics*, 9 de octubre 2007, 779.

Baterías de papel

La combinación de celulosa nanoporosa (el principal constituyente del papel) con nanotubos de carbón, ha permitido desarrollar dispositivos para almacenar

energía. Éstos se fabrican creciendo películas uniformes de nanotubos de carbón verticales en un sustrato de silicio e impregnándolos con celulosa para formar un papel nanocompuesto. La celulosa se diluye parcialmente en un líquido iónico que actúa como electrolito. Después de solidificarse y remover el exceso de líquido, la película compuesta puede utilizarse como un supercapacitor o como componente para una batería. Este papel compuesto puede ser enrollado, torcido o doblado para adoptar cualquier curvatura y después regresar a su forma original. Además, puede mantener sus propiedades de almacenamiento de energía en cualquiera de esas situaciones, lo cual le da un potencial enorme para el desarrollo de baterías recargables flexibles y compactas. *Nature Nanotechnology*, **2** (2007).

Superconductividad al alcance de todos

Roberto Escudero

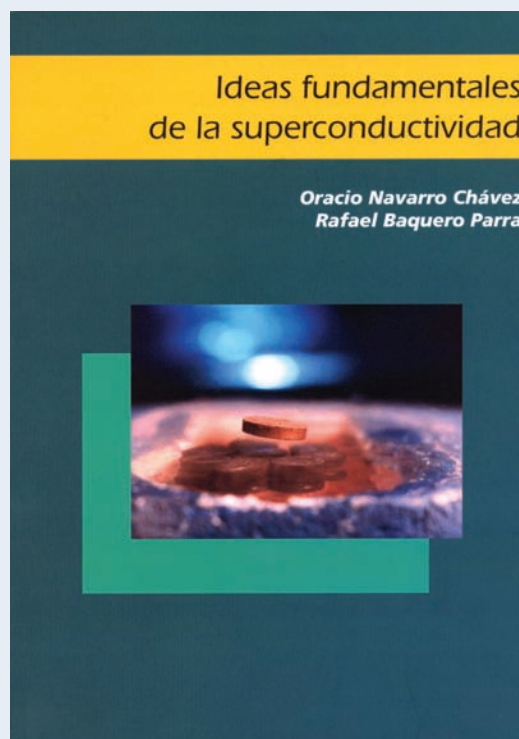
Un nuevo libro sobre superconductividad acaba de ver la luz con el apoyo de la UNAM y el Cinvestav. Los autores, ambos especialistas en el tema y con muchos años de experiencia en el estudio de diversos tópicos del amplio mundo de la superconductividad, han hecho un buen trabajo.

Podría decirse que este nuevo libro en español está llamado a llenar muchos huecos en la literatura científica. Tiene dos grandes cualidades: se presentan con gran sencillez los aspectos matemáticos de las teorías: BCS, Ginzburg–Landau, London y Eliashberg, y además —algo que para mí es importante— al científico dedicado a la experimentación, sea éste físico experimental, ingeniero o químico, que desea encontrar una forma de adentrarse en los aspectos teóricos del tema, el libro le ofrece los detalles algebraicos explicados con suma amplitud y sencillez. Un ejemplo de la forma clara de tratar los aspectos complicados y hacerlos asequibles queda ilustrado en el apéndice sobre la segunda cuantización. El tema, conceptualmente complicado, está sobradamente detallado y su seguimiento es fácil. Otros casos y tópicos también corren sobre la misma línea.

Esta forma del tratamiento matemático desarrollada en el libro, así como la de las diversas temáticas que son necesarias para el entendimiento del fenómeno de la superconductividad, son aspectos de gran utilidad para el estudiante de los últimos niveles de licenciatura en ciencias o ingenierías, ya que encontrarán toda la formulación teórica con los detalles técnicos que

posteriormente los encaminarán hacia el desarrollo de nuevos modelos teóricos para abordar con mayor conocimiento los temas de investigación sobre la superconductividad.

Oracio Navarro y Rafael Baquero, *Ideas fundamentales de la superconductividad*, México, UNAM/Cinvestav, 2007.



PONA, S.A. DE C.V.

Equipo para Laboratorio
Soporte Técnico
Asesoría en Aplicación



MATRIZ

TREVIÑO 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 ponagd@prodigy.net.mx

Calentamiento global

René Garduño, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM,
y Enrique Geffroy,* Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

El Grupo de Trabajo I (WGI) del Comité Internacional sobre el Cambio Climático (International Panel for Climate Change: IPCC) publicó en febrero pasado su último (cuarto) reporte —Assessment Report 4: AR4^{1,2}— sobre los efectos en el clima de una concentración creciente de gases con efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.³ Los estudios realizados desde el anterior informe de 2001 permiten suponer —con un alto nivel de confianza: mayor de 90%— que el calentamiento global es esencialmente resultado de las emisiones de esos gases, producto de la actividad humana; de ello no queda duda.³

El IPCC está integrado por dos mil quinientos científicos, de más de cien países del mundo, y tiene el mandato de las Naciones Unidas para estudiar el cambio climático y sus efec-

tos. Así como el primer informe del IPCC-WGI se publicó a principios de febrero de 2007, ahora el Grupo de Trabajo II (WGII) para el Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad del Cambio Climático acaba de hacer públicas sus conclusiones (presentadas en abril): el cambio climático está actualmente alterando en forma comprobable, sistemática y significativa el gran ecosistema terráqueo.⁴

Después de una semana de desvelos completos, los científicos del Grupo II del IPCC acordaron esta conclusión, ello a pesar de que Estados Unidos, Rusia, China y Arabia Saudita manifestaron el mayor número de objeciones al texto sugerido por los científicos, habiendo logrado la noche previa darle una “suave diluida” al texto final antes de ser aprobado. Algunos científicos objetaron que Estados Unidos, China y



Blanca Luz Pulido, 2006. *Río Tortuguero*, Costa Rica. Fotografía.



Blanca Luz Pulido, 2006. *Gorrion americano*. Fotografía.

Rusia no consideraron correcta la afirmación de que “se tiene un alto grado de confianza... que el cambio climático está ya afectando... a muchos sistemas naturales, en todos los continentes y océanos”. Estos países no deseaban que se mencionara el nivel de confianza que se tiene para afirmar lo anterior.^{5,6} En contraparte, algunas secciones se modificaron reforzando las conclusiones. Por ejemplo, se logró un consenso para afirmar que “África podría tener que dedicar entre 10 y 15% de su Producto Neto Total para acciones tendientes a adaptarse al cambio climático”.

En lo general, el Reporte del Grupo II es sin duda la evaluación más sólida sobre los riesgos del cambio climático, en el que se predicen desde la falta de agua para miles de millones de seres humanos hasta la elevación del nivel del mar que podría persistir por siglos. En este reporte se concluye que existe un riesgo de calentamiento global entre 1.5 y 4 °C para fines de este siglo. Aún más, esta segunda parte del Reporte 2007 establece que el “cambio climático no es algo poco definido o una amenaza en el futuro; todo lo contrario, es algo que de hecho ocurre ahora y aquí”. Finalmente, el impacto de este calentamiento es ya

cuantificable, con una alta probabilidad de certeza, en amplias regiones del globo como son los océanos y el Ártico, con posibles efectos globales muy severos.⁴

El carbón que quemamos: madre del calentamiento

El cambio climático se debe a un incremento en la cantidad de CO₂ en la atmósfera que ocurre a partir de la revolución industrial, pasando de las 280 partes por millón (ppm) a más de 381 ppm actualmente (2005).⁷ Los resultados reportados muestran que las concentraciones atmosféricas de GEI, medidas éstas en los últimos 150 años, nunca se han alcanzado, al menos no en los 650,000 años más recientes de nuestra historia.

Este incremento se debe a la actividad humana desarrollada en particular en las economías más avanzadas, como puede verse en la figura y la tabla 1. A partir de 1970, la generación de GEI —ponderado cada tipo por su capacidad de efecto invernadero— ha aumentado de 28.7 a 49 Gt CO₂-eq;^b un incremento de 70% (o de 24% a partir de 1990). Este aumento se debió principalmente al sector energético, que creció en más de 145%. Esto es, las economías han progresado apoyándose en un consumo desmedido de combustibles fósiles y que ahora sabemos es insostenible, aun en el corto plazo.

A pesar de que México no puede considerarse una economía desarrollada, nuestro país no está exento de una

Tabla 1. Emisión de CO₂ en millones de toneladas en 2002 y la previsión para 2025 (EIA)

País o región	Año 2002	Año 2025	Crecimiento promedio anual %	Crecimiento total %
Mundo (totales)	24,410	38,791	2.0	58.9
Estados Unidos	5,752	7,980	1.4	38.7
Europa Occidental	3,550	3,953	0.5	11.4
Japón	1,180	1,242	0.2	5.3
Canadá	586	806	1.4	37.5
Australia/Nueva Zelanda	447	608	1.3	36.1
Europa Oriental	725	1,008	1.4	38.9
Rusia	1,411	1,865	1.2	32.2
Otros FSU	989	1,513	1.9	53.0
China	3,323	8,134	4.0	144.8
India	1,026	1,993	2.9	94.3
Corea del Sur	451	722	2.1	60.2
Otros países en desarrollo: Asia	1,407	2,689	2.9	91.1
México	363	590	2.1	62.6
Brasil	341	678	3.0	98.9
Otros América Central/Sur	645	1,129	2.5	75.0
Medio Oriente	1,359	2,352	2.4	73.0
África	854	1,524	2.6	78.5

Fuente: Herramienta de análisis de los indicadores climáticos (Climate Analysis Indicators Tool: CAIT), Washington D.C., World Resource Institute (2007).

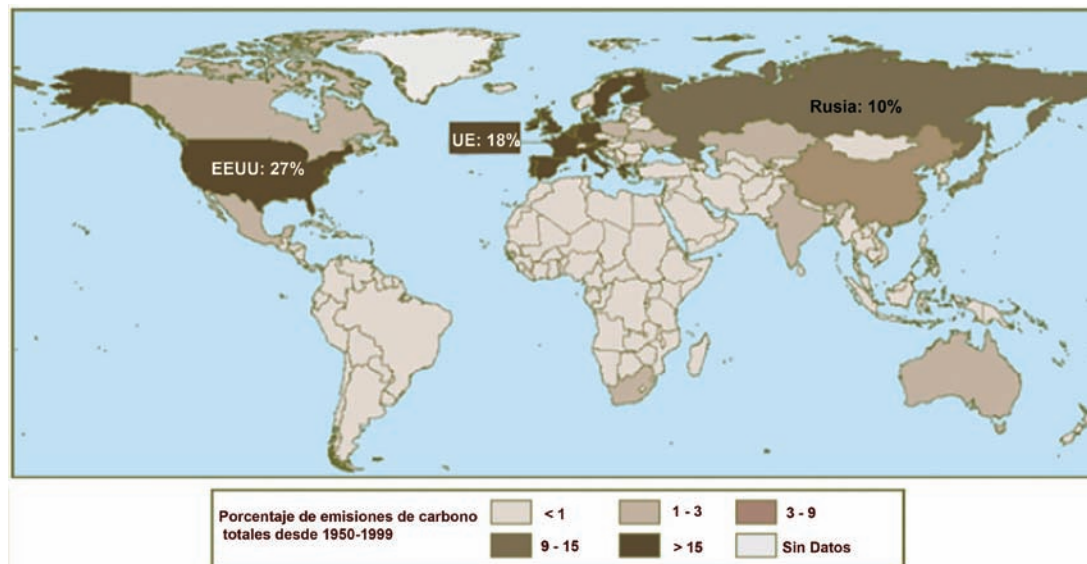


Figura 1. Las emisiones de GEI históricas totales para los diferentes países. Estados Unidos, con apenas 5% de la población de la tierra, ha producido GEI cercanos a 27% del total generado en los últimos 150 años. Las economías desarrolladas integradas por Estados Unidos, la Comunidad Europea —los trece países que la conformaban hasta 2002—, Japón y Rusia, han producido más de la mitad de los GEI totales.⁸

contribución significativa, en gran medida debido a una dependencia elevada y excesiva en el uso de hidrocarburos⁹ para su desarrollo económico (figuras 2 y 3). Brasil ha sido también un importante emisor, pero en gran parte debido a un segundo efecto: la deforestación y el cambio de uso del suelo.

¿Y cómo habrán de alcanzar un desarrollo económico los países menos desarrollados? Si ahora analizamos el crecimiento en la emisión de GEI, entonces las contribuciones de América Latina y el Caribe han aumentado 35% más que el promedio mundial, para el periodo entre 1990 y hasta el 2000 que fue de 13%. Durante ese periodo, en América del Sur se dio un aumento de 40% en la industria y el transporte, con incrementos superiores a 70% en la generación de electricidad, aunque las emisiones de este último sector son todavía menores que las de los anteriores.

En general, un habitante de América Latina produce aproximadamente 2.7 toneladas de CO₂-eq anuales, por debajo del promedio mundial (figura 2). Y a pesar de que un brasileño genera casi la mitad que un mexicano, los mecanismos asociados al cambio de uso del suelo son extremadamente severos en este último país. Lo más preocupante es que Perú, el segundo país latinoamericano con grandes extensiones selváticas, tiene

igualmente un severo problema debido al “cambio de uso del suelo”, mientras que las emisiones de CO₂ como resultado del quemado de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón mineral y otros) son la principal fuente del efecto invernadero. Aún así, la figura 3 muestra que una cuarta parte de las emisiones aproxi-

madamente se debe al “cambio de uso del suelo”; de ahí su relevancia.

Con base en información recopilada por el WRI, la figura 3 muestra a Brasil como el principal emisor de CO₂ latinoamericano. Ello es aún más desafortunado cuando se observa que el cambio de uso de suelo en Brasil generó 18% del

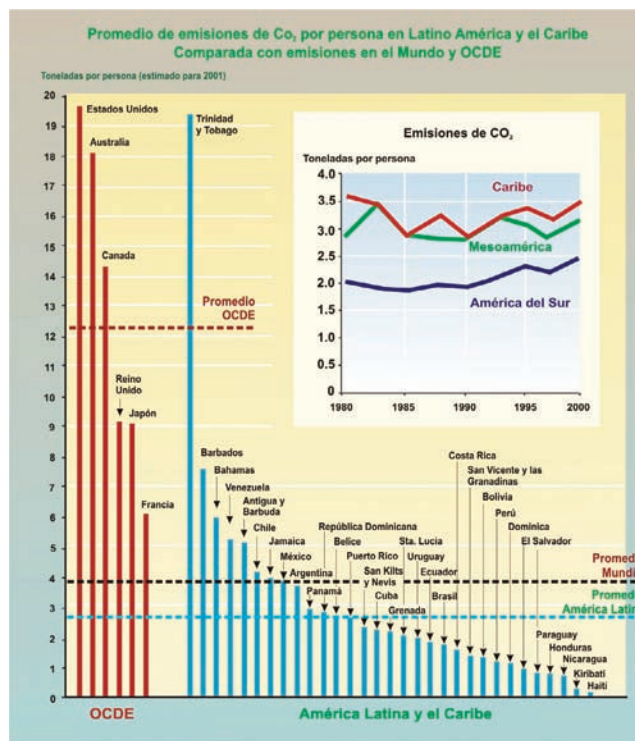


Figura 2. Emisión de GEI per cápita. El mexicano emite GEI a una tasa cercana al promedio mundial, por lo que cualquier política de desarrollo que no mitigue un aumento en la emisión de GEI es irresponsable y poco ética. La explotación de gas hace que Trinidad y Tobago tenga una producción alta. Nótese que los países miembros de la OCDE emiten GEI a una tasa que es más de tres veces el promedio mundial.⁹

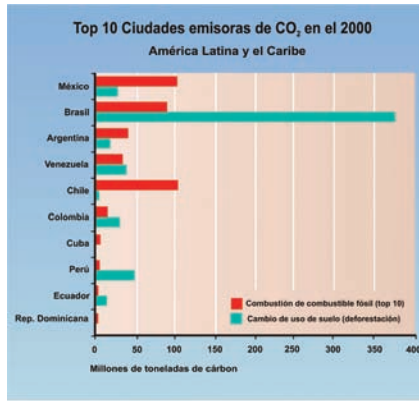


Figura 3. Los países emisores de CO₂ más importantes de América Latina. Las dos fuentes consideradas son emisiones por combustión de petróleo, gas y carbón, así como por deforestación.⁹

recursos sudamericanos. Las enormes extensiones deforestadas en Brasil son extremadamente lesivas al medio ambiente, pues 0.4% del territorio de tala anual implica entre 1.2-2.7 millones de hectáreas de cambio de uso del suelo (figura 4). Y si bien el problema es agudo, también éste ha resultado pernicioso, ya que durante la última década la tala en Brasil se incrementó 32%, pasando de 14,000 a 18,000 km² al año; ello equivalente a arrasar, cada año, una superficie comparable a Baja California Sur. La presión sobre el ecosistema tiene su origen en la ganadería y agricultura, la explotación de recursos forestales —extracción de madera, en menor escala—, incendios forestales —y otros mecanis-

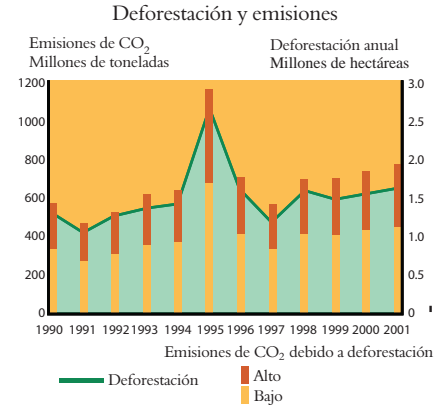


Figura 4. La deforestación en la cuenca amazónica, así como las emisiones de GEI resultado del cambio de suelo (2004).⁹

La restauración de las condiciones ecológicas naturales aportará enormes beneficios

CO₂ del mundo por este concepto, sólo detrás de Indonesia. En gran medida, la deforestación en Indonesia es causada por las nuevas plantaciones de palma de aceite, la principal fuente internacional de biodiesel para Europa.

Las zonas selváticas localizadas en Brasil y Perú corresponden a 92% de esos

mos, esencialmente asociados a cambios climáticos regionales, tales como sequía—, así como también el crecimiento de las ciudades, que forjan un cambio en el uso del suelo extremadamente adverso al balance de los GEI.

Aún más, el balance para América Lati-

na es extremadamente preocupante pues las tasas de tala en México y Argentina representan un serio problema para sus habitantes: éstas alcanzan 1.1 y 0.8% de las superficies boscosas, respectivamente. En contraparte, remediar esa adversa situación actual conlleva enormes beneficios posibles para nuestros países. Las selvas tropicales son el segundo sumidero de importancia para el CO₂ atmosférico, después de los océanos (figura 5). Y si es cierto que existe una gran incertidumbre en cuanto al balance de los flujos de GEI por cambios en el uso del suelo, existe

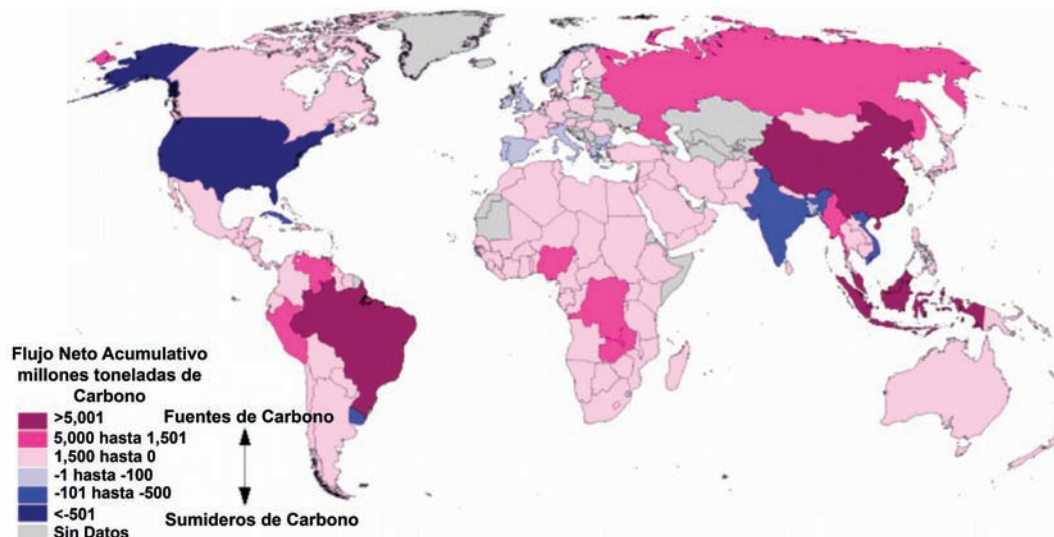


Figura 5. Balance neto del flujo de CO₂ como resultado del cambio de uso del suelo para el periodo 1950–2000. Estos flujos, absorbido o emitido, son el resultado de los cambios llevados a cabo por la humanidad, tales como deforestación, cambios en los cultivos y crecimiento nuevo de vegetación natural en campos abandonados, entre otros. Los tonos rojos representan fuentes de CO₂ —emisiones netas a la atmósfera—, y por eso son contribuciones adversas al cambio climático, mientras que los azules son lugares de absorción de CO₂ gracias a la restauración de la vegetación.^{10,11}

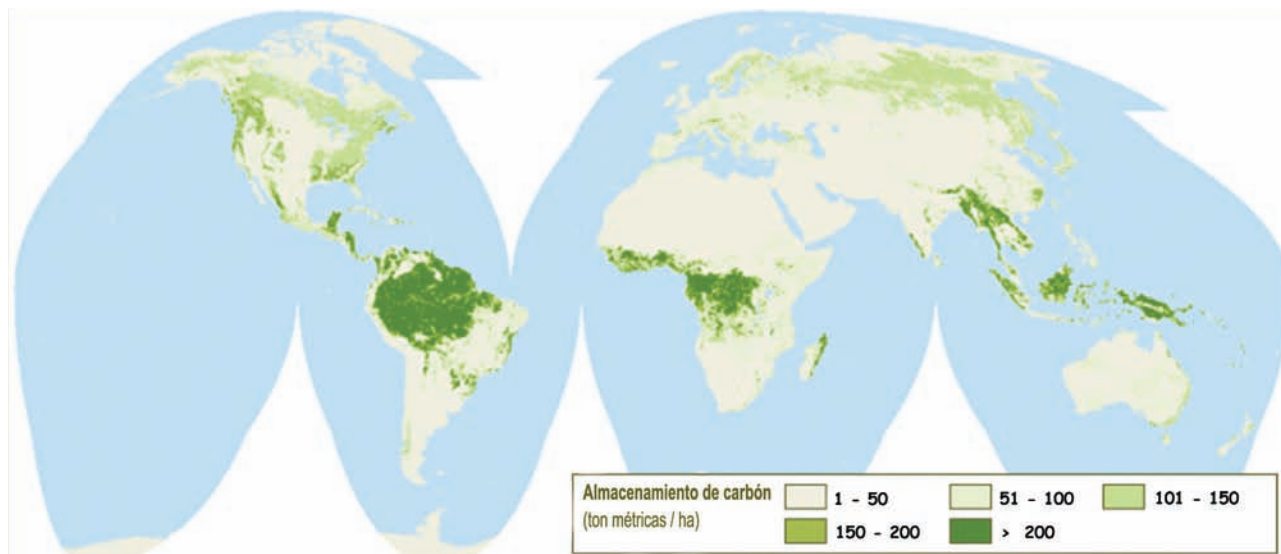


Figura 6. Los valores estimados por Olson para la acumulación de carbón en la vegetación (expresados en toneladas métricas de carbón por hectárea). La capacidad para acumular carbón por las selvas tropicales alcanza valores máximos de 250 toneladas métricas por hectárea. Las estimaciones de fuentes y sumideros de CO₂ tienen una alta incertidumbre, ya que no consideran diversas formas de manejo de la agricultura intensiva e industrias forestales, y otras prácticas; en general, ofrecen flujos con incertidumbres que pueden alcanzar ±150% para los flujos más significativos.^{12,13}

plena confianza de que la restauración de las condiciones ecológicas naturales aporta un enorme beneficio a la mitigación del cambio climático. Es igualmente válido suponer que todos los ecosistemas

otros efectos, en particular de aquellos cuya severidad y magnitud pueden ser igualmente catastróficos; especialmente de aquellos cuyo impacto en el medio ambiente —como hoy lo conocemos—

puede ser devastador. Entre ellos debemos considerar efectos adversos como la pérdida del segundo sumidero de CO₂ más importante (el proceso natural de generación de masa vegetal a partir del carbono de la atmósfera), como también la liberación de carbono del permafrost, o de una mayor absorción del CO₂ por los océanos, que los convierte en cuerpos de agua cada vez más ácidos.

El cambio climático produce tormentas tropicales más intensas y el aumento del nivel de los mares

restaurados aportarán al soporte económico de sus habitantes en igual o mayor medida —pues encierran una enorme riqueza—, en comparación con los escenarios logrados con el cambio de uso del suelo.

Las posibles consecuencias catastróficas de más CO₂

Se ha informado ampliamente de aquellos efectos en el clima que son severos, tales como la intensidad de las tormentas tropicales y aumento del nivel de los mares, de la severidad de los veranos e inviernos de grandes extensiones en todos los continentes, de la reducción de las masas de hielo polares, etc. Pero también es necesario conocer de



Blanca Luz Pulido, 2006. Gorrión americano. Fotografía.

Deforestación y pérdida de absorción de CO₂ por la vegetación

Las figuras 5 y 6 muestran los efectos de políticas de uso y de cambio del suelo. Como puede observarse, la aplicación de políticas forestales y de restauración de ecosistemas puede ser una de las soluciones más sensatas para la captura —y reducción de la emisión— de CO₂. Aquí la aplicación de las políticas correctas no sólo elimina una fuente del problema del cambio climático, sino que sistemáticamente incrementa el valor y productividad del suelo una vez que éste se restablece a su estado natural. Como se observa de la figura 6, el potencial de México es apreciable, pues tiene enormes extensiones sobre las cuales existe gran potencial para producir masa ve-

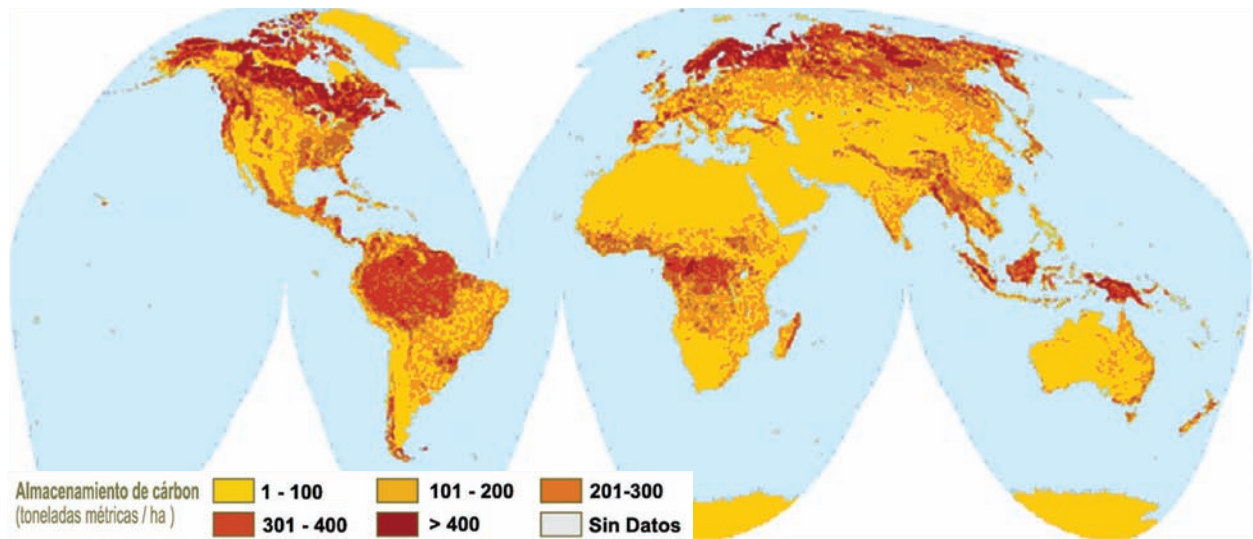


Figura 7. Valores del almacenamiento de carbono por encima —como vegetación— y dentro del suelo. Las acumulaciones en Groenlandia y la Antártica no consideran el carbono debajo del suelo debido a falta de información.^{17,18}

getal. Es igualmente cierto que en estas regiones el problema de tala y cambio de uso de suelo es igualmente severo.

Al aumentar las temperaturas por el cambio climático, la duración de las estaciones de crecimiento es más prolongada, con el inicio de las temporadas de floración ocurriendo más temprano. En este ambiente, la capacidad para acumular CO₂ por la biosfera terrestre ha aumentado de 1.2 ± 0.7 Gt por año (en los ochenta) hasta 1.4 ± 0.7 Gt (en los noventa). Aún así, la flora en suelos y océanos sólo absorbe aproximadamente la mitad de las 7.4Gt de carbono antropogénico producidas anualmente.



Blanca Luz Pulido, 2006. *Cardenalito*. Fotografía.

Permafrost

En las regiones árticas se encuentra el permafrost,^{15,16} a unos cuantos centímetros de la superficie y cuya extensión es de aproximadamente 10.5 millones de km², y está sufriendo cambios significativos,

30 cm de profundidad por año; al grado de que el suelo ya no ofrece un sustento suficientemente firme para los viejos árboles boreales, los cuales crecen ahora mostrando una notable inclinación. Esta evolución está documentada desde hace

Uno de los cambios más graves es que el permafrost se está derritiendo a tasas de hasta 30 cm anuales de profundidad

posiblemente debido al cambio climático. El permafrost es la capa superior del subsuelo congelada permanentemente en las regiones árticas; de hecho, se define permafrost como aquellos suelos que por dos años consecutivos no se descongelan —que permanecen por debajo de 0 °C. La figura 7 muestra las regiones de permafrost con profundidades que varían desde 3.4 metros hasta cientos de metros en otras regiones continentales del Ártico.

En el flujo global de CO₂, la relevancia del permafrost radica en que parte de éste se está descongelando, esencialmente debido a las altas temperaturas observadas en grandes extensiones de las regiones árticas. ¡Sí! Derritiéndose, a tasas hasta de

varias décadas con mediciones del grosor de los anillos del tronco, que sistemáticamente muestran un grosor asimétrico, fortaleciéndose el sector del tronco opuesto a la inclinación, i.e., agregando más madera en el sector que ahora soporta una mayor carga. Esta evolución se ha podido corroborar en numerosas regiones árticas y por varias décadas. Asimismo, se ha observado un mayor crecimiento de musgo y líquenes en grandes extensiones en las que anteriormente no existían porque el suelo estaba “permanentemente” congelado.

Pero la importancia del Ártico en el cambio climático se debe a que esta región es el almacén más grande en el mundo de materia orgánica en el subsuelo. En

el permafrost se encuentra la turba (en inglés: *peat*), resultado del decaimiento milenario de grandes cantidades de materia orgánica aportada por la flora. Entonces, todo descongelamiento del subsuelo conlleva un proceso acelerado de descomposición de la turba. Para algunos científicos, ello equivale a desconectar el refrigerador y esperar a que lo que contiene simplemente se pudra.

Y eso consecuentemente plantea la posibilidad de una nueva y enorme fuente de CO_2 . Una fuente cuya liberación de GEI ocurriría en cantidades extremadamente grandes, ya que tiene la capacidad de liberar del orden de 1.5×10^{12} ton de CO_2 . Se estiman entre 350 a 900 Gt de carbón disponibles —cantidades nada despreciables— y su liberación siendo equivalente a más de 150 años de la emisión de GEI antropogénicos, ipero a tasas actuales! Puesto de otra manera: ello equivale a iduplicar anualmente la inyección de CO_2 en la atmósfera, desde ahora! Entonces, el calentamiento global se aceleraría pero ahora por un mecanismo propio de la biosfera.

El impacto neto es aún difícil de predecir, y más aún estimar la rapidez de los efectos colaterales. Es decir, cómo se darán los cambios —con qué intensidad, o rapidez— no es fácil de determinar porque efectos tales como una mayor



Figura 8. Musgo y líquenes de la tundra boreal tendrán un papel significativo en el nuevo entorno ecológico, pues ocuparán espacios antes helados. Sin embargo, el efecto neto en el balance del carbono es incierto, pues podría aislar el subsuelo, evitando una tasa mayor de pérdida del permafrost.

distribución de musgo en el verano, un adelgazamiento de la capa de nieve en el invierno, la mayor disponibilidad de nutrientes en el subsuelo debido a la des-

retrocede. Es hoy claro que la línea de demarcación boreal del Ártico —en la que crecen árboles— ha tenido una marcha inexorable hacia el norte. Igual-

El permafrost retrocede y la línea de demarcación boreal del Ártico, donde crecen árboles, está cada vez más al norte

composición, o los cambios del albedo representan parámetros ecológico-climáticos significativos, cuyos mecanismos de retroalimentación se desconocen y también son difíciles de inferir.

Mas es innegable que el permafrost

mente preocupantes son los posibles procesos anaeróbicos de descomposición de la turba —debidos a la existencia de una capa de agua del deshielo—, pues desafortunadamente éstos generan altas cantidades de metano, cuyo impacto por efecto invernadero es 21 —molécula por molécula— veces más pernicioso que el CO_2 . Tan sólo en los lagos de Siberia, se calcula que actualmente se liberan a la atmósfera del orden de cuatro millones de toneladas de metano. Este metano carece de carbono-14 —que se genera constantemente en la atmósfera y cuya vida media de decaimiento es de varios milenios— lo que implica también que su fuente de carbono ha permanecido ajena al flujo de CO_2 de la atmósfera —esto es, enterrada— durante miles de años. En suma, el “efecto permafrost” representa una de tantas posibles consecuencias del calentamiento global que pueden ser extremadamente severas y que definen un punto de no-retorno, que todavía no sabemos cuál es o en qué consiste.



Blanca Luz Pulido, 2006. *Pelicanos*. Fotografía.

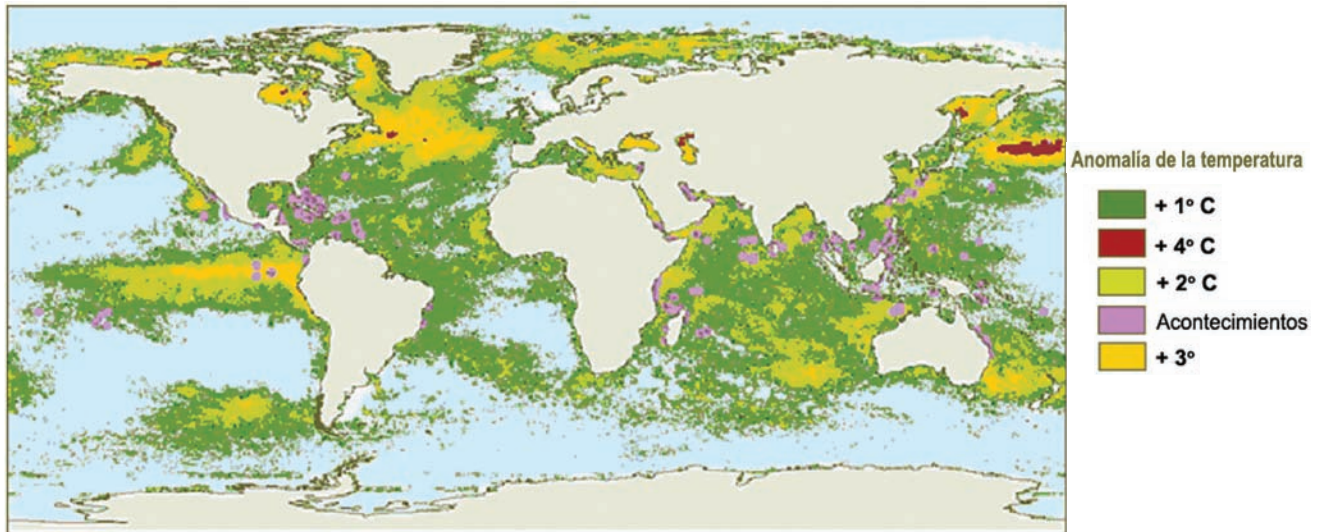


Figura 9. Una medida directa de los efectos adversos del aumento de la temperatura de los océanos sobre los arrecifes de coral (denominados *coral stress*) son los fenómenos de blanqueo^c y de la mortalidad del coral que actualmente se han detectado y que abarcan grandes extensiones del océano. Un aumento de 1° a 2° C en la temperatura promedio del agua durante los meses más cálidos es suficiente para causar el fenómeno de blanqueo. El mapa muestra las temperaturas superficiales oceánicas, así como aquellas regiones en las que se presentaron situaciones de blanqueo de coral durante el verano boreal de 1998, cuando ocurrió uno de los fenómenos de El Niño más intensos del siglo pasado. Se espera que los fenómenos tanto de aguas más cálidas como de blanqueo de coral se presenten con mayor frecuencia, y en grandes extensiones, en un futuro cercano. Algunas regiones muestran ya un deterioro que alcanza la muerte de 95% del coral, aun para aquellos arrecifes milenarios de grandes masas de carbonatos.^{19,20}

Algunos de los efectos ecológicos severos: en el mar, la vida es más...¿ácida?

El calentamiento global también ha incidido sobre las temperaturas de los océanos del mundo. Una comparación de las temperaturas observadas en el Pacífico Occidental con los récords paleoclimáticos indican que el Pacífico, y posiblemente el planeta, están tan calientes ahora como no se ha observado desde el máximo del Holoceno, y estamos a menos de 1 °C de las temperaturas máximas observadas desde hace un millón de años. Ello implica que un calentamiento global superior al actual de ≈1 °C debería considerarse un cambio climático crítico, cuyo punto de no-retorno podría desencadenar la extinción masiva de especies.

Desde una perspectiva regional este aspecto es extremadamente serio para Centroamérica pues, durante el último siglo, se ha observado un calentamiento del Pacífico Ecuatorial Occidental superior al observado en su región oriental. Este aumento en el gradiente térmico de occidente a oriente induce una mayor frecuencia y severidad de fenómenos

de El Niño, como el que se muestra en la figura 9. Ello conlleva una influencia climática determinante para los pueblos de la región.

Los procesos desencadenados por un aumento de CO₂ en la atmósfera son diversos e igualmente adversos. Ante un aumento en el CO₂ en el aire, los océanos absorben consecuentemente una mayor fracción de éste. Actualmente absorben del orden de 2 Gt de carbono al año, casi el doble del que se absorbe en los conti-

los océanos, con un pH promedio que pasó de 8.16 (en el siglo XIX) a menos de 8.05, actualmente.^d El pH podría alcanzar valores de 7.9 para finales del siglo XXI. Y a medida que la concentración de CO₂ atmosférico aumenta, el pH oceánico se abate, porque los procesos naturales ya no tienen la capacidad para reducir esa acidez. Aún más, la química marina predice que los mares reducirán su capacidad para absorber más CO₂ a medida que decrece su pH.

Si el pH de los océanos sigue disminuyendo la fauna marina sufrirá cambios sustanciales e irreversibles

nentes por fotosíntesis, representando el ≈ 33-50% del carbono emitido antropogénicamente. Esa absorción de carbono por los océanos —en forma de CO₂— se transforma en ácido carbónico. Entonces como resultado del aumento de CO₂ atmosférico se ha observado una mayor tasa de absorción durante las últimas décadas, e inducido una acidez notable en

También es relevante considerar un segundo efecto que la absorción de CO₂ tiene sobre las características básicas oceánicas. Como resultado de mares más ácidos, las poblaciones de organismos pequeños —pico y microplancton— en los océanos están bajo un cambio del ecosistema que va más allá de aumentos en la temperatura que se muestra en la

figura 9. En particular, la modelación del océano-atmósfera, con excesos de CO_2 , predice una mayor estratificación de las capas de agua superficiales, así como una mayor estabilidad y una concurrente menor mezcla. Si ello ocurriera, las poblaciones de microplancton disminuirían mientras que las de picoplancton aumentarían,²¹ en particular en las latitudes medianas del Pacífico Norte. Esto es, grandes extensiones oceánicas enfrentan un cambio de flora significativo, la cual

—basados éstos en el carbonato de calcio disuelto en los mares— será cada vez más difícil, pues la acidez del océano los corroerá.²² Más aún, el exceso de iones hidrógeno reacciona con los iones de carbonato en solución, reduciendo la saturación de carbonato de calcio (respecto de aragonita) en los océanos. Se calcula que tal saturación pasará de 3.34 —observada en el periodo preindustrial— a cerca de 1.9 para 2500. La baja de carbonatos en solución —saturación— reducirán a su vez las

Los océanos enfrentan un cambio de flora que, al ser la base de la cadena alimenticia, afectará a la fauna

es la base de la cadena de alimentación; asimismo, como se muestra en la figura 10, los procesos de captura de CO_2 por la biota marina y los procesos de mineralización se alterarán.

El exceso de CO_2 disuelto en el agua aumenta la concentración de iones hidrógeno; i.e., un decremento del pH. Si se toma en cuenta el cambio en la acidez, muchísimas especies marinas experimentarán condiciones nunca vistas por sus ancestros. La formación de sus esqueletos

tasas de calcificación de animales marinos hasta en 60% durante este siglo.²³

En particular, el futuro de los corales está en entredicho. Por un lado, los corales han sobrevivido por más de doscientos millones de años, habiendo ocurrido durante este tiempo periodos breves en los cuales las concentraciones de CO_2 de la atmósfera fueron muy elevadas. Ello podría indicar la existencia de procesos de adaptabilidad —mediante cambios en la fisiología animal— semejantes al que recientemente se ha estudiado para corales escleractinianos.^{20,24} Éstos han demostrado la capacidad para sobrevivir y prosperar en aguas ácidas ipero habiendo perdido su esqueleto duro! De hecho, los corales podrían sobrevivir en los mares ácidos del futuro como organismos semejantes a anémonas.^{24,25} Ello conllevaría a que las principales selvas marinas de los océanos tropicales estén a punto de sufrir alteraciones perdurables y sustanciales. Los fenómenos de blanqueo y muerte de corales son hoy una seria amenaza para las regiones tropicales.

Por otro lado, el blanqueo de arrecifes se atribuye también al desarrollo urbano de zonas costeras, a una recarga de sedimentos pluviales excesiva, a la contaminación marina y la sobreexplotación pesquera. Si se integran todos estos factores en un índice de riesgo para los

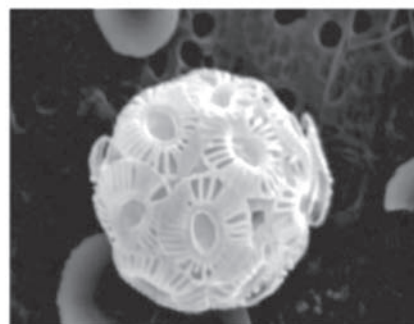
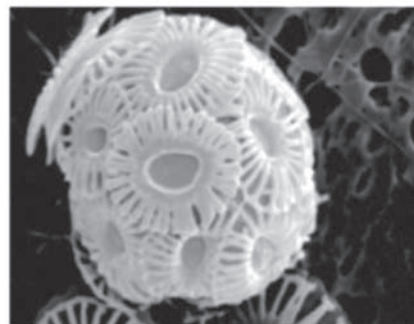
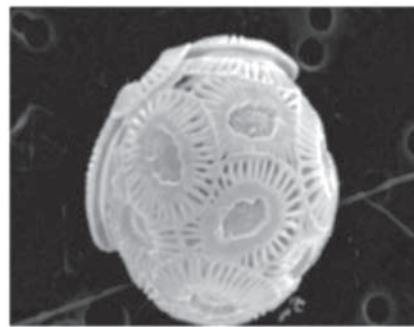


Figura 10. Los mares ácidos (fotos central y abajo) reducen la estructura externa de coccolitoforos, fitoplancton unicelular de las aguas superficiales, que son parte importante de la base de las cadenas alimenticias oceánicas. Este fitoplancton expuesto a tres veces las concentraciones de CO_2 atmosférico actual reduce su estructura externa a la mitad. La estructura externa —esqueleto— está formada por escamas de carbonatos (calcita: CaCO_3), siendo los principales productores de calcita natural: producen 1.5 millones de toneladas al año. Por cada tonelada de coccolitos (escamas) se retiran —secuestran— 145 kg de carbono del aire.²²



Blanca Luz Pulido, 2006. Garza azul. Fotografía.

arrecifes coralinos, entonces hoy existen amplias zonas de la región del Caribe y América Latina seriamente amenazadas por el cambio climático y el impacto de la actividad humana (figura 11).

Pero, ¿qué pasará si las magníficas megaestructuras de carbonato de calcio de los arrecifes —figura 12— desapare-



Figura 11. El Caribe y el Golfo de México muestran un grave deterioro de sus arrecifes coralinos debido a los fenómenos de blanqueo y muerte. En particular, el nivel de riesgo para la mayor parte de éstos en la región oriental se considera como muy alto.



Figura 12. Las colonias de pólipos —escleractinianos; llamados corales cerebro o corales piedra— aparecieron en el Triásico (hace 240-290 millones de años) y son los principales creadores de masa de carbonatos de los arrecifes coralinos tropicales. Éstos evolucionaron de anémonas blandas y hoy existen variedades que habitan mares tropicales, templados y hasta polares, y pueden encontrarse en profundidades de hasta 6,000 metros. Los escleractinianos tienen un esqueleto de carbonato de calcio (estructura de aragonita). El fenómeno de blanqueo se observa en esta colonia (abajo), con una porción todavía saludable por debajo de ella.^{20,23}

cen? Acaso la deforestación submarina es menos dañina que la que ocurre en nuestras selvas. Finalmente, ¿cuántos de los organismos podrán adaptarse al cambio de acidez en forma comparable a los corales escleractinianos?²⁴ Lo que se sabe es que muchos animales marinos —erizos, caracoles, etc.— no tienen la capacidad para sobrevivir en aguas con

los océanos sufrirán cambios por miles de años!²³

El dilema actual se resume así: a partir de 1750, se estima que 2/3 de las emisiones de CO₂ antropogénico se deben a la quema de combustibles fósiles, y el resto por cambios en el uso del suelo. Aproximadamente, 45% de ese CO₂ en exceso permanece todavía en la atmós-

La deforestación submarina es igual o más dañina que la que ocurre en las selvas

concentraciones de CO₂ gaseoso de 550 ppm por periodos prolongados. En particular, los animales que habitan los lechos marinos tienen una pobre tolerancia a la acidez: un cambio de pH de 0.1 reduce sustancialmente sus poblaciones.

¿Y el futuro? La modelación de la acidez de los océanos indica que sin tomar medidas ahora y permitir el mismo escenario de quema de combustibles hasta 2100 conlleva a que el pH de las aguas superficiales icontinuará decreciendo hasta el año 2700! Y a profundidades de 1,000 metros la acidez continuará incrementándose más allá de principios del próximo milenio. El efecto neto es que

fera, mientras que una tercera parte ha sido absorbida por los mares; el resto por la biosfera terrestre. Y dado un impulso de CO₂ emitido —expresado como una delta de Dirac, al tiempo $t = 0$, 30 años después permanece todavía 50%, con 20% removido en los siguientes siglos. El restante 20% permanece en la atmósfera por varios milenios. El forzamiento del pH oceánico permanecerá en la tierra posiblemente más allá de lo que jamás imaginamos.

La creatividad y análisis del hombre es aún muy limitada para visualizar los mecanismos e interacciones relevantes en los océanos o en las regiones árticas, o para comprender la complejidad de los

cambios que como resultado del cambio climático ocurren ya, o de aquellos que están por manifestarse. Y sin embargo, con certeza hoy el progreso de la civilización avanza inexorablemente a un final dantesco.

Lo que sí sabemos... (con 90% de confianza)

El ecosistema global es extremadamente complejo, pues involucra factores aún poco estudiados de gran magnitud y cuya dinámica involucra desde tiempos relativamente cortos hasta tiempos largos, tanto hacia el futuro como al pasado, tal es el caso del carbono secuestrado en la tundra, o la capacidad enorme pero igualmente finita de los océanos para absorber los GEI. Lo que sí es factible afirmar, y ésta es la conclusión del IPCC-WG1, es que el calentamiento se debe a actividad humana, especialmente a la quema de combustibles fósiles. Y por qué esta afirmación se hace hasta ahora. Veamos.

El balance térmico global: por qué nos estamos calentando

La conclusión alcanzada por el WG1 en febrero pasado se resume rápidamente en la figura 13. Ahí es factible observar que el clima del ecosistema de la tierra tiene un delicado balance —que de hecho ha variado con las diversas épocas geológicas. En particular, hoy se conoce que en dicho balance térmico se tienen que considerar las variaciones de la concentración de los gases con efecto invernadero, así como las variaciones en la nubosidad —y de los factores que sobre ella influyen—, los cambios del albedo continentales —debido al cambio de uso del suelo de grandes extensiones o por una disminución de las regiones de hielo y nieve—, y muchos otros de los cuales aún no se tiene un conocimiento preciso para inferir sus efectos en el balance térmico.

Por ejemplo, si bien se han considerado los cambios en el albedo por la nubosidad, los efectos sobre el albedo que tienen los cambios en la biota de los océanos son algunas de las interroga-

tes por resolver. Mas algo está claro: los efectos principales son suficientemente significativos en su magnitud como para considerar a éstos como los efectos principales. Y que no quede duda: el cambio climático es consecuencia de la actividad humana, y en particular de un “progreso” basado en la quema de combustibles fósiles.

De la figura 13 hay que resaltar algunos puntos. El efecto invernadero se debe a la opacidad de las atmósferas con altas concentraciones de GEI; esto es, es equivalente a suponer que la porción de la energía solar re-emitada al exterior ya no escapa con la misma facilidad que antes: se recibe la misma cantidad de Sol, pero escapa menos. Y así, esta variación se debe considerar como una fuente extra a la energía recibida del Sol. De ahí que la intensidad de los fenómenos dominantes en el balance térmico global se establezca con unidades de Wm^{-2} . Si se considera un estado de “equilibrio” para el balance térmico global, digamos preindustrial, entonces esta figura muestra aquellos forzamientos que, como resultado de la actividad humana, han aumentado de

intensidad a partir del año 1750.

Ahora, ¿son los niveles que se muestran en la figura 13 significativos? Tan sólo la irradiancia solar para gran parte del territorio nacional —y a nivel del suelo— es del orden de $1000 Wm^{-2}$, con una irradiancia global aproximada de 1.74×10^{17} Watts. La energía térmica que no escapa por los GEI equivale, al menos, a una disipación del orden de $640 \times 10^{12} W$, operando día y noche!, pero que apenas representa 0.368% de la irradiancia global. En contraste, la capacidad total de generación del “progreso humano” es del orden de $15-20 \times 10^{12} W$ (equivalentes a 500 EJ de energía anuales). Es sorprendente que por aprovechar —esto es, por mantener 20 TW operando para soportar el progreso de la humanidad— ejercemos indirectamente un calentamiento treinta veces mayor.^f

De igual manera, se han descartado las consecuencias de otros posibles efectos observados, tales como el aumento en la radiación solar —incrementos menores a $0.1 W/m^2$ a partir de 1750—, cambios de albedo, efecto de más aerosoles de origen volcánico, etc., que si bien han

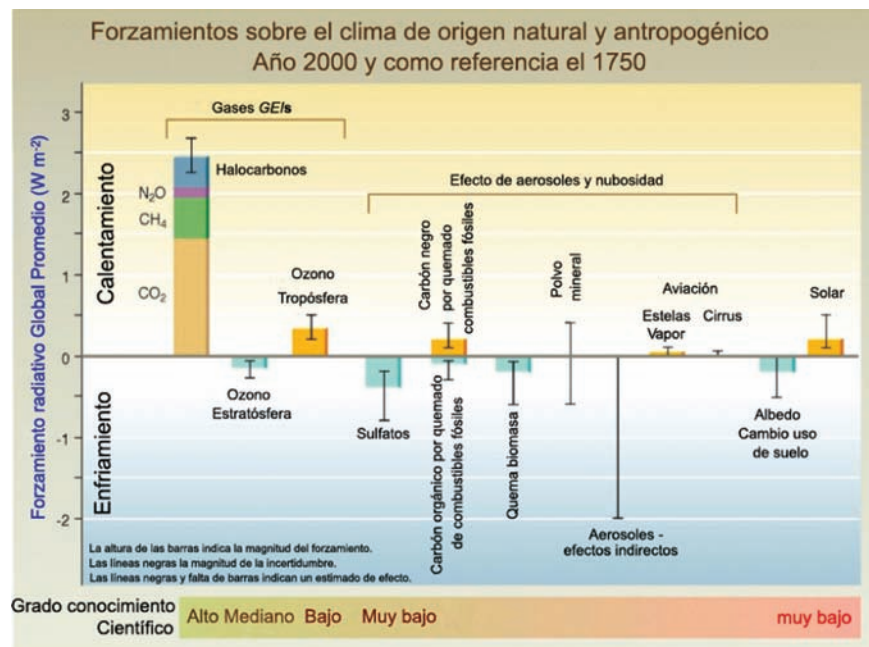


Figura 13. La diferencia en el balance del forzamiento antropogénico relativo al existente en 1750 (tiempos preindustriales). La regla inferior muestra el nivel de confianza científica que se tiene en cuanto al establecimiento de la intensidad del fenómeno y de las relaciones causa-efecto.

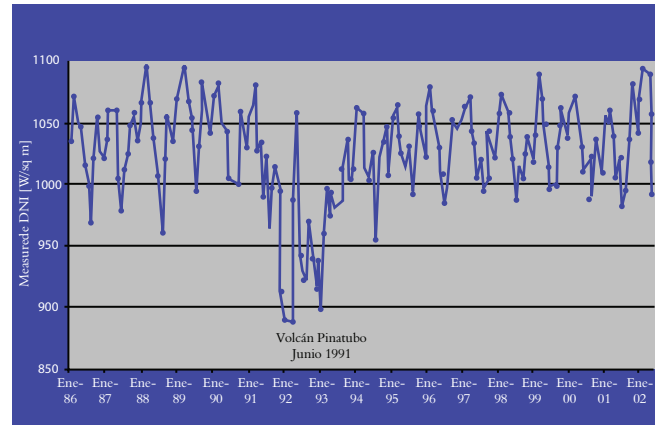
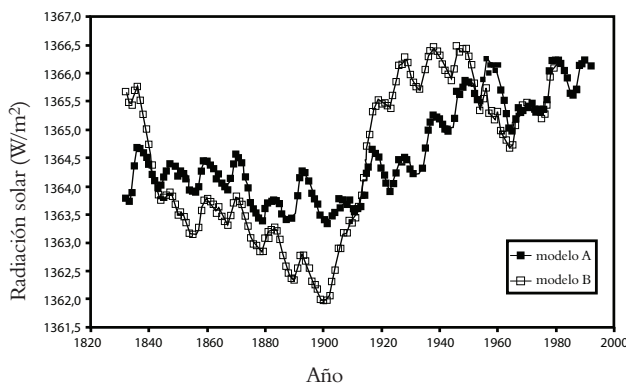


Figura 14. La variación de la irradiación debida a la variación en la presencia de partículas y aerosoles de sulfatos; e.g., en la estratosfera después de la erupción del Pinatubo, Filipinas, medida ésta en Colorado, Estados Unidos (izquierda). El efecto de inyección de aerosoles por El Chichón, en Chiapas, fue igualmente significativo, aunque éste hizo erupción en 1982. La variabilidad de la insolación solar a partir de 1820, determinada a partir de las superficies de las manchas solares —manchas oscuras— y faculae —regiones brillantes, de mayor radiación— (derecha).

ocurrido y son significativos, se consideran menos perdurables y por lo tanto menos probables como causantes del cambio climático.

Otros efectos que modifican el balance energético global

La figura 14 muestra dos efectos naturales que son difíciles de discriminar en los modelos del clima. El primero es la variabilidad de la radiación solar. Existen diversos modelos para determinar la actividad del Sol, pero en general sólo se tiene un grado de confianza razonable. Por ejemplo, un modelo que no sólo toma en cuenta la frecuencia de manchas solares —como un indicador de la intensidad de actividad solar—, sino que

también considera la superficie total de las manchas solares muestra que a principios del siglo XX se dio una menor luminosidad del Sol, situación opuesta hacia el final del mismo siglo. Estos efectos enmascaran las consecuencias de un exceso de CO_2 en la atmósfera.

La insolación del Sol, durante los últimos 28 años, muestra que los ciclos de 11 años han fluctuado 0.08% entre

El segundo efecto que se observa en mediciones de la irradiación solar es consecuencia de las grandes erupciones volcánicas, en particular de aquellas que tuvieron lugar con una liberación de energía enorme, inyectando grandes cantidades de materia a altitudes superiores a 15 km. Las figuras 14 y 15 muestran los efectos en América del Norte por las partículas y los aerosoles del Pi-

Las grandes erupciones volcánicas, que inyectan materia a más de 15 Km de altitud, influyen en la irradiación solar

el mínimo y máximo. El forzamiento radiativo solar a partir de 1750 es de $+0.12$ [$+0.06$ hasta $+0.3$] Wm^{-2} . Esto es, las fluctuaciones son diez veces mayores que el forzamiento; i.e., la contribución solar al clima en el largo plazo no se conoce suficientemente, pues se desconocen los mecanismos que contribuyen a su variabilidad. Asimismo, la magnitud en las variaciones observadas en la intensidad de la radiación solar muestran claramente la complejidad del problema. En resumen, es indispensable un esfuerzo sostenido para comprender en forma más precisa un sinnúmero de efectos físicos que ya están modificando drásticamente el clima del planeta.

natubo, meses después su erupción en junio del 1991. Durante esta clase de eventos, la presencia de partículas volcánicas en la atmósfera aumenta el albedo terrestre, y como resultado la radiación directa normal medida en tierra decrece. El gráfico de la derecha en la figura 14 muestra el efecto que la erupción del volcán Pinatubo de Filipinas tuvo sobre el hemisferio norte. Las columnas de cenizas alcanzaron 24 km de altura y se introdujeron 20 millones de toneladas de SO_2 a la atmósfera con 10^{10} toneladas de magma. Estas partículas ocasionaron una reducción de la temperatura global promedio de 0.5 °C que perduró por varios años. La presencia de partículas



Blanca Luz Pulido, 2006. *Basilisco*. Fotografía.

en la atmósfera redujo en casi 15% la radiación directa normal medida en el suroeste de Estados Unidos, como se muestra en la figura 15, y puede afirmarse que tal evento afectó el clima del hemisferio norte al menos por dos años. Si bien no es fácil extrapolar esta información a otras regiones del globo, con información de otras regiones del mundo es factible evaluar el efecto que un evento de esta magnitud tiene sobre el clima global.

La figura 15 muestra también el efecto que el Pinatubo ocasionó principalmente en las mediciones de la radiación directa total diaria, que persiste también para la radiación global total. La consecuencia inmediata es que la flora y fauna están sujetas a forzamientos no despreciables. En ese mismo gráfico se observa una ligera tendencia de la radiación solar a aumentar durante esos años, que es aplicable probablemente a una amplia región del suroeste americano. Ello podría indicar que el calentamiento global está alterando —reduciendo— ya la cubierta de nubes de la región, con un efecto secundario que muestra un incremento de la insolación superficial directa.

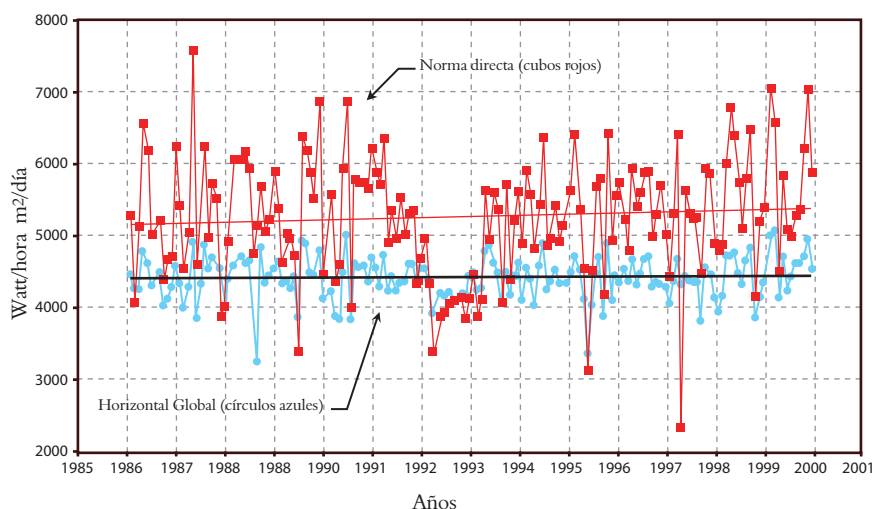


Figura 15. La variabilidad de la radiación solar directa y global medidas en South Table Mountain, Colorado, Estados Unidos. El efecto Pinatubo pudo observarse en el hemisferio norte durante parte de 1991, 1992 y gran parte de 1993. El velo de polvo volcánico redujo la radiación directa hasta en 20%. Claramente la presencia de partículas a grandes altitudes afecta adversamente más la irradiación directa que la global. Las líneas rectas muestran el promedio de irradiación, así como una variación creciente durante el periodo 1986-2000; el incremento se da con pendientes para la radiación directa de 4.7 y de 2.1% para la radiación global. Estas tendencias podrían indicar efectos invernadero de carácter regional y local.

En suma, el balance radiativo total antropogénico, a partir de 1750, es de $+1.6$ [de $+0.6$ a $+2.4$] Wm^{-2} . Este valor es aproximadamente un orden de magni-

tud mayor que el forzamiento radiativo del Sol, con una contribución por GEI del orden de $+2.63 \pm 0.26 Wm^{-2}$.

El balance térmico global: ¿qué calentamiento nos reserva el futuro?

A partir de 1850, el calentamiento global excede ya $0.5\text{ }^{\circ}C$, y crecerá a una tasa de al menos $0.1\text{ }^{\circ}C$ para las próximas dos décadas, sin que para ello se requieren grandes variaciones en los forzamientos debidos a eventos volcánicos o a la insolación (figura 16). Lo verdaderamente apremiante es que se prevé una tasa de calentamiento por década cercana al doble si las emisiones de CO_2 ocurren bajo las condiciones previstas en los diversos escenarios climáticos modelados (SRES) y descritos a continuación. Esto es, debemos partir de la hipótesis de que el calentamiento global durante este siglo se medirá en enteros. Y que no quede duda: estos modelos se han validado previamente, comparando las predicciones con las bases de datos existentes para las temperaturas terrestres de las últimas décadas.²⁶

La figura 16 muestra cómo las ta-

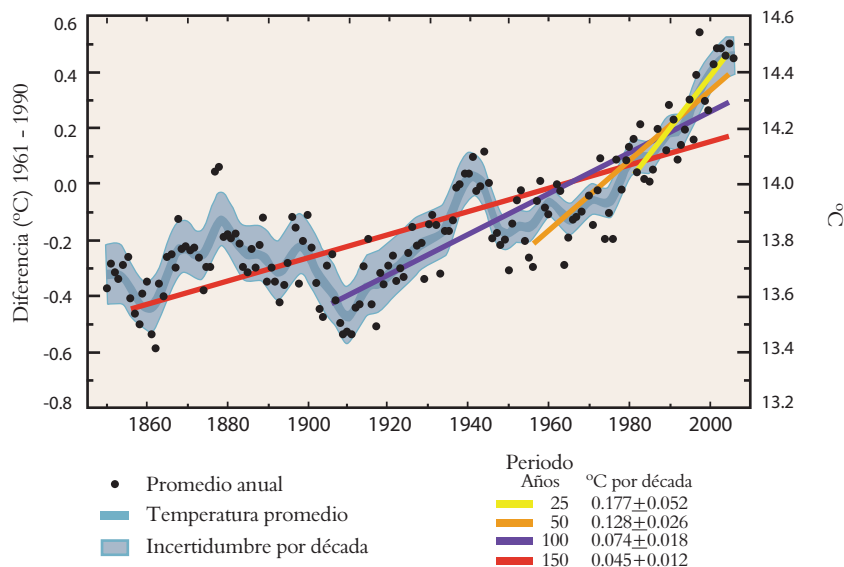


Figura 16. Temperaturas globales promedio por año (puntos negros). La ordenada izquierda muestra las anomalías de las temperaturas relativas al periodo 1961-1990. La ordenada derecha muestra la estimación para la temperatura global promedio actual. Los ajustes lineales para 25 años (amarillo), 50 años (naranja), 100 años (magenta) y 150 años (rojo) respecto del presente. La línea delgada azul corresponde a las temperaturas promedio por década; la franja azul clara corresponde a las incertidumbres por década con 90% de confianza. El cambio de temperatura entre el periodo 1850-1899 y el 2001-2005 ha sido de $0.76^{\circ}C \pm 0.19^{\circ}C$.

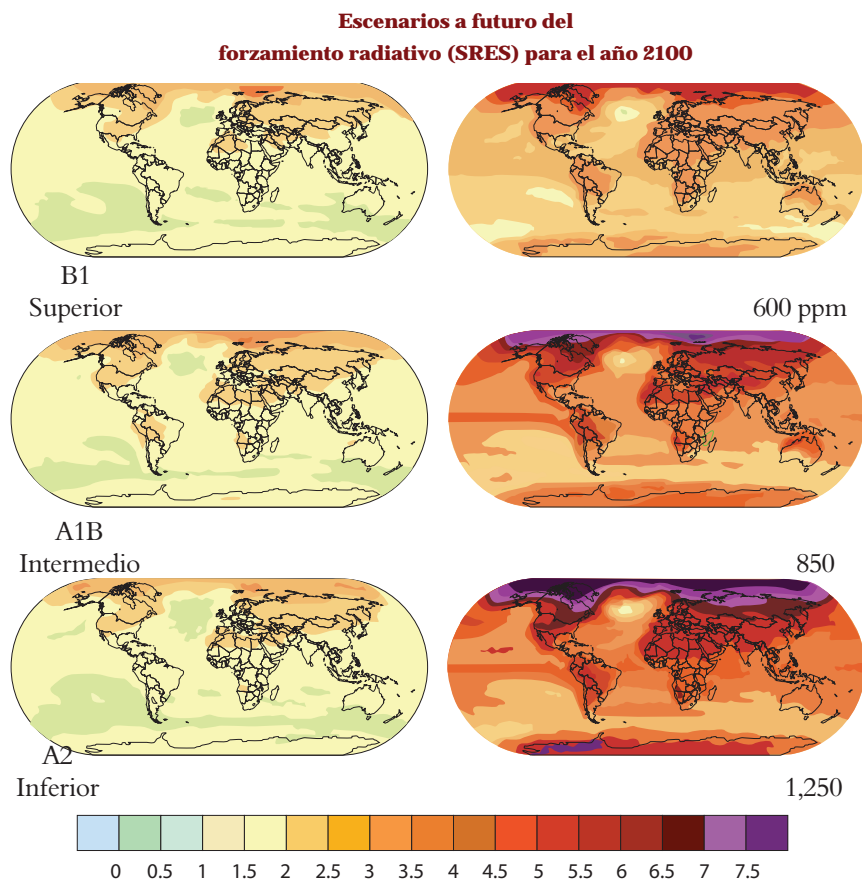


Figura 17. Cambios de las temperaturas superficiales estimadas relativas al periodo 1980-1990, para tres diferentes escenarios B1, A1B y A2. Las predicciones son para temperaturas promedio (por década) de 2020 a 2029 y 2090 a 2099. La resolución de los mapas es de 20-25,000 Km² por punto de malla.

Las tasas de aumento de la temperatura han subido para las décadas más recientes. Por ejemplo, la tasa es de 0.045 ± 0.012 °C para el siglo pasado, pero a partir de 1975 la tasa medida es casi cuatro veces mayor. Esto es, la temperatura aumenta ahora notablemente más rápido que a mediados del siglo pasado. Entonces, ¿qué debemos esperar para los próximos decenios? Lo más preocupante es que las primeras evaluaciones del cambio de la temperatura global muestran una tasa notablemente más alta que la prevista. Estos cambios son muy serios pues indican una inyección sustancial de GEI (aún no cuantificada) o la existencia de forzamientos físicos acoplados, cuya dinámica no-lineal hace extremadamente difícil predecir sus efectos. Ello implica que las predicciones del aumento de

la temperatura global para este siglo, y presentados por el IPCC hasta ahora, podrían resultar conservadores.

Otro punto igualmente relevante es nuestra “inversión en GEI” —muy redituable por cierto, pues ocurre con tasas cada vez más altas, sin que la inversión se devalúe en décadas— y sus consecuencias en los aumentos de temperatura global. Esto es, para propósitos de las predicciones en el clima de los próximos veinte años, el cambio de clima ya comprometido es el debido a la presencia de GEI actual.^g De acuerdo con los resultados de las simulaciones, este escenario es inevitable, y representa el escenario más bondadoso para un futuro cercano. A pesar de ello, si se considera un escenario en el que se mantiene fija la generación de GEI a las

tasas actuales, entonces puede esperarse que la concentración atmosférica de CO₂ en el año 2100 será del orden de 520 ppm.

Las simulaciones del clima para este siglo, sin embargo muestran una ligera dependencia con respecto a las condiciones ambientales que prevalecerán especialmente hacia el final de este periodo. Tales simulaciones consideran los escenarios B1, A1B, y A2 (denominados SRES) que, partiendo de las condiciones hoy presentes —i.e., CO₂ en una concentración de 381 ppm—, alcanzan 600, 850 y 1,250 ppm, respectivamente para finales del 2100.^h Entonces, una comparación entre el cambio de clima ya comprometido y el escenario B1 difícilmente mostrará grandes diferencias, especialmente para los próximos años. Aun para el año 2050, los diferentes modelos muestran poca sensibilidad a la selección del escenario SRES (alcanzando incrementos en la temperatura de 1.3 a 1.7 °C, respecto de 1980-1999; figura 17).



Blanca Luz Pulido, 2006. *Árbol*. Fotografía.

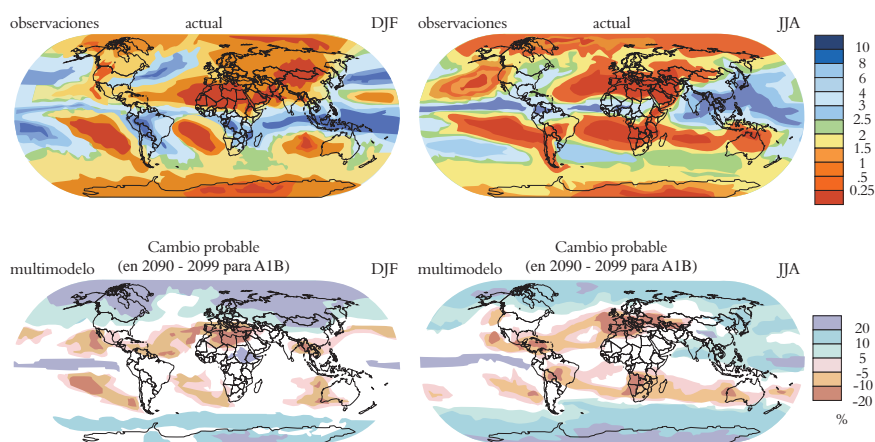


Figura 18. Los patrones espaciales de las precipitaciones observadas mm-día⁻¹ (arriba) y la variación porcentual con base en la precipitación calculada para el periodo 2090-2099 mediante varios modelos, relativa ésta respecto del periodo de 1980 a 1999 (abajo). Para las simulaciones de precipitación, el escenario de CO₂ en la atmósfera corresponde al B1A. La columna derecha corresponde a las precipitaciones desde diciembre a febrero (DJF) y la izquierda a las de junio a agosto (JJA). Las variaciones en la precipitación mostradas son aquellas en las que los distintos modelos concuerdan. Las regiones con puntos negros son aquellas en las que 90% de los modelos concuerdan en sus predicciones.¹⁻⁴

Si se hace un esfuerzo sustancial en la captura de GEI, entonces el escenario B1 será nuestro mejor resultado posible. Aún así, debemos esperar para fines del presente siglo que el calentamiento global alcance entre 2.4 y 6.4 °C (escenario de poco abatimiento de GEI). En un escenario bajo en emisiones de GEI, es posible predecir —con un alto nivel de confianza— un calentamiento global para el 2100 entre 1.1-2.9 °C. Este escenario es poco probable sin la implementación de políticas públicas para el abatimiento del consumo de combustibles fósiles y concertadas entre todos los países, particularmente con la participación de Estados Unidos y China.

En general, el calentamiento será más acentuado en el hemisferio norte, con probabilidades de 90% de incremento en la frecuencia de ondas de calor. Es con este escenario que se debe trabajar ahora para mitigar el efecto del cambio climático.

El balance hidrológico global

Para las sociedades, los cambios en el recurso hidráulico son posiblemente aquellos que conllevan los peores riegos y las consecuencias más indeseables, de ahí la importancia de conocer el impac-

to del cambio de clima que tiene sobre éste. En particular, la figura 18 muestra la excelente concordancia que existe entre los diversos modelos utilizados para las predicciones de la precipitación de las regiones en las altas latitudes. Tales pronósticos predicen —con un alto grado de confianza— aumentos en las precipitaciones, mientras que precipitaciones más raquíticas tienen una alta probabilidad para las regiones subtropicales (serias reducciones del orden de

20%, para el escenario A1B, en el año 2100). Las precipitaciones arriba del paralelo 50° aumentan como resultado de una mayor cantidad de vapor de agua en la atmósfera, que es transferido de las latitudes menores.

En las latitudes entre 20-40° se observa una reducción de las precipitaciones; la tendencia a la aridez será especialmente pronunciada para las latitudes altas de la región tropical. Asimismo, las prediccio-

nes disponibles muestran una tendencia para lluvias copiosas por día para un número grande de regiones, aun para algunas localizadas en las zonas en las que se ha calculado un decremento neto de la precipitación. Para estos últimos casos, si bien el balance es negativo, ello se debe a una reducción en el número de días con lluvia, y no a lluvias menos intensas.

Aun así, existe actualmente un número significativo de fuentes de incertidumbre que limitan la capacidad de predicción del cambio hidrológico regional. Especialmente para las zonas de transición entre las regiones subpolares y subtropicales, si bien las predicciones son robustas, éstas se caracterizan por una incertidumbre más grande de lo deseable en la determinación de la localización de las fronteras entre las regiones con aumentos o con decrementos de la precipitación. Igualmente existe una incertidumbre significativa en la determinación de las temperaturas oceánicas, pues se requieren mediciones sobre grandes extensiones y cada una con un perfil para diversas profundidades.

Cómo afecta el cambio climático a América Latina

El calentamiento observado para América del Norte, a partir de los años setenta, sobrepasa ya 1 °C. Asimismo, no son menos relevantes los cambios en

Si continúa la emisión de GEI a finales del siglo XXI el calentamiento global habrá aumentado en varios grados

la nubosidad por fenómenos como El Niño, que se presenta recurrentemente en el Pacífico ecuatorial. El efecto de eventos como El Niño y su contraparte La Niña (ENSO) son especialmente notables para América. El cambio en el régimen de lluvias en toda América del Norte y la costa oriental de América del Sur resulta ser significativo y la información de las predicciones implica aun cambios más severos.

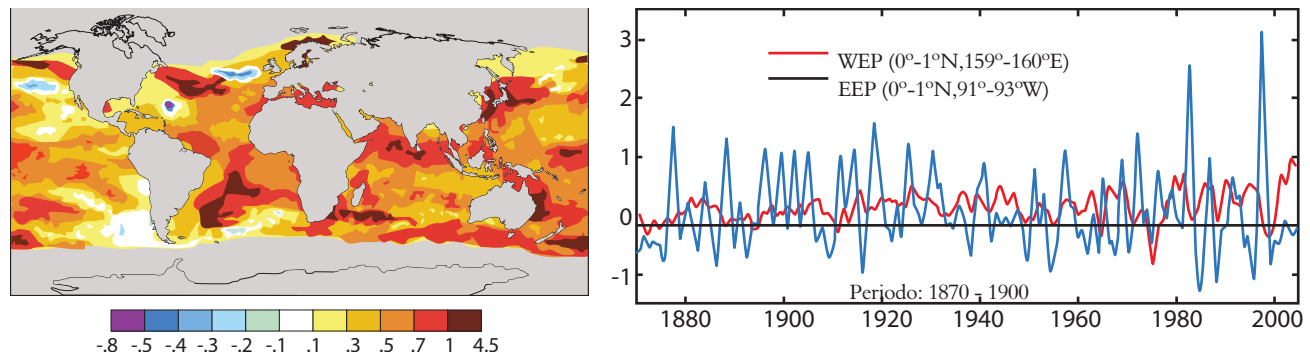


Figura 19. Los patrones espaciales para las temperaturas superficiales oceánicas (izquierda) y las variaciones en las temperaturas promedio (derecha) para la región oriental del Pacífico ecuatorial (línea azul; EEP) y la occidental del Pacífico ecuatorial (línea roja, WEP). Las oscilaciones se han incrementado recientemente especialmente en el Pacífico ecuatorial oriental (1983 y 1998). Los efectos sobre las surgencias en el océano, el transporte de humedad a baja altitud, la velocidad de las corrientes de aire a baja altura y el transporte a gran altitud son algunos de los cambios que ocurren y ocurrirán en el Pacífico.²⁷

Los diferentes modelos indican que las temperaturas oceánicas superficiales, SST, de la región del Pacífico ecuatorial oriental serán más elevadas que para la

región occidental, con un correspondiente corrimiento de las precipitaciones hacia el este (figura 19, izquierda). Ello conlleva efectos directos para la costa oriental de Colombia, Ecuador, Perú y Chile. Asimismo, el fenómeno de El Niño mantiene una alta variabilidad. Más aún, la variabilidad de los pronósticos entre los diversos modelos hace, por ahora, imposible confirmar una tendencia sobre su comportamiento. La figura 19 (derecha) muestra las oscilaciones de temperatura oceánicas observadas que dan origen al fenómeno de El Niño, con el diferencial térmico a lo ancho del Pacífico recrudeciéndose para los años de 1983 y 1998, cuyos valores máximos no se observaron durante ningún otro periodo del siglo XX.

Es fundamental la formación de recursos humanos con clara conciencia del deber de preservar nuestro planeta

Las consecuencias en las precipitaciones pluviales serán igualmente severas para el norte de México, con reducciones del orden de 10-20% en gran parte del país. Aunque se espera un incremento del nivel del mar —efec-

to, ya predecible y observado, aunque todavía no cuantificado—, resulta aún difícil afirmarlo en forma categórica, como igualmente resulta difícil inferir sus consecuencias. Sin embargo, tales consecuencias podrían ser muy severas para grandes extensiones de la península de Yucatán y otras zonas costeras en el Golfo de México, la desembocadura del río Colorado, etc., especialmente porque el aumento del nivel del mar exacerbaba el efecto de surgencia que ocurre en la región central de un huracán.

Por qué es importante iniciar la mitigación ahora

Si las concentraciones de GEI y aerosoles se mantuviesen a los niveles actuales después de un periodo de cambio, el clima global continuaría evolucionando con base en las concentraciones previas, ello debido a la inercia térmica de océanos y masas de hielo cuyas escalas de tiempo son muy grandes para alcanzar el equilibrio. Esta respuesta tiene su origen en los tiempos característicos de todo sistema requeridos para alcanzar una condición estable después de haber sido perturbado su estado base. Por ejemplo,

la troposfera alcanza un estado —nuevo— estable después de varias semanas de que ocurre una perturbación. La capa superficial del océano, donde gran parte de la microbiota existe, responde en escalas de tiempo de varios años y hasta décadas, y las capas profundas de los océanos —así como las capas de hielo polares— en escalas de siglos y hasta miles de años.

Cuando el forzamiento radiativo se modifica, e.g., un volcán muy energético, entonces las propiedades internas de la atmósfera se ajustan rápidamente. Sin embargo, cuando existe un acopla-



Blanca Luz Pulido, 2006. *Garzón blanco*. Fotografía.

miento de las interacciones entre la troposfera y las diversas capas de agua de los océanos, entonces el resultado neto es que los tiempos característicos más cortos se alargan sustancialmente; esto es, para aquellas variables de la troposfera, que involucran los océanos, ajustarse a nuevos cambios les toma un enorme tiempo.

El “cambio de clima ya comprometido” involucra también otros aspectos del cambio climático, por ejemplo, el nivel de los mares que esencialmente se debe hasta ahora al coeficiente volumétrico de expansión térmica de las masas oceánicas. Los océanos han absorbido una enorme cantidad de calor y ese aumento de la temperatura se traduce en un mayor volumen, que eleva el nivel de los mares. Así, el nivel de los mares continuará subiendo por milenios, porque los mares continuarán absorbiendo una mayor cantidad de calor debido a los GEI ya generados —existentes en la atmósfera— y porque éste es el principal reservorio térmico del globo terráqueo.

¿Y qué más podemos esperar? A nivel global se tiene un bosquejo detallado y preciso, aunque nada alentador. Pero a nivel de escalas espaciales menores, la figura 20 muestra una condición desafortunada de los países en vías de desarrollo, de los cuales México no es la excepción. Para las regiones de América del Norte y Europa el conocimiento del cambio climático, tanto en las variables físicas como las características biológicas de escala fina, está adecuadamente documentado para “certificar” y cuantificar el cambio climático. El nivel de confianza en los datos se basa en la enorme cantidad de muestras y experimentos. Sin embargo, cómo habremos de determinar los efectos climáticos regionales y locales para las diversas zonas en América Latina si sólo se cuenta con cinco bases de datos calificadas para el monitoreo y evaluación del cambio climático. Entonces, el cambio climático en las próximas décadas en México y gran parte de los países no desarrollados en el mundo será simplemente “este” clima, pues no existe documentación suficien-

te para determinar el viejo clima o los cambios que éste tiene y seguramente tendrá. Esta realidad implicará enormes costos económicos para las economías débiles, lo que podría desembocar en economías paupérrimas.

El Nobel Mario Molina recientemente ha dicho “más frío, más calor, más lluvias, más inundaciones, más sequías, huracanes más intensos, derretimiento de glaciares; todo eso que está pasando, sobre todo en las últimas décadas, con

mucha claridad se lo podemos atribuir a esas emisiones”. Y aun cuando no aumenten significativamente los GEI en las próximas décadas, debemos esperar más de lo mismo: más sequías, más ciclones, más inundaciones y un deterioro generalizado de los ecosistemas; todo ello con mayor severidad y frecuencia; de ello no queda duda. ¿Y estamos preparados?

El uso de energía presenta actualmente enormes retos, especialmente cuando

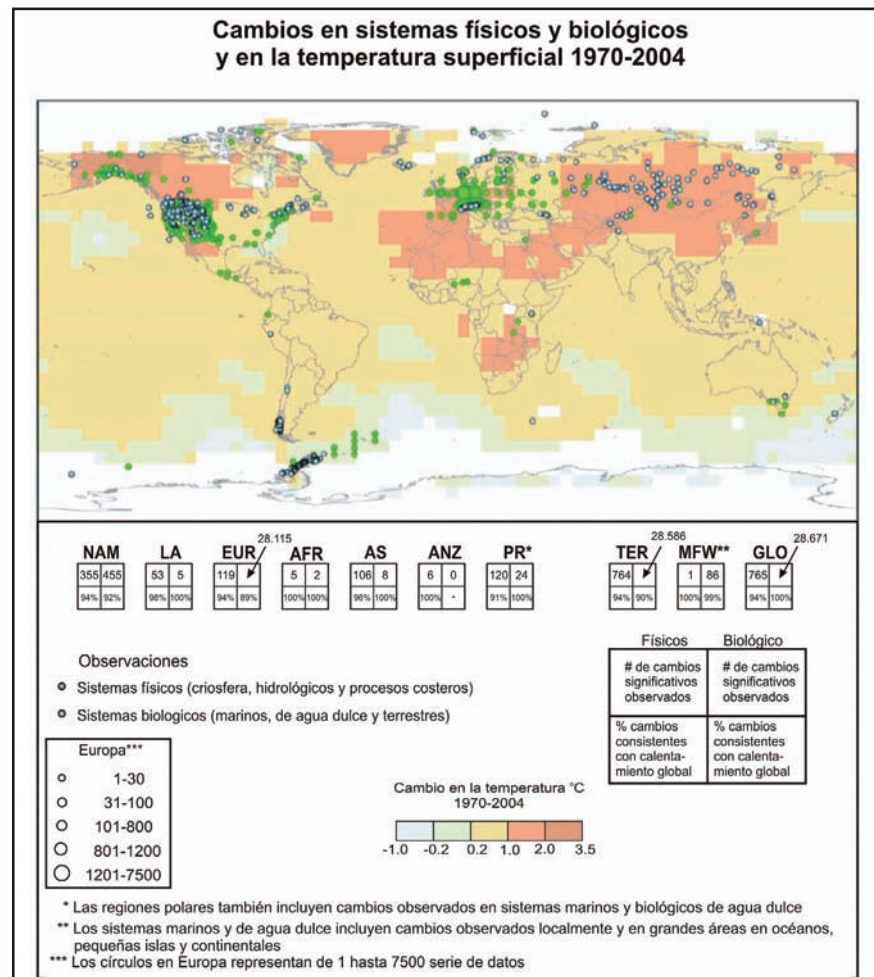


Figura 20. Regiones donde se han detectado cambios significativos de los sistemas físicos (nieve, hielo o suelos congelados, hidrología, procesos costeros) y los sistemas biológicos (en los continentes, mares y cuerpos de agua dulce) como consecuencia de los GEI. Los colores muestran también los cambios de temperatura superficial observados a partir de 1970 y hasta 2004. La información de los sistemas físicos y biológicos se obtuvo de un subconjunto de 29,000 bases de datos (de un total de 88,000) cuya duración es superior a veinte años y contiene datos posteriores a 1990. Las matrices de 2x2 muestran el número de bases de datos utilizadas para las diversas regiones del globo: América del Norte, NAM; América Latina, LA; Europa EU; África, AFR; Asia, AS; Australia Nueva Zelanda, ANZ; polares, PR; sistemas terrestres, TER; sistemas marinos y de agua dulce, MFW; y global, GLO. No se cuenta con suficiente información para las regiones en blanco. Nótese la ausencia significativa de información para América Latina, África y otras regiones en vías de desarrollo.

se restringe a un desarrollo sustentable, pues reducir la pobreza y promover el desarrollo económico y social requieren de mayores consumos de energía. Desafortunadamente, hasta ahora una mayor disponibilidad de energía implicó una enorme presión sobre el clima y los ecosistemas. A partir de ahora, los países del mundo deben enfatizar un desarrollo tecnológico que sea rentable y compatible con las metas de un desarrollo social y económico sustentable.

Es fundamental la formación de recursos humanos con clara conciencia del deber de preservar el planeta

Y para ello sólo hay un camino: la formación de recursos humanos, a todos los niveles, con una clara conciencia del giro que debemos dar si deseamos preservar la Tierra como la hemos conocido, pues sin éstos no estaremos en posibilidad de conocer los retos a resolver, como tampoco de cómo aplicar aquellos desarrollos tecnológicos más bondadosos.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la señora Sara Jiménez, así como del ingeniero Gerardo Guevara Flores para la obtención de las fichas bibliográficas y la preparación de las figuras, respectivamente. Asimismo EG agradece el apoyo otorgado por PAPIIT-DGAPA-UNAM, Proyecto IN122505. Con base en QUAD, las contribuciones al trabajo son RG^{50,10,50,30} y EG^{50,90,50,70}; véase la referencia 29.

Bibliografía

¹ Informe Ejecutivo IPCC en: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>
² http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_SPM.pdf
³ S. Solomon *et al.*, "Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Summary", *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Wor-*

king Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York, 2007.

⁴ "Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability", *Summary for Policymakers*, Working Group II, IPCC 4th. Assessment Report, 2007.

⁵ http://news.com.com/Harsh+warning+yet+issued+on+climate/2100-11395_3-6173933.html

⁶ J. Kanter y A.C. Revkin, "Scientists Detail Climate Changes, Poles to Tropics", *Times*, Nueva York, 7 de abril de 2007.

⁷ D. Reay, "Spring time for links", *Nature*, **446** (2007) 727-728.

http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=184&theme=3

⁸ <http://www.vitalgraphics.net/lac.cfm?pageID=2>

⁹ R.A. Houghton, "Emissions (and Sinks) of Carbon from Land-Use Change (Estimates of national sources and sinks of carbon resulting from changes in land use,

1950 to 2000)", Woods Hole Res. Center, 2003.

¹⁰ http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=485&theme=3

¹¹ J.S. Olson, J.A. Watts y L.J. Allison, *Carbon in Live Vegetation of Major World Ecosystems*, Oak Ridge, TN: Oak Ridge National Laboratory, 1983.

¹² http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=225&theme=3

¹³ <http://earthtrends.wri.org/index.php>

¹⁴ G. Walker, "A world melting from the top down", *Science*, **446** (2007) 718-721.

¹⁵ <http://www.washingtonpost.com/wpdyn/content/article/2007/02/21/AR2007022102095.html?referrer=email>. D. Struck, "In far North, Peril and Promise", *Washington Post*, 2007.

¹⁶ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), *Digital Soil Map of the World (DSMW) and Derived Soil Properties*, 1995.

¹⁷ T.R. Loveland *et al.*, "GLCCD Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR Data", *Inter. J Remote Sensing* **21** (6-7), (1998), 1303-1330.

¹⁸ http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=207&theme=3

¹⁹ <http://www.marinebiology.org/coral-bleaching.htm>, J. Buchheim, Coral Reef Bleaching, 1998.

²⁰ R.T. Barber, "Picoplankton do some heavy lifting", *Science*, **315**



Blanca Luz Pulido, 2006. Iguana. Fotografía.

(2007), 777-778.

²¹J. Ruttimann, "Sick Seas", *Nature*, **442** (2007), 978-980.

²²L. Cao, K Caldeira y A. K. Jain, *Geo. Res. Lett.*, **34**; L05607, doi:10.1029/2006GL028605 (2007).

²³M. Medina *et al.*, "Naked Corals: Skeleton loss in Scleractinia", *PNAS* **103**, 9096 (2006).

²⁴M. Fine y D. Tchernov, *Science*, **315** (2007), 1811.

²⁵Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 years, National Research Council (2006). <http://www.nap.edu/catalog/11676.html>

²⁶J.A. Hansen *et al.*, "Global Temperature Change", *PNAS*, **103** (39), (2006), 14288-14293.

²⁷http://www.un.org/esa/sustdev/publications/energy_indicators/index.htm Energy Indicators for Sustainable Development: Country Studies on Brazil, Cuba, Lithuania, México, Russian Federation, Slovakia and Thailand, International Atomic Commission and United Nations Dept. of Economic and Social Affairs (2007).

²⁹J.V. Verhagen, K.J. Wallace, S.C. Collins y T.R. Scott, "QUAD system offers fair shares to all authors", *Nature*, **426** (2003), 602.

*geffroy@servidor.unam.mx

Notas

^a La mayor opacidad de la atmósfera actual es resultado de la existencia de GEI dado que restringen la capacidad de la tierra de re-radiar al espacio exterior el calor generado en la superficie terrestre (con una temperatura de cuerpo negro de 0-30 °C y donde la energía emitida corresponde principalmente a la región del espectro en el infrarrojo, induciendo así una elevación de la temperatura de la atmósfera equivalente al calentamiento que ocurre en un invernadero. Los principales GEI son el CO₂, el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), así como el exafluoruro de azufre (SF₆).

^b La definición de CO₂-eq es la cantidad de cualquier gas con efecto invernadero



Blanca Luz Pulido, 2006. *Mieleritos grises*. Fotografía.

ro cuyos efectos sean comparables en la intensidad del efecto —forzamiento— radiativo así como en la duración —su permanencia en la atmósfera— con el CO₂.

^c El blanqueo de arrecifes ocurre cuando las colonias de pólipos expulsan a las microalgas (*Zooxanthellae*) con las que mantienen una vida simbiótica. El resultado se observa como colonias coralinas de colores más claros. La expulsión de las microalgas reduce la disponibilidad de nutrientes para los pólipos, su capacidad de generación de aragonita y su reproducción. La expulsión podría deberse a que las altas temperaturas inhiben los procesos fotosintéticos de las microalgas, de ahí que no aporten a la vida simbiótica. El blanqueo podría entonces ser un mecanismo para establecer un nuevo lazo simbiótico con otro tipo de alga que tenga mayor resistencia a las altas temperaturas.

^d Debe recordarse que este es un cambio verdaderamente significativo, pues las escalas para determinación de alcalinidad-acidez tienen una base logarítmica. En épocas pasadas, la absorción de CO₂ por los océanos se contrarrestaba cuando las corrientes marinas exponían las aguas superficiales más ácidas a sedimentos carbonatados capaces de reducir la acidez de los mares. Las tasas actuales de acidificación de los océanos son cien veces superiores a aquellas medidas (mediante uso de isótopos en sedimentos antiguos) en los últimos cientos de milenios. Cabe recordar también la inmensidad de los océanos: ≈10¹⁸ toneladas de agua.

^e Para cada gas, la intensidad del efecto invernadero es diferente (pues son moléculas diferentes) y el tiempo de residencia (o de vida) de éstos en la atmósfera, que también es diferente.

^f El equivalente radiativo de la presencia de GEI antropogénicos se ha calculado en 0.6-2.4 W/m² durante el periodo postindustrial, calentamiento que supera con creces el cambio del albedo por la presencia de una mayor cantidad de aerosoles antropogénicos. Debido al aumento de CO₂ el forzamiento radiativo es de +1.66 ± 0.17 W m⁻². La quema de combustibles fósiles equivale a una potencia instalada de 16-20 TW. Los datos que se han usado para evaluar los cambios en la temperatura son parte del Reporte del National Research Council.²⁶

^g El "cambio de clima ya comprometido" se refiere a las condiciones atmosféricas consecuencia inmediata de la presencia de GEI acumulados hasta el día de hoy y que serán las dominantes para las próximas dos décadas —superiores a 381 ppm de GEI. El IPCC estableció este escenario¹⁻⁴ como el escenario base para la modelación del sistema atmósfera-océano, y se denomina en sus documentos el *committed climate change*.

^h Ninguno de los SRES —escenarios a futuro— considera la aplicación de iniciativas de mitigación de las emisiones. Una cuarta parte del calentamiento será consecuencia directa del forzamiento radiativo debido al cambio climático ya comprometido y suponiendo que los demás agentes radiativos permanezcan estacionarios a las tasas actuales.



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>

En busca de la región más transparente: otro reto para las zeolitas

Ariel Guzmán Vargas* y María de Jesús Martínez Ortiz,
Departamento de Ingeniería Química, ESIQIE – IPN.

Introducción

La creciente demanda de catalizadores utilizados para el mejoramiento y protección ambiental refleja la importancia de su presencia en el desarrollo de las sociedades modernas. Se estima que en 2001 se gastaron aproximadamente cuatro mil millones de dólares en la fabricación de materiales catalíticos, especialmente de aquellos que se utilizan en el control de las emisiones gaseosas, en el tratamiento del agua contaminada y en la remediación de los diversos suelos.

Los compromisos adquiridos por los gobiernos en los diferentes encuentros auspiciados por la ONU¹ han conducido a que en los últimos años las regulaciones o normas ambientales sean cada vez más restrictivas en cuanto a los límites máximos permisibles de diferentes compuestos nocivos para el ser hu-

mano y para los diversos ecosistemas e incluso se consideran los que son potencialmente agresivos para las capas protectoras de la tierra (estratosfera, ionosfera).² Entre otros compuestos se pueden citar los orgánicos volátiles (COV), los óxidos de nitrógeno (NO_x y N_2O), los clorofluorocarbonos (CFC) y el dióxido de carbono (CO_2).³

En particular, las emisiones de NO_x (NO , N_2O) producidas sobre todo por procesos de combustión en los que reaccionan el nitrógeno y el oxígeno a alta temperatura, provienen de fuentes fijas como las centrales eléctricas, los incineradores, las cementeras y las fábricas de ácido nítrico, pero también se producen por fuentes móviles como los automóviles con motores a gasolina y diesel. Los óxidos de nitrógeno están involucrados en la formación de la lluvia ácida, son precur-



Fanny Rabel, 1987. *Rebelión de los peatones*, técnica mixta sobre papel (detalle).



Fanny Rabel, 1978. *De la constructivitis incommunicativa*, acrílico sobre papel (detalle).

sores del ozono troposférico, de partículas finas y de nubes fotoquímicas. Estos fenómenos repercuten directamente en detrimento de la vida terrestre (enfermedades respiratorias, irritación de ojos, empobrecimiento de bosques y degradación de ecosistemas acuáticos, además de deterioro de edificios y monumentos).⁴

Así, desde la perspectiva de una filosofía de protección ambiental, la vía catalítica parece ser una buena opción para controlar las emisiones que resultan peligrosas para los seres vivos y su entorno. Específicamente, para la reducción de emisiones de óxidos de nitrógeno se han propuesto diversos procesos de control que utilizan materiales catalíticos. Entre otras tecnologías podemos citar: la reducción catalítica selectiva (SCR por sus siglas en inglés), el catalizador de tres vías (TWC), el proceso NOx traps y el sistema a base de plasma. El objetivo de todas ellas es la transformación de los NOx en nitrógeno como producto preferente. La reacción principal ocurre entre los NOx y un agente reductor, que puede ser amoníaco, algún hidrocarburo, monóxido de carbono o hidrógeno. La reacción se lleva a cabo en presencia de oxígeno. En particular los dos primeros métodos se han aplicado en el ámbito industrial. Así, una amplia gama de materiales, que van desde los metales preciosos soportados hasta los óxidos/óxidos mixtos/perovskitas pasan-

do por los materiales a base de zeolitas modificadas se han empleado como catalizadores con este propósito. En particular las zeolitas son sistemas catalíticos estudiados por varios grupos de investigación en los años recientes, debido a su alto desempeño en las reacciones de limpieza de emisiones gaseosas tóxicas y dañinas.

ducción catalítica selectiva con amoníaco (SCR-NH₃) como agente reductor, con catalizadores del tipo V₂O₅-WO₃/TiO₂, V₂O₅-MoO/TiO₂.⁵ Estos sistemas catalíticos han demostrado alta actividad y selectividad en N₂, así como resistencia al SO₂ y al vapor de agua.

Los catalizadores a base de metales soportados (Pt, Pd, Ru) son muy activos,

La vía catalítica es una buena opción para controlar las emisiones nocivas

Las zeolitas son materiales con propiedades ácidas de la familia de los aluminosilicatos de fórmula general: Mⁿ⁺(AlO₂)_x(SiO₂)_y·mH₂O (M = catión intercambiable de valencia n), de estructura microporosa conformada por una red de canales. La cantidad de iones Al³⁺ en la estructura induce un exceso de cargas negativas que son compensadas por cationes intercambiables.

Empleo de zeolitas modificadas en tecnologías de vanguardia para la eliminación de óxidos de nitrógeno (NOx)

Reducción catalítica selectiva con amoníaco (SCR)

En la actualidad, la tecnología para el control de los óxidos de nitrógeno más usada en el ámbito industrial es la re-

ducción catalítica selectiva con amoníaco (SCR-NH₃) como agente reductor, con catalizadores del tipo V₂O₅-WO₃/TiO₂, V₂O₅-MoO/TiO₂.⁵ Estos sistemas catalíticos han demostrado alta actividad y selectividad en N₂, así como resistencia al SO₂ y al vapor de agua.

incluso a baja temperatura; sin embargo, el inconveniente que presentan es la oxidación directa del NH₃. Por lo tanto, en los últimos años las zeolitas modificadas han llamado la atención de la comunidad científica, en particular las zeolitas intercambiadas con diferentes metales, especialmente con metales de transición. Su rápido desarrollo se debe a que tienen una amplia ventana de temperatura de operación (figura 1), una alta actividad y selectividad por el nitrógeno y una gran resistencia al dióxido de azufre. Este sistema de remoción está enfocado principalmente al control de emisiones de fuentes fijas (cementeras, centrales eléctricas, vidrieras, incineradores) y fuentes móviles para autos con motor a diesel. Así, como ejemplo de los sistemas catalíticos más estudiados en la re-

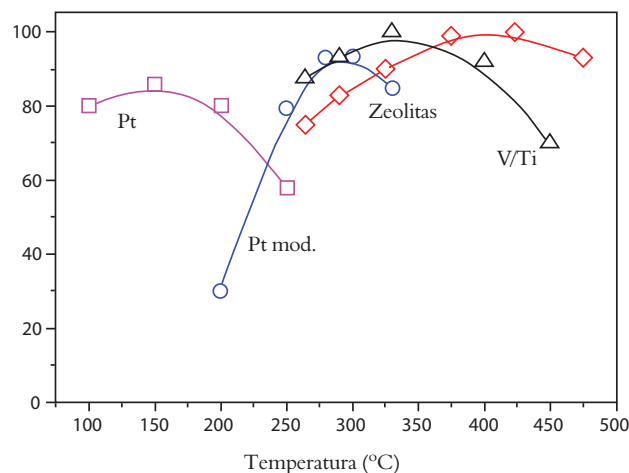


Figura 1. Perfiles de conversión de NO en N₂ empleando diferentes materiales catalíticos. Se observa que las zeolitas tienen un alto porcentaje de conversión, lo que indica que son muy eficientes como catalizadores.

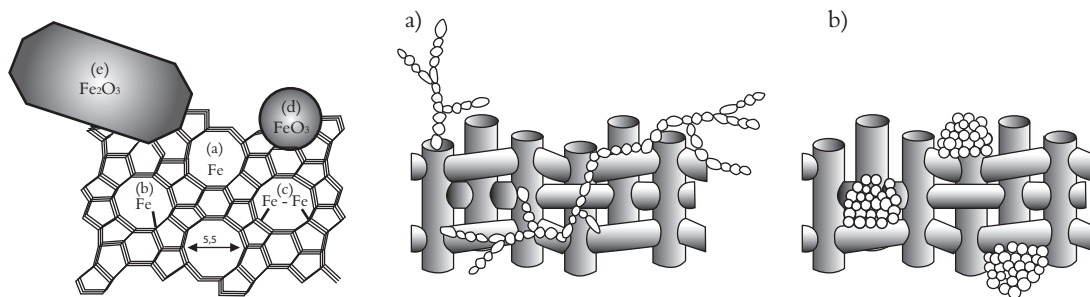


Figura 2. Representación esquemática de la localización y morfología de las partículas y especies Fe sobre una zeolita ZSM₅. Catalizador preparado por a) sublimación de FeCl₃, b) impregnación.^{12,13}

ducción catalítica de NO_x (SCR), empleando diferentes reductores, podemos citar los siguientes catalizadores a base de zeolitas: Cu-ZSM5, Fe-ZSM5, Cu-FAU(Y), Cu-MOR, Ba-FAU, Fe-BEA, Fe-FER, Fe-MOR.⁶⁻⁸

Las zeolitas son buenos catalizadores, estables bajo condiciones agresivas de reacción, por ejemplo en presencia de agua

La aceptación de estos materiales como buenos catalizadores que pueden emplearse en la industria se basa principalmente en su estabilidad bajo condiciones agresivas de reacción, por ejemplo en presencia de agua y dióxido de azufre. Otro aspecto en el cual se han profundizado los estudios es en el análisis de la formación de especies metálicas activas, lo cual depende del método de incorporación del metal que además determinará la forma, el tamaño y la localización del propio metal en la estructura de la zeolita. Los métodos de preparación de catalizadores más empleados son intercambio iónico e impregnación en medio acuoso, sublimación e intercambio en estado sólido y la incorporación en fase orgánica. Así, en el caso particular de zeolitas modificadas con hierro (Fe-ZSM5, Fe-BEA, Fe-MOR), se han propuesto diversas especies activas, por ejemplo, especies binucleares del tipo [HO-Fe-O-Fe-OH]²⁺, [Fe-O]⁺, y nanoagregados Fe₄O₄ y FeOx (figura 2) entre otras.⁹⁻¹¹

Por otra parte, el manejo del amoníaco como reductor implica otros problemas,

inherentes a la naturaleza química del propio amoníaco, como son su toxicidad y su alto poder corrosivo. Para evitarlos, una alternativa es la generación *in situ* de amoníaco a partir de la urea. En la figura 3 se muestra un esquema

del sistema de eliminación de óxidos de nitrógeno donde se observa la producción de amoníaco a partir de urea. Este sistema se propuso para utilizarse en el control de emisiones de fuentes fijas y móviles.

SCR de NO con hidrocarburos (SCR-HC)

Otra alternativa para el uso del amoníaco es el empleo de agentes reductores que sean fácilmente transportables y que existan en las unidades industriales o en los vehículos emisores, como por ejemplo los hidrocarburos. Los primeros trabajos reportados sobre la reducción de NO por un hidrocarburo fueron con zeolitas que contenían cobre.¹⁴ Estudios posteriores reportaron una gran variedad de metales de intercambio que servían para los mismos propósitos, como Co, Ce, Pt, Pd y Fe sobre zeolitas. Dentro de estos sistemas podemos citar, por ejemplo, ZSM5 (MFI), ferrierita (FER), beta (BEA), mordenita (MOR) y faujasita (FAU). Entre los hidrocarburos que se han utilizado como agentes

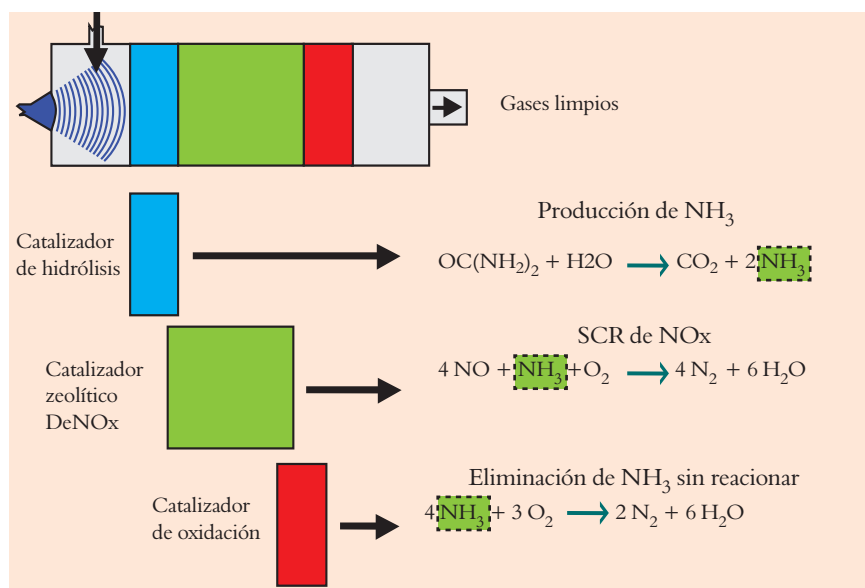


Figura 3. Esquema que ilustra el proceso de control de óxidos de nitrógeno a través de SCR con producción de NH₃ a partir de urea y que utilizan los catalizadores zeolíticos.

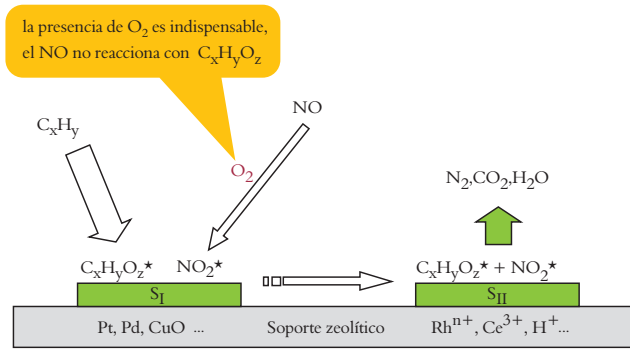


Figura 4. Esquema del mecanismo de reacción de SCR-HC con un catalizador a base de zeolita.

reductores se encuentran el metano, el propano, el isobutano, el n-octano, el n-decano y el etileno.¹⁵⁻¹⁷ Una propuesta de mecanismo de reacción se presenta en la figura 4.

zador del tipo monolito que puede ser cerámico o metálico. La constitución de este sistema consiste en un panel de abeja hecho a base principalmente de zeolita del tipo cordierita (figura 5). El diseño

Los catalizadores de tres vías son útiles en el tratamiento de las emisiones de vehículos automotores

Catalizador de tres vías (TWC)

Este sistema de control de emisiones, como su nombre indica, tiene tres funciones primordiales y se emplea para el tratamiento de las emisiones de los automóviles con motores a gasolina: *a)* reducción de NO_x en nitrógeno, *b)* oxidación de CO en CO_2 y *c)* combustión total de hidrocarburos no quemados.

El modelo más utilizado es un catali-

zador del tipo monolito que puede ser cerámico o metálico. La constitución de este sistema consiste en un panel de abeja hecho a base principalmente de zeolita del tipo cordierita (figura 5). El diseño

de los alvéolos puede ser de diferentes geometrías (hexagonal, triangular). Este sistema requiere de otros materiales para realizar funciones específicas. Para que funcione, el monolito debe contener una mezcla de alúmina (Al_2O_3) y otros óxidos que actúan como promotores (ZrO_2 , La_2O_3 , CeO_2). La alúmina le confiere al sistema la capacidad de aumentar el área específica que

favorece la dispersión de las partículas metálicas de platino (Pt), rodio (Rh) y paladio (Pd). Las partículas metálicas son las fases activas que tendrán las siguientes funciones:¹⁸ *a)* Pt y Pd: son las partículas que oxidan a los hidrocarburos (HC) y al monóxido de carbono (CO) para producir dióxido de carbono (CO_2) y agua; *b)* Rh: son partículas que contribuyen a la reducción de NO_x por CO y son la clave en la eliminación de los óxidos de nitrógeno, debido a la reacción selectiva entre los NO_x y el CO en presencia de oxígeno.

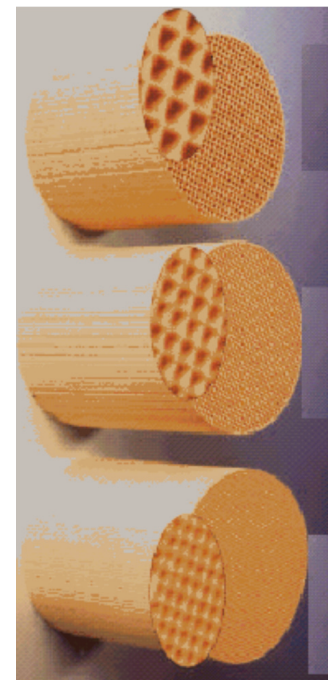


Figura 5. Monolito a base de cordierita empleado como catalizador de tres vías en vehículos.



Fanny Rabel, 1978. *De la incomunicación, serie constructivitis, técnica mixta sobre papel (detalle).*



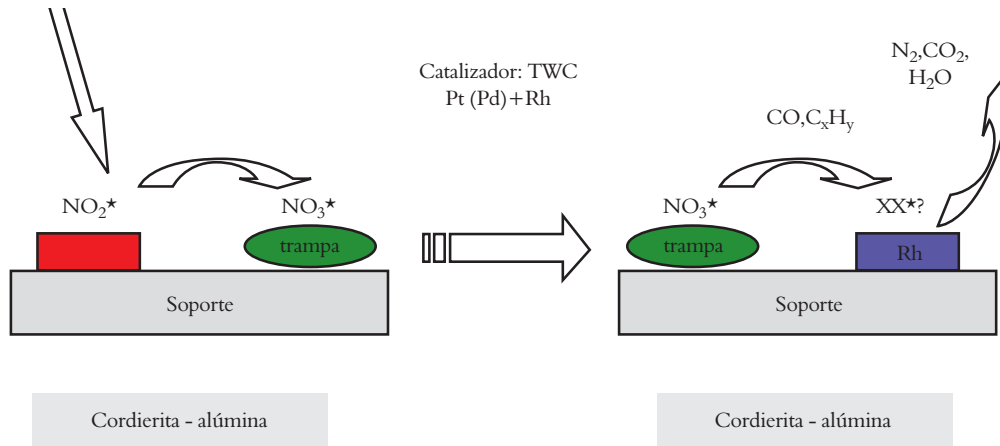
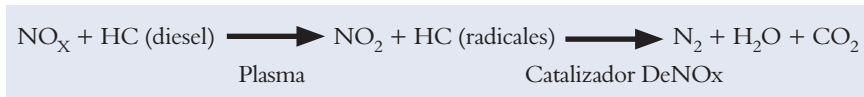


Figura 6. Esquema del mecanismo de reacción de la eliminación de NO en un catalizador de tres vías (TWC) de Pt(Pd)+Rh. XX puede ser una especie intermedia del tipo C_xH_yNO.



En la figura 6 se presenta, de manera esquemática, el mecanismo de reducción en un catalizador de tres vías.

Sistema asistido por plasma

Otro de los sistemas de control de emisiones que puede emplearse en camiones pesados con motores a diesel y fuentes de poder es el sistema asistido por plasma (figura 7). Este método consiste en ionizar parcialmente la corriente gaseosa para generar, mediante un campo eléctrico, iones, moléculas, radicales libres y electrones con diferentes estados de excitación (etapa de oxidación), que son muy reactivos y, por lo mismo, se transformarán más fácilmente en N₂, CO₂ y H₂O. La reacción se lleva a cabo con la ayuda de un catalizador hecho a base de zeolita modificada (etapa de reducción).

Entre los sistemas catalíticos más utilizados y que han demostrado una alta eficiencia en la remoción de los óxidos de nitrógeno podemos citar: Ba-Y, Na-Y, Ca-Y.¹⁹ Las ventajas que ofrece este método son tanto la remoción de NO_x como la eliminación de partículas finas (hollín).²⁰

El sistema asistido por plasma ioniza la corriente gaseosa para generar partículas con diferentes estados de excitación

Conclusiones

Para recuperar la región más transparente es necesario y urgente controlar las emisiones de contaminantes peligrosos como los óxidos de nitrógeno. En este

artículo se explican cuatro procesos o vías para hacerlo. Con base en lo anterior, uno podría pensar que ya no hay excusas para no tener un aire limpio y sin embargo seguimos sin lograrlo, continuamos con la búsqueda de la región más transparente. ¿Tal vez el título de la novela de Carlos Fuentes es un espejismo y quedará sólo en la memoria? ¿A qué se debe que no logremos recuperar la comarca cristalina que teníamos en los años cincuenta? ¿Será culpa sólo de las

zeolitas que no son tan eficientes como uno quisiera? ¿O es necesario conjuntar esfuerzos en el mejoramiento de los combustibles y en la optimización de los equipos de combustión?

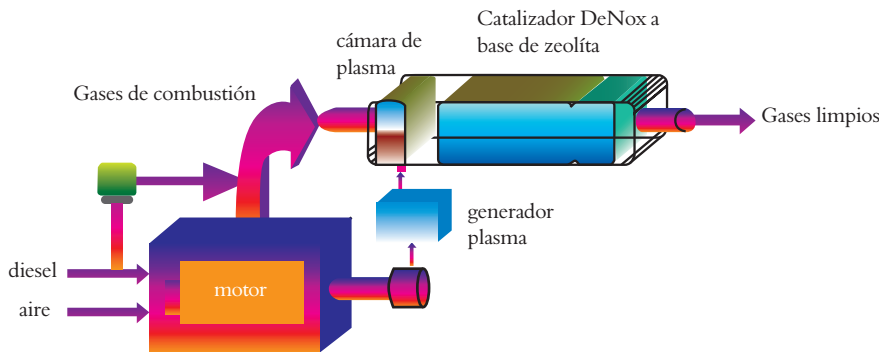


Figura 7. Esquema del sistema de control para la eliminación de NO_x asistido por plasma.

Bibliografía

- ¹ [://www.unfccc.int/resource/convkp.html](http://www.unfccc.int/resource/convkp.html).
² <http://www.unep.org/ozone>.
³ <http://www.epa.gov/globalwarming/publications/emissions>.
⁴ <http://www.citepa.org/emissions>.

¿La región más transparente es sólo nostalgia o espejismo?

- ⁵ G. Busca, L. Lietti, G. Ramis, F. Ber-
 ti, “chemical and mechanistic aspects
 of the selective catalytic reduction of
 NO_x by ammonia over oxide catalysts:
 a review” *Appl. Catal. B: Environmental*,
18 (1998) 1-36.
⁶ V.I. Pârvulescu, P. Grange, B. Del-
 mon, “Catalytic removal of NO”, *Catal.*
Today, **46** (1998) 233-316.
⁷ R.Q. Long, R.T. Yang, “Catalytic per-
 formance of Fe-ZSM-5 catalysts for
 selective catalytic reduction of nitric
 oxide by ammonia”, *J. Catal.*, **188** (1999)
 332-339.
⁸ R.Q. Long, R.T. Yang, “Selective cat-
 alytic reduction of NO with ammonia
 over Fe³⁺-exchanged mordenite (Fe-
 MOR): catalytic performance, charac-
 terization, and mechanistic study”, *J.*
Catal., **207** (2002) 274-285.
⁹ H.Y. Chen, W.M.H. Sachtler, “Pro-
 moted Fe/ZSM-5 catalysts prepared by
 sublimation: de-NO_x activity and dura-
 bility in H₂O-rich streams”, *Catal. Lett.*,
50 (1998) 125-130.
¹⁰ P. Marturano, L. Drozdová, G.D.
 Pirngruber, A. Kogelbauer, R. Prins,
 “The mechanism of formation of the
 Fe species in Fe/ZSM-5 prepared by
 CVD”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **3**
 (2001) 5585-5595.
¹¹ R.W. Joyner, M. Stockenhuber,
 “Unusual structure and stability of iron-
 oxygen nano-clusters in Fe-ZSM-5 cat-
 alysts”, *Catal. Lett.*, **45** (1997) 15-19.
¹² A. Guzmán-Vargas, E. Lima, G. De-
 lahay, B. Coq, V. Lara, “Complementa-
 ry Physicochemical Characterization by
 SAXS and 129Xe NMR Spectroscopy
 of Fe-ZSM-5: Influence of Morphology
 in the Selective Catalytic Reduction

of NO”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45** (2006)
 4163-4168.

¹³ J. Pérez-Ramirez, G. Mul, F. Kap-
 teijn, J.A. Moulijn, A.R. Overweg, A.
 Doménech, A. Ribera, I.W.C.E. Arends,
 “Physicochemical characterization of

194-195 (2000) 159-168.

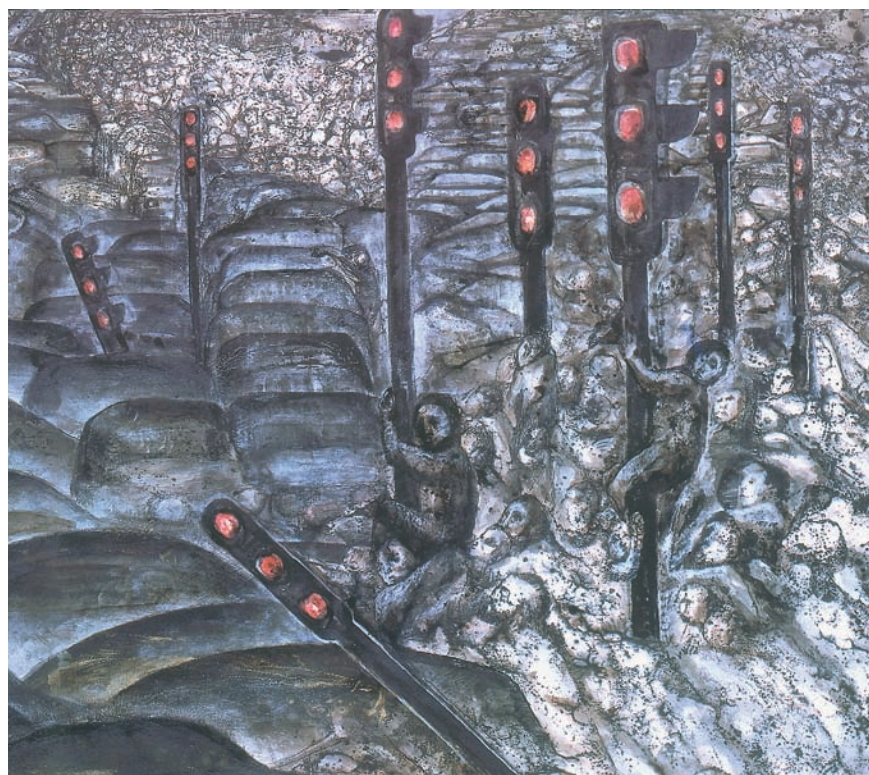
¹⁷ A. Guzmán-Vargas, G. Delahay, B.
 Coq, E. Lima, P. Bosch, J.C. Jumas,
 “Influence of the preparation method
 on the properties of Fe-ZSM-5 for the
 selective catalytic reduction of NO by
 n-decane”, *Catal. Today*, **107-108** (2005)
 94.

¹⁸ A. Fritz, V. Pitchon, “The current sta-
 te of research on automotive lean NO_x
 catalysis”, *Appl. Catal. B: Environmental*,
13 (1997) 1-25.

¹⁹ J. Szanyi, J.H. Kwak, C.H.F. Peden,
 “The Effect of Water on the Adsorption
 of NO₂ in Na- and Ba-Y, FAU Zeolites:
 A Combined FTIR and TPD Investi-
 gation”, *J. Phys. Chem. B*, **108** (2005)
 3746-3753.

²⁰ B.M. Penetrante, R.M. Brusasco,
 B.T. Merritt, W.J. Pitz, G.E. Vogtlin,
 M.C. Kung, H.H. Kung, C.Z. Wan,
 K.E. Voss, “Plasma-Assisted Catalytic
 Reduction of NO_x”, *Soc. Automotive
 Engineers, Fall Fuels and Lubricants
 Meeting* (1998)

*aguzmanv@ipn.mx



Fanny Rabel, 1978. *Los peatones van al cielo*, técnica mixta sobre papel (detalle).

La piedra múcará: bello material de construcción

A. Garrido-Alfonseca y T.J. Zamudio-Zamudio, Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, D. Tenorio,* Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, y M. Jiménez-Reyes,** Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Resumen

La piedra múcará es en realidad el esqueleto de corales marinos, que se utilizó en la construcción de muchos edificios coloniales de la costa mexicana, entre ellos la fortaleza de San Juan de Ulúa y el Portal de Miranda, de la ciudad de Veracruz. Aquí se describen los estudios realizados sobre la caracterización química y física de unas piezas de ese material y del mortero con el que se fija.

Los materiales de construcción en Veracruz hace algunos siglos

Los materiales de construcción utilizados entre los siglos XVI y XVIII en el puerto de Veracruz y con seguridad en muchas otras ciudades de la región costera veracruzana eran básica-

mente la llamada piedra múcará, los ladrillos de barro y el mortero. Vamos a referirnos aquí al primero y al último de ellos.

La piedra múcará es el esqueleto de un coral marino, utilizado como material de construcción no sólo en México sino también en Cuba y en las islas Maldivas del océano Índico.¹ En estos tiempos, la conciencia ecológica ya no permite la extracción de los corales e incluso muchos países tienen estrictas legislaciones con respecto a la conservación y cuidado de los arrecifes.

El mortero es una mezcla de arena, cal y agua; en las regiones costeras era común obtener la cal viva quemando conchas marinas para luego apagarla con agua. Claro está que conseguir la arena de las playas y de los ríos no era un problema.



Manuel Marín, 2007. *Hermafrodita*, metal policromado y madera laqueada.



Figura 1. San Juan de Ulúa, Veracruz.



Figura 2. Muro de San Juan de Ulúa.

La fortaleza de San Juan de Ulúa y el Portal de Miranda

Un ejemplo de los edificios hechos con piedra múcara es la fortaleza de San Juan de Ulúa (figuras 1 y 2), que está ubicada a tres kilómetros del centro de la ciudad de Veracruz y unida a tierra firme por el rompeolas norte. Su construcción se inició en el siglo XVI en un islote corallino y consta de dos torres y varias plazas y baluartes. Ha sido silencioso testigo de innumerables hechos históricos, desde 1962 está resguardado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia y alberga un museo.

El Portal de Miranda es otro ejemplo de los edificios construidos, en el siglo XVIII, con piedra múcara, que está recubierta de revoque; se encuentra en la esquina de las calles Zaragoza y Molina del puerto de Veracruz (figura 3). El dueño original fue un español de apellido Miranda y el edificio cuenta con las

características arquitectónicas de comercio y vivienda; actualmente allí se halla la Fototeca de la ciudad.

Recientemente Zamudio–Zamudio y sus colaboradores (2003) estudiaron algunas muestras de coral provenientes de los edificios mencionados y del mortero original del Portal de Miranda. Dichas muestras fueron tomadas durante los trabajos de restauración.

Los arrecifes del Golfo de México

Un arrecife es una estructura construida por organismos marinos, conformada por tres componentes principales: una comunidad de corales de varias especies diferentes; algas calcáreas y otros organismos como crustáceos, gasterópodos, equinodermos y peces.

Anatómicamente, el coral tiene una capa superficial de tejido vivo, los pólipos, sobre un esqueleto duro. El pó-

lipo es un saco con una boca rodeada de tentáculos, que atrapan del agua las partículas en suspensión.

La relación entre los corales y las algas es simbiótica:² los productos de la fotosíntesis que ellas realizan son aprovechados por los pólipos para producir carbonato de calcio, sustancia fundamental para la estructura. Las algas, a su vez, utilizan algunos productos de desecho del pólipo como nutrientes y además están protegidas en el interior del arrecife.

El sistema de arrecifes de Veracruz, en el Golfo de México, consta de 17 entidades divididas en dos grupos: el del norte, constituido por seis cuasiplataformas, algunas emergentes como isla Lobos, y el del sur, con plataformas como Galeguilla, isla de Sacrificios e isla Verde. En este sistema de arrecifes^{2,3} existen numerosas especies de corales, entre ellas la *Diploria spp.*, a la que nos referiremos más adelante.

La identificación de un coral

Se realiza con la observación visual o mejor aún usando microscopios (figuras 4 y 5), cuyas imágenes permiten medir los detalles del esqueleto coralino. Las características de las muestras de coral provenientes de la fortaleza de San Juan de Ulúa y del Portal de Miranda⁴ corresponden a las de la especie denominada *Diploria strigosa*. Previamente se habían identificado¹ en los muros de San Juan de Ulúa varios corales, entre ellos *Diploria spp.*, incluyendo *strigosa* y



Figura 3. El Portal de Miranda, en Veracruz.

clivosa La abundancia numérica relativa de *Diploria spp.* en el sistema de arrecifes de Veracruz es de 12.3 %.⁵

El *Diploria strigosa* es un coral *Zooxanthellate*, de clase *Anthozoa ehrenberg*, orden *Scleractinia bourne* y familia *Faviidae* que se encuentra en los mares tropicales, de aguas tibias y claras como las del Golfo de México, y casi siempre en aguas poco profundas. Las colonias de este coral tienen la forma de esferas de varios metros de diámetro y su aspecto, que forma circunvoluciones en la superficie, hace que reciban el nombre de corales cerebro. El color varía del verde al café, pasando por varios tonos de amarillo, aunque también existen ejemplares de color gris azulado.

La difracción de rayos X

La interpretación de un espectro obtenido por difracción de rayos X reveló que el esqueleto coralino está compuesto por aragonita. Este mineral es un carbonato de calcio cristalino, cuyo nombre se refiere a la provincia de Aragón, España; puede ser incoloro, blanco, blanco amarillento, blanco rojizo o gris, y su diafinidad está clasificada como desde transparente hasta translúcida. La aragonita es también el principal componente de otros esqueletos coralinos.



Manuel Marín, 2001-2007. *Bosque*, metal policromado.



Figura 4. Fotografía del coral tomada con un microscopio estereoscópico, la escala es de 5 mm.

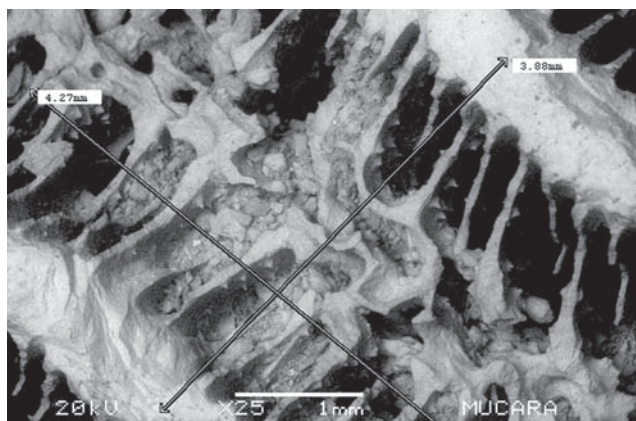


Figura 5. Fotografía del coral tomada con un microscopio electrónico de barrido, 25 aumentos.

El análisis termogravimétrico

Este análisis reveló que cuando los esqueletos coralinos de *Diploria strigosa* se calientan hasta 365 °C sólo pierden 1.5% de su peso, posiblemente humedad. Por calentamiento, entre 700 y 800 °C, el carbonato de calcio se descompone rápidamente porque pierde dióxido de carbono gaseoso y sólo queda 56% del peso inicial. Este remanente corresponde al óxido de calcio, que es resistente hasta 1000 °C o más. Esos datos corresponden fielmente a las proporciones de los componentes químicos y atestiguan la composición del material como carbonato de calcio.

Los análisis químicos

Mediante algunas técnicas de análisis como un espectro de energía de rayos X dispersos, la fluorescencia de rayos X, el análisis por activación neutrónica y la espectrometría de absorción atómica es posible realizar análisis multielementales. A la pregunta de por qué usar más

de un método de análisis, se debe a que se trata de métodos complementarios o que permiten establecer comparaciones de los datos obtenidos por más de un camino.

En los corales de San Juan de Ulúa y del Portal de Miranda se encontraron, con los métodos de análisis mencionados, además de los elementos principales (calcio, carbono y oxígeno) otros 24; algunos de ellos reportados en ocasiones como constituyentes de esqueletos coralinos. De sodio y estroncio se halló aproximadamente 0.5% de cada uno, escandio (0.1%) y hierro (0.03%) le siguen en importancia.

Con respecto al estroncio, éste se encuentra en la forma del mineral estroncianita, es decir, un carbonato de estroncio. Algunos elementos del grupo de las tierras raras (lantano, cerio, europio, iterbio y lutecio) así como uranio y torio fueron hallados en muy bajas concentraciones. El interés en estos últimos se debe a que participan en la biomine-

ralización de los organismos marinos; además, la radiactividad del uranio se usa para datar corales e incluso el cociente de concentraciones uranio/calcio se ha usado como termómetro natural del agua.

Dureza, densidad y porosidad

La aragonita natural tiene una dureza de entre 3.5 y 4 en la escala de Mohs; pero después de usarse durante mucho tiempo como material de construcción, la dureza disminuye hasta 2.5, como es el caso de las muestras provenientes del puerto de Veracruz. Esa medida es un indicio del deterioro de la piedra múcar y de la necesidad de un tratamiento de restauración.

Las medidas de densidad y porosidad son también interesantes. La densidad real (2.9 g/cm^3) es la del mineral aragonita y no se altera con el paso del tiempo. La densidad aparente (1.4 g/cm^3) es la de la piedra múcar, valor que indica que es

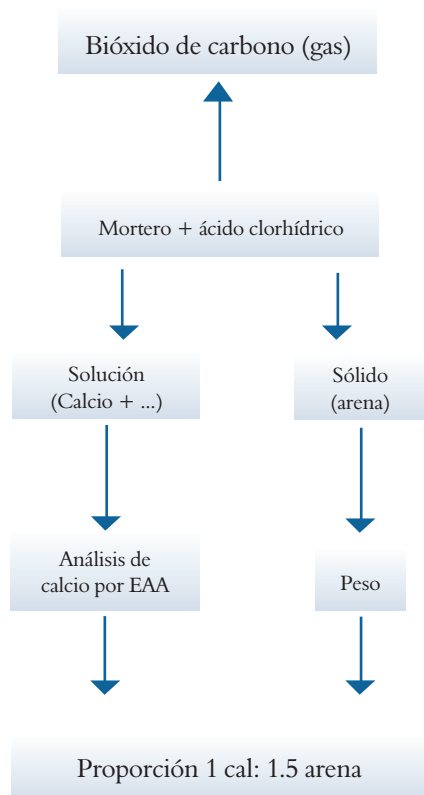


Figura 6. Análisis químico del mortero.



Manuel Marín, 2007.
Constelaciones, metal policromado.

más pesada que el agua; la porosidad del material es de 50%; la porosidad se refiere al volumen de los poros con acceso al agua respecto del volumen total.

El mortero

El otro componente fundamental de los muros de una construcción es el mortero, que está formado por una mezcla de arena, cal y agua. La cal, hidróxido de calcio, reacciona con el bióxido de carbono del ambiente para formar un carbonato de calcio, se dice entonces que fragua porque se endurece.

Para conocer los porcentajes de los componentes iniciales de un mortero, se siguió el proceso que se muestra en la figura 6. Los datos indicaron que el mortero del Portal de Miranda es rico en cal. Este hallazgo ha sido muy útil para la restauración, ya que los morteros con bajos contenidos de cal no soportarían adecuadamente los trozos de piedra múcar.

Algo más, para después...

El conjunto de resultados obtenidos hasta ahora mantiene el interés para continuar estudiando los esqueletos coralinos desde varios ángulos: biológico, químico y también como materiales de construcción antiguos; en este último campo, en busca de los procesos idóneos de restauración.

Bibliografía

¹ J.P. Carricart Ganivet, "Corales escleratinios, 'piedra múcar' y San Juan de Ulúa, Veracruz", *Ciencia y Desarrollo*, **XXIV** (1998), 70-73.

² J.P. Carricart Ganivet y G. Horta Puga, "Arrecifes de coral en México", en S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.), *Biodiversidad Marina y Costera de México*, México, Conabio/CIQRO, 1993, pp. 82-91.

³ E.A. Chávez y E. Hidalgo, "Los arrecifes coralinos del Caribe noroccidental y Golfo en el contexto socioeconómico", *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, México, UNAM, volumen 15, número 1, 1988.

⁴ T.J. Zamudio-Zamudio, A. Garrido-Alfonseca, D. Tenorio y M. Jiménez-Reyes, "Characterization of 16th and 18th century building materials from Veracruz City, Mexico", *Microchemical Journal*, **74** (2003), 83-91.

⁵ G. Horta-Puga. y G. Barba-Santos, <http://www.agrra.org/reports/Veracruz.html> (2006)

Para saber más sobre corales NMITA (2005), Universidad de Iowa, EUA. Base de datos electrónica: <http://porites.geology.uiowa.edu/>

SOMAC (1998), México. Página electrónica: <http://www.somac.org.mx>

* dtc@nuclear.inin.mx

** mjr@nuclear.inin.mx

La ubiquitina, ¿una proteína traidora?

Claudia Guadalupe Benítez-Cardoza,* Laboratorio de Investigación Bioquímica, ENMH-IPN.

Seguramente todos hemos escuchado que con pruebas de ADN (ácido desoxirribonucleico) podemos verificar la paternidad de un hijo o identificar a un posible criminal. Efectivamente, la información genética se guarda y se transmite de padres a hijos en forma de ADN. En los organismos eucariontes el ADN se almacena empaquetado en el núcleo de las células. De acuerdo con los requerimientos de cada célula, fragmentos de ADN (genes) se copian o se transcriben para formar ARN (ácido ribonucleico). El ARN sale del núcleo para que la información que lleva consigo se traduzca para la formación de una proteína. Son las proteínas las moléculas ejecutoras de todas las reacciones que se llevan a cabo en cada una de las células. Estas macromoléculas son polímeros, cuyos monómeros son veinte distintos aminoácidos, unidos me-

dianete enlaces peptídicos. La extensión de las proteínas puede variar desde una treintena de aminoácidos, como es el caso de los venenos de alacrán, hasta varias centenas. La secuencia de dichos aminoácidos la dicta la información del gen que codificó para esa proteína.

Para el buen funcionamiento celular es necesario tener un constante recambio de proteínas; algunas de ellas deben destruirse y otras nuevas deben sintetizarse. A pesar de que algunas proteínas son muy estables, su tiempo de vida puede ser muy corto, particularmente el de aquellas implicadas en la regulación del metabolismo. Si se alteran las cantidades de estas proteínas reguladoras, es posible cambiar rápidamente el metabolismo de acuerdo con las necesidades celulares de cada momento. Además, las células tienen mecanismos



Manuel Marín, 2006. *Seis de las veinticuatro musas con fondo*, grafito/papel (detalle).

para detectar y remover las proteínas dañadas. Por otro lado, una proporción importante de las proteínas sintetizadas puede estar defectuosa, debido a errores en la transcripción del DNA a RNA y su posterior traducción a proteína. Aun proteínas que se sintetizaron normalmente pueden sufrir un daño por oxidación o alterarse de algún modo con el transcurso del tiempo. La vida media de las proteínas varía de unas a otras en varios órdenes de magnitud. Por ejemplo, podemos encontrar proteínas cuya vida media es de aproximadamente 11 minutos (como ejemplo, la ornitina-decarboxilasa), mientras que la vida de la hemoglobina está limitada por el tiempo de vida del eritrocito y la cristalina (proteína de los lentes oculares de los vertebrados) tiene una vida media igual a la vida del organismo.¹

¿Cómo puede una célula distinguir qué proteínas deben degradarse?

Todas las células eucariontes poseen un sistema de varias enzimas para la degradación proteica que necesita tanto energía metabólica (en forma de adenosintrifosfato, ATP) como una pequeña proteína llamada ubiquitina. Las proteínas que se degradan mediante este sistema deben estar unidas covalentemente a



Figura 1. Representación de la estructura de la cadena principal de la ubiquitina.

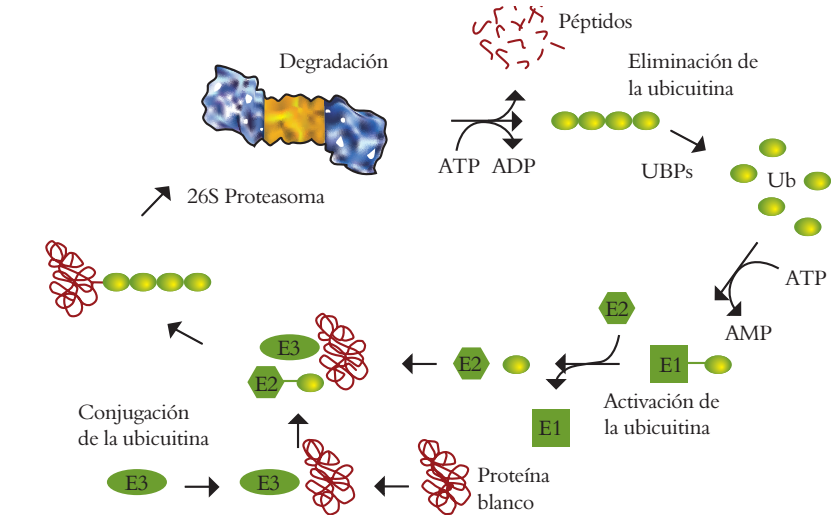


Figura 2. Proceso de degradación proteica por medio de la ubiquitinación.

la ubiquitina; es decir, el papel de la ubiquitina es marcar o señalar a una congénere para su destrucción. ¿Es acaso un tipo de traición entre proteínas? Afortunadamente, este tipo de traición tiene más ventajas que desventajas, porque permite una adecuada regulación del ciclo celular y previene la acumulación de proteínas defectuosas.²

La ubiquitina es de las proteínas cuya secuencia de aminoácidos está muy conservada en la evolución de las especies biológicas, por ejemplo, entre el humano y los insectos, de los 76 aminoácidos que contiene la ubiquitina, sólo tres de ellos son diferentes. La estructura tridimensional de la ubiquitina está compuesta de una hélice- α y una hoja- β plegada (figura 1). Además, la ubiquitina es una proteína muy estable ya que es necesario someterla a condiciones muy extremas de temperatura para que pierda su función.^{3,4}

Sin embargo, la ubiquitina no hace su trabajo sola, sino que se ayuda de otras proteínas llamadas enzima activadora de ubiquitina (E1), enzima conjugadora de ubiquitina (E2) y ligasa de ubiquitina (E3). En el proceso de ubiquitinación primero se activa la ubiquitina, posteriormente la ubiquitina activada se transfiere a E2 y finalmente E3 cataliza la transferencia de la ubiquitina desde E2 hasta la proteína blanco que se va a marcar para su degradación. Después de

la unión de una ubiquitina a la proteína blanco, una segunda molécula de ubiquitina se une a la primera ubiquitina. Esto último se repite para formar una cadena de poliubiquitina (figura 2).¹

La unión de una sola molécula de ubiquitina es una señal pobre para la degradación; en cambio, cadenas de cuatro o más moléculas de ubiquitina son particularmente efectivas para la degradación. Una ventaja de la formación de cadenas es que cuando por error se marca una proteína con una sola molécula de ubiquitina, podrá encontrarse una enzima que elimine a la ubiquitina antes de que la proteína sea degradada.

El proteasoma digiere las proteínas unidas a ubiquitina

Si la ubiquitina da la señal para la destrucción de una proteína, ¿quién ejecuta dicha destrucción?

Una vez unida covalentemente la cadena de poliubiquitina a la proteína blanco, el complejo se lleva al proteasoma, también llamado 26S proteasoma. El proteasoma es una maquinaria proteolítica (formada por varias subunidades de proteína) que digiere a las proteínas que han sido señaladas previamente por la ubiquitina. El 26S proteasoma está compuesto de una unidad denominada 20S proteasoma (figura 3) que lleva a cabo la degradación y la subunidad 19S que actúa como reguladora. En palabras

simples, podemos describir el proteasoma como un cilindro formado de cuatro anillos proteicos (subunidad 20S), que tiene una tapa en cada extremo (subunidad 19S) por la que entran las proteínas blanco. Inicialmente, se propuso que las proteínas que se degradan en el proteasoma podrían entrar por un extremo y salir por el otro (figura 4); sin embargo, recientemente se ha planteado que las proteínas pueden entrar por cualquiera de los dos extremos del cilindro y que los péptidos hidrolizados podrían salir por la parte media del mismo, aunque esto aún debe comprobarse. Dichos péptidos pueden utilizarse para sintetizar nuevas proteínas. El diámetro del poro axial del complejo 20S es de 13Å, lo que indica que sólo proteínas desdobladas pueden entrar al cilindro, por lo que es necesario desdoblar las proteínas blanco antes de su degradación. Cabe señalar que el complejo 19S posee varias unidades de utilización de energía en forma de ATP (ATPasas). Es probable que dicha energía se utilice en el desdoblamiento de las proteínas blanco.

¿Qué pasa con la ubiquitina?

La ubiquitina no se degrada junto con la proteína blanco, ya que ésta no entra al 20S proteasoma. En la unidad reguladora 19S existe un sistema de desubiquitinación para liberar las cadenas de poliubiquitina. Posteriormente a la hidrólisis de la proteína blanco, las cadenas de poliubiquitina se separan en monómeros mediante isopeptidasas que se encuentran en el complejo 19S. Esto regenera los monómeros de ubiquitina para que se reutilice.

¿Qué determina que una proteína se marque para su destrucción?

La vida media de una proteína se determina en gran medida por la secuencia de su extremo aminoterminal. Por ejemplo, en una levadura, una proteína con una metionina en su extremo aminoterminal tendrá una vida media de aproximadamente 20 horas, mientras que otra proteína con una arginina en la misma posición tendrá una vida media de dos minutos. Los residuos de arginina y leucina favorecen una rápida ubiquitinación, mientras que la prolina o la metionina lo dificultan. Las enzimas E3 son lectoras de residuos aminoterminal. Otros signos de destrucción son las proteínas ricas en prolina (P), ácido glutámico (E), serina (S) y treonina (T), denominadas secuencias PEST.

En conclusión, el proceso de degradación proteica por medio de la ubiquitinación es uno de los más importantes desde el punto de vista biológico, ya que influye en la división celular normal, pero también en la división y diferenciación desordenadas que producen el cáncer. La ubiquitinación es responsable del proceso inflamatorio que conlleva la aparición de fiebre y, crónicamente, a la artritis y otras enfermedades degenerativas. Muchas enfermedades genéticas humanas son resultado de defectos en el proceso de ubiquitinación. Se estima que uno de cada diez artículos que se publican en el área biológica está relacionado con este proceso y varios premios Nobel se han entregado a científicos que de forma directa o indirecta estudian este sistema.

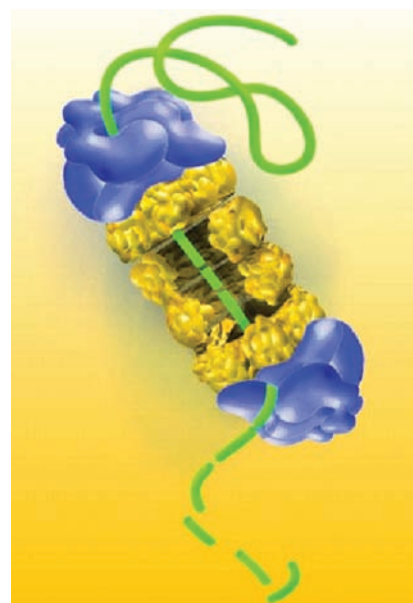


Figura 4. Esquema de la hidrólisis proteica por medio del proteasoma.

Agradecimientos

Queremos dar las gracias a los proyectos Conacyt 45990 y SEP-IPN 20070141 por su apoyo

Bibliografía

- ¹ M.H. Glickman, A. Ciechanover, *Physiol. Rev.*, **82** (2002) 373-428.
- ² Y. A. Lam, C.M. Pickart, *Encyclopedia of Life Sciences*, 2001.
- ³ C.G. Benítez-Cardoza, K. Sttöt, M. Hirshberg, H.M. Went, D.N. Woolfson, S.E. Jackson, *Biochemistry*, **43** (2004) 5195-5203.
- ⁴ H.M. Went, C.G. Benítez-Cardoza, S.E. Jackson. *FEBS Letters*, **567** (2004) 333-338.

*beni1972uk@yahoo.com.mx



Figura 3. Representación de la estructura tridimensional de la subunidad 20S proteasoma.

El pincel turbulento de Van Gogh

José Luis Aragón, Departamento de Nanotecnología, Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, UNAM.

Si hay una palabra que sirva para definir la vida y obra de Vincent van Gogh, ésta es turbulencia. En el cuadro *La noche estrellada*, por ejemplo, Van Gogh nos da su visión de un cielo nocturno, transfigurado por furiosos golpes circulares de pincel que producen remolinos a diferentes escalas, característicos también de un fluido turbulento (figura 1). Esta analogía, común entre los críticos de arte, no escapó tampoco a los astrónomos del telescopio Hubble, quienes compararon esta pintura con la fotografía del turbulento polvo interestelar alrededor de la estrella Monocetoris V838.¹ En éste y otros cuadros de su último periodo, el artista holandés fue capaz de capturar y transmitir la sensación de turbulencia con un realismo tal que resulta consistente con la descripción física de un flujo turbulento.²

Uno de los pilares de las modernas teorías de los fluidos turbulentos es la teoría estadística del matemático ruso Andrei Kolmogorov, desarrollada entre 1941 y 1962 e inspirada en la visión de la turbulencia como una mirada de remolinos, propuesta por Lewis F. Richardson en 1922. La teoría de Kolmogorov se basa en describir la estadística o correlación de las diferencias de velocidades de dos puntos de un fluido, separados por una cierta distancia R . Si v es la componente de la velocidad a lo largo de R , esta diferencia se expresa como:

$$\delta u_R = (v(r + R) - v(r)) \cdot R/R$$



Vincent van Gogh, 1889, *La noche estrellada* (detalle).

y a partir de los resultados de Kolmogorov, obtenidos bajo ciertas aproximaciones, puede lograrse una descripción precisa de la forma que debe tener la función de distribución de probabilidad de las diferencias de velocidades, $P(\delta u_R)$, en un fluido turbulento.³

En *La noche estrellada* no hay fluido, no hay velocidades, pero hay cascadas de remolinos y luminancia, que es la luminosidad percibida por el ojo (el brillo, a final de cuentas). La luminancia contiene la mayor cantidad de información en un contexto visual y ha sido usada por los artistas, desde el impresionismo, para transmitir la sensación de movimiento a través de una técnica conocida como equiluminancia.⁴ De aquí que se adoptara la hipótesis central de que la dinámica de los cuadros de Van Gogh proviene de la distribución de la luminancia de los colores y que, en consecuencia, la turbulencia de ciertos óleos puede ser cuantificada por medio de un análisis estadístico, à la Kolmogorov, de las diferencias de luminancia δu_R de pares de píxeles separados por una distancia R en una imagen digital del cuadro. Si se usa el modelo RGB de colores, la luminancia de un píxel, con un color (R, G, B, red, rojo, green, verde, blue, azul), se obtiene por medio de la fórmula aproximada

$$0.299R + 0.587G + 0.114B$$

que toma en cuenta que el ojo es más sensible primero al verde, después al rojo y finalmente al azul.

Sorprendentemente, la función de distribución de probabilidad $P(\delta u_R)$ de una imagen digital de *La noche estrellada* se ajusta de forma notable a la predicción de la teoría de Kolmogorov para un fluido bajo el régimen turbulento (figura 1

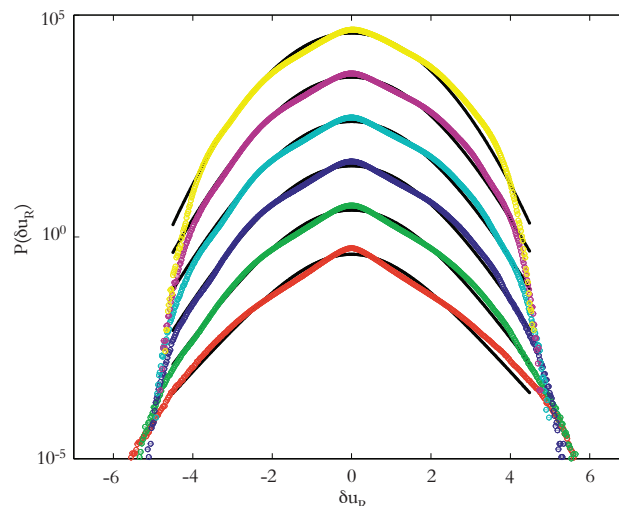


derecha). La analogía con la turbulencia física puede llevarse más lejos, para encontrar, por ejemplo, los momentos estadísticos de la distribución de δu_R y así verificar los resultados de Kolmogorov.² Van Gogh fue capaz, entonces, de capturar la impronta de la turbulencia y transmitirla con gran realismo.

Este mismo ajuste reaparece en ciertos cuadros pintados por el artista a partir de su reclusión en el asilo Saint Paul de Mausole,² cuando comenzó a darle realidad a sus cielos turbulentos por medio de golpes circulares de pincel, que producían cascadas de remolinos. Hay considerables esfuerzos recientes en el sentido de aplicar herramientas objetivas a la interpretación del arte abstracto, entre los que cabe destacar el análisis de la fractalidad en los cuadros del pintor estadounidense Jackson Pollock.⁵ Dada la importancia de la luminancia, como portadora de la mayor información de una imagen, el estudio de su correlación en una pintura es una contribución válida y útil para este fin.

Bibliografía

- ¹ "Space Phenomenon Imitates Art in Universe's Version of Van Gogh Painting", <http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2004/10/>
- ² J.L. Aragón, Gerardo G. Naumis, M. Bai, M. Torres, P.K. Maini, "Turbulent luminance in impassioned Van Gogh Paintings", arXiv: physics/0606246.
- ³ B. Castaing, Y. Gagne, E.J. Hopfinger, "Velocity probability density functions of high Reynolds number turbulence", *Physica*, **D 46** (1990) 177-200.
- ⁴ M. Livingstone, *Vision and Art: The Biology of Seeing*, Harry N. Abrams, Nueva York, 2002.
- ⁵ R.P. Taylor, A.P. Micolich, D. Jonas, "Fractal analysis of Pollock's drip paintings", *Nature*, **399** (1999) 422.



Izquierda: *La noche estrellada*, de Vincent van Gogh, pintado en junio de 1889 en el asilo mental de Saint Paul de Mausole, en Saint Rémy de Provence. Derecha: función de distribución de probabilidad de la diferencia de luminancia para píxeles separados por distancias $R = 60, 240, 400, 600, 800, 1200$, de abajo hacia arriba, respectivamente, para una imagen de 5369×2676 píxeles. Las curvas, en colores, están superpuestas a las curvas en negro que siguen la teoría de Kolmogorov.

SPECTRAMEX, S.A. DE C.V.

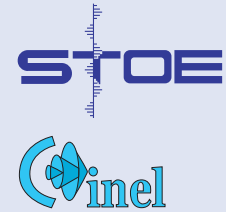
CTO. CIRCUNVALACIÓN PONIENTE NO. 1-302,
CD. SATÉLITE, EDO. DE MÉXICO, CP. 53100, MÉXICO.

E-MAIL 1: gpicco@compuserve.com

E-MAIL 2: spectramex@aol.com

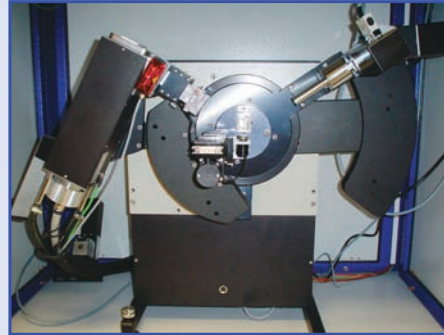
TEL: +52 (55) 55629289

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)

Proyecto Alfa II: nanogastor

Nanoadsorbentes para el almacenamiento de gases

Pedro Bosch, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Ficha técnica

Coordinadores: G. Maurin, Université de Montpellier II, Francia, y P. Lewellyn, Université de Provence, Francia.

Participantes: C. Mellot (Laboratoire Lavoisier, Université de Versailles, Francia), D. Lewis (University College of London, Reino Unido), M. Cambor (CSIC de Madrid, España), J. Kärger (University of Leipzig, Alemania), R. Ruiz Salvador (Universidad de La Habana, Cuba), P. Bosch, L.J. Álvarez y A. Martínez Vázquez (Universidad Nacional Autónoma de México, México), C. Mota (Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil).

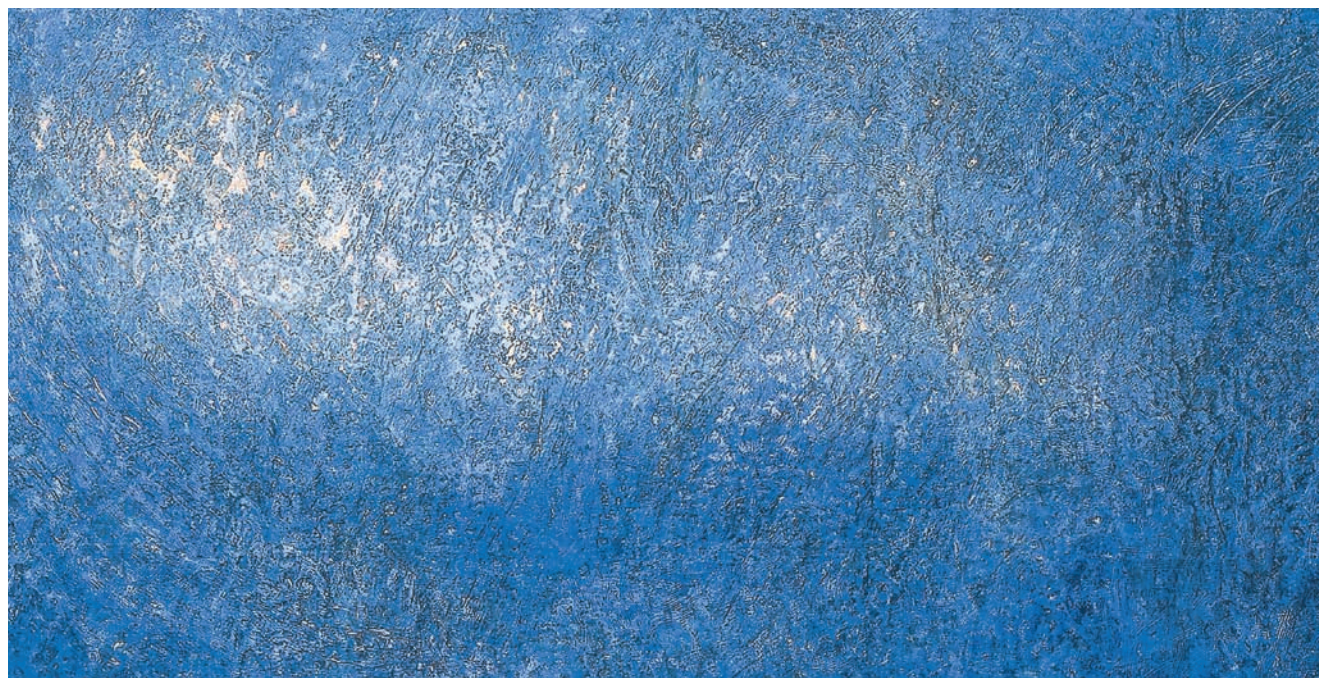
Duración: De junio de 2005 a junio de 2008.

Presupuesto: 450 000 €.

Introducción

¿Cómo almacenar un gas?, ¿cómo reducir su volumen? y ¿cómo separar los componentes de una mezcla de gases? El problema es muy sencillo... para el gasero que lo comprime

en un tanque rígido. Al globero, en cambio, le basta inflar con gas una enorme bolsa elástica. Los alemanes eso hicieron, usaron hidrógeno e inventaron los dirigibles. La catástrofe del *Hindenburg* (1937) demostró que no era el enfoque más



María José Lavín, 2004. *Políptico, Perfiles*, encausto/tabla, 15 × 18 cm.

adecuado para resolver el transporte aéreo. De entonces a la fecha se han hecho muchos intentos para concentrar un gas de manera segura, de domarlo confinándolo en un espacio tan pequeño como sea posible. Desde luego, las ideas no han faltado. En principio se puede, por ejemplo, congelarlo, es posible utilizar altas presiones o adsorberlo. En particular, para almacenar hidrógeno, se ha echado mano del paladio, que tiende a formar hidruros. También se ha encapsulado, mediante presión, en zeolitas o en fullerenos.

Así todo, se trata de acercamientos empíricos a un problema de enorme trascendencia para la industria. Es un objetivo que a pesar de su aparente sencillez se complica porque los gases difieren por el tamaño, la electronegatividad y la polarización de sus moléculas. La opción más segura y más eficiente parece ser la retención de gases en sólidos nanoporosos. En efecto, se combinan en estos materiales dos funciones, por un lado, dado el tamaño de los poros, sólo ciertos gases pueden penetrar (figura 1) y quedar atrapados en el sólido y por otro, dada la gran porosidad, la cantidad que se logra almacenar es mucha. Sin embargo, los materiales existentes no siempre reúnen los requisitos para retener tal o cual gas.

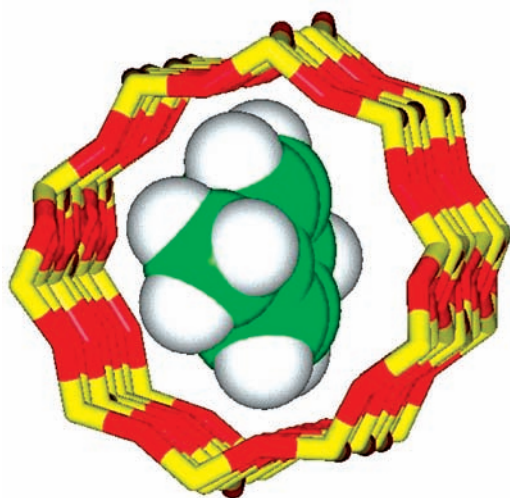


Figura 1. La adsorción y la separación de gases dependen del tamaño de las cavidades de la zeolita. En este caso se ilustra cómo el paraxileno puede difundirse libremente en los canales de la silicalita. Este efecto se usa para purificar el paraxileno.¹

Por eso, en este proyecto, se pretende investigar y diseñar materiales nanoporosos adecuados para el almacenamiento de gases. El proyecto tiene como objetivo el estudio de materiales como las zeolitas o los MOF, para almacenar y separar moléculas de gases como el CH_4 , el CO_2 o el H_2 . La selección de estas moléculas obedece, desde luego, a la conciencia del efecto invernadero tanto en América Latina como en la Comunidad Europea. Su almacenamiento repercutirá en las aplicaciones siguientes: *a*) de hidrógeno: automóviles que funcionen con celdas de energía, *b*) de metano: automóviles y habitaciones, *c*) de dióxido de carbono: separación y recuperación del gas

natural, *d*) de amonio: catalizadores para una reducción selectiva, y *e*) de óxido nítrico: convertidores catalíticos.

Proyecto multidisciplinario

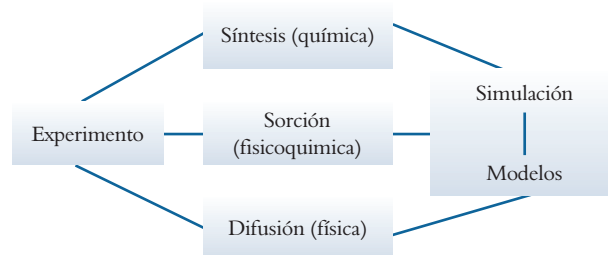
El proyecto es multidisciplinario (química, física, ingeniería), ya que combina la simulación teórica con el experimento. Cuenta con expertos en síntesis de materiales, en caracterización experimental (adsorción, estructura, difusión), así como con especialistas de la simulación de los procesos de síntesis o de las múltiples propiedades de los materiales que se investigarán. Desde luego, semejante proyecto no puede llevarse a cabo sólo en un país y por eso esta red es única.

Se formó así un laboratorio virtual compuesto por todos los grupos de la red; todas las técnicas experimentales y los programas de simulación se comparten. Esta acción Alfa pretende alcanzar una masa crítica de investigadores para llevar a cabo investigaciones de alto nivel que hoy no puede realizar un grupo aislado, dada su complejidad o su interdisciplinariedad. Los coordinadores de los grupos participantes son: G. Maurin (UMII), P. Lewellyn (UP), C. Mellot (UVSQ), D. Lewis (UCL), M. Cambor (CSIC), J. Kärger (UL), R. Ruiz Salvador (UH), C. Mota (UFRJ), P. Bosch, L.J. Álvarez y A. Martínez (UNAM).

Métodos

La composición del grupo se definió de acuerdo con los proyectos y subproyectos que constituyen este programa Alfa. Son grupos especializados en la síntesis, la adsorción y la difusión, tanto desde un punto de vista experimental como teórico, tal como se esquematiza en el diagrama siguiente.

Los grupos experimentales son cinco (tres de la Comunidad Europea y dos de América Latina), dos se concentran en la síntesis y en la caracterización (grupos CSIC y UNAM), dos en la sorción (grupos UH y UP) y uno en la difusión (grupo UL). Cuatro de estos grupos experimentales estudian aspectos teóricos de la sorción y de la difusión (grupos UNAM, UL,



UH y UP). A estos cinco grupos experimentales se les han unido otros cinco grupos: dos de ellos están comprometidos con la predicción de nuevas estructuras zeolíticas y la simulación de los procesos de síntesis (grupos UVSQ y UCL) y tres se dedican a los cálculos *ab initio* tanto de clusters como periódicos (grupos UNAM y UFRJ), para derivar nuevos potenciales interatómicos apropiados para predecir estructuras y simular los procesos adsorptivos.

Este proyecto es una plataforma ideal para formar estudiantes de doctorado y de posdoctorado debido a la diversidad de las herramientas de investigación requeridas. Los estudiantes tienen la oportunidad de desarrollarse en el campo de la nanotecnología aplicada a los problemas del ambiente y entender tanto conceptos químicos como físicos o de ingeniería, lo cual es de importancia inmediata y futura, tanto en América Latina como en la Comunidad Europea.

Materiales

Cada una de las moléculas seleccionadas tiene propiedades químicas y físicas específicas que requieren que las características nanoporosas del material adsorbente se ajusten. Hemos elegido trabajar con materiales ordenados como las zeolitas ya que permiten estudiar, por separado, parámetros como el tamaño de poro, la arquitectura porosa, la composición química o el efecto de los cationes de compensación (figura 2). En efecto, se conocen más de 130 diferentes tipos de estructura en los que los tamaños de poro y la arquitectura porosa varían enormemente. Es más, la naturaleza química de estos compuestos también se puede alterar. En los materiales zeolíticos estándar, que son, sobre todo, aluminosilicatos, se puede cambiar el catión que balancea la carga debida a la introducción de aluminios en la estructura. También se pueden sustituir

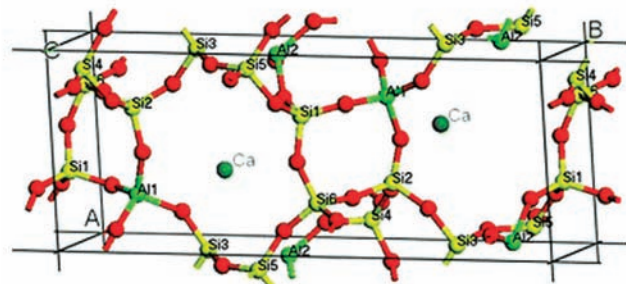


Figura 2. Modelo de una zeolita (goosecreekita) para determinar la influencia del orden en la red, la localización de los cationes de intercambio y la hidratación de los poros sobre la estructura y su estabilidad.²

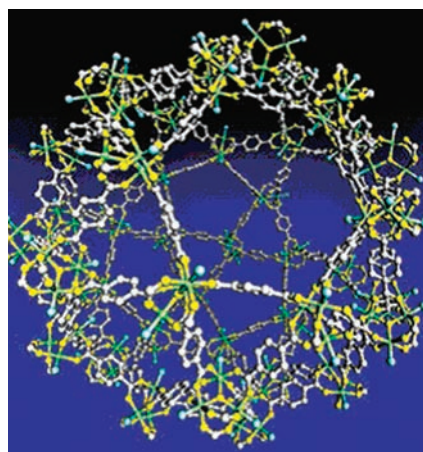


Figura 3. La cavidad más grande de MIL-101 tiene un diámetro de alrededor de 3.4 nm y cuenta con ventanas tanto hexagonales como pentagonales para permitirle a las moléculas huésped entrar y salir. Los átomos de cromo, oxígeno, flúor y carbono aparecen en verde, amarillo, azul y gris, respectivamente.³

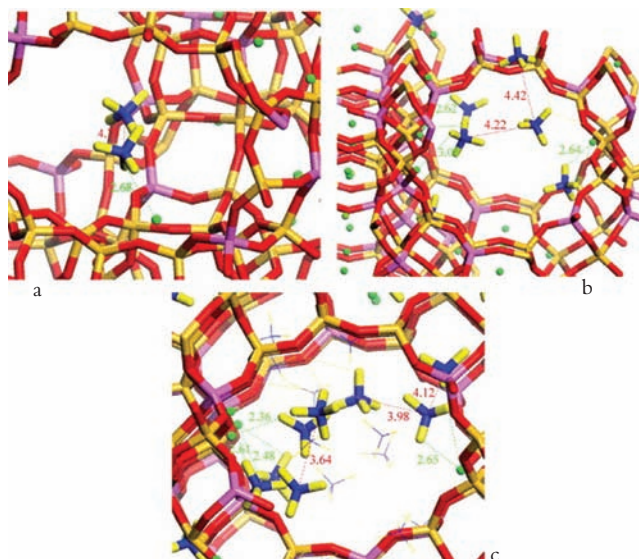


Figura 4. Arreglo típico de las moléculas de metano, CH_4 (en amarillo y azul oscuro) en una zeolita X, a) si la presión gaseosa es de 2.5 bar, b) si la presión gaseosa es de 13 bar y c) si la presión gaseosa es de 44.5 bar. El rojo representa el oxígeno, el ocre el silicio y el guinda el aluminio. Los sodios se encuentran en los sitios II y III' y les corresponde el verde y el azul pálido, respectivamente. Las distancias características Na-H y C-C (Å) están indicadas en la figura.⁴

parcialmente el aluminio o el silicio con otros metales. Uno de los grupos así descubiertos fue el de los aluminofosfatos (MeAlPO); sin embargo, puede suceder que el tamaño de los canales y las cavidades de las zeolitas conocidas no sea suficiente para el fenómeno estudiado. Recientemente, se han propuesto materiales como los MOF, redes tridimensionales organometálicas, que son redes con cavidades mayores. En la figura 3 se presenta la estructura de un MOF, el MIL-101, cuya área específica es de $5,900 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$.

Etapas de desarrollo del proyecto

El proyecto se ha dividido, paso a paso, en objetivos sucesivos que tienen que abordarse con metodologías diferentes.

1. Diseño de materiales modelo

Se pretende diseñar un adsorbente que almacene o regenere el hidrógeno, el metano, el dióxido de carbono, el amonio o el óxido nítrico. En la primera etapa se trabajará con materiales que ya existen como la mordenita, la zeolita ZSM-5 y la faujasita (figura 4). Las mejores estructuras se identificarán llevando a cabo simulaciones Monte Carlo para un sistema Gran Canónico (GCMC) mediante programas que ya han desarrollado los participantes del proyecto (UP) de manera que se determine, por ejemplo, la mejor capacidad de adsorción. Aprovechando su gran experiencia en el estudio del comportamiento de los cationes en las zeolitas, el grupo cubano (UH) se centrará en la influencia de la naturaleza y de la localización de los cationes extra-red en las propiedades de

adsorción. El trabajo se completará con un estudio focalizado en la predicción de nuevas estructuras zeolíticas, tema que es la especialidad de los grupos UVSQ y UCL. Estos grupos construirán nuevas estructuras mediante la unión de unidades estructurales de construcción (tetraedros TO_4 con $T = Si, Al$) y la combinación de modelos de potencial de pares y de minimización de energía.

En esta etapa, los cálculos *ab initio* serán cruciales tanto para calcular nuevos potenciales interatómicos adsorbato/adsorbente (en particular para el óxido nítrico y el amonio, ya que no existe ningún dato en la bibliografía para estas moléculas) como para evaluar la energía de adsorción de cada una de las moléculas estudiadas. Los grupos de México (UNAM) y Brasil (UFRJ) se han especializado en estos cálculos y están a cargo del tema. Aquí, la originalidad será asociar expertos de los cálculos *ab initio* para cúmulos con los de cálculos *ab initio* periódicos. En cuanto se obtengan las nuevas estructuras zeolíticas, estableceremos, nuevamente mediante simulaciones GCMC, estructuras zeolíticas óptimas con perfiles de adsorción específicos adecuados para las aplicaciones propuestas.

2. Simulación de las propiedades de adsorción

La segunda etapa de la simulación consistirá en establecer un diseño más detallado de los materiales zeolíticos resultantes del paso previo, mediante simulaciones GCMC. Calcularemos, para cada gas puro, las propiedades de adsorción de los sistemas zeolíticos en función de parámetros como el cociente Si/Al, la naturaleza y la localización de los cationes extra-red y el estado de hidratación. Este estudio nos permitirá determinar las composiciones químicas adecuadas para alcanzar la más alta capacidad de adsorción para un gas específico puro.

La originalidad, aquí, radica en combinar el método de simulación con el resultado del paso anterior. Es un tipo de estudio que no se ha hecho para tales materiales. Una vez terminado este acercamiento termodinámico, investigaremos las propiedades dinámicas de las moléculas adsorbidas mediante la técnica de dinámica molecular que es la especialidad de cuatro de los participantes en el proyecto (UP, UCL, UNAM y UH). Se conseguirá así una descripción microscópica de los comportamientos difusionales de los sorbentes en los canales, dependiendo de su conectividad. Esta simulación será útil para determinar el mejor arreglo de canales para cada uno de los gases investigados en este estudio.

3. Simulación de la síntesis de las estructuras zeolíticas

El propósito de esta sección es aplicar por primera vez (grupo UCL) una metodología fundada en el método cinético de Monte Carlo para predecir las condiciones de síntesis requeridas para preparar las estructuras zeolíticas definidas en los incisos 1 y 2. Tal trabajo necesita tomar en cuenta los datos de la estructura de las plantillas, la composición química de la solución acuosa (pH, tipo de óxidos necesarios para iniciar la

síntesis) y el proceso de calcinación durante el cual se elimina la plantilla y parte del agua.

4. Síntesis de los materiales zeolíticos

Se seguirán experimentalmente en cada síntesis los pasos obtenidos por la simulación de la etapa 3. Los equipos de la UVSQ y del CESIC obtendrán las zeolitas y los zeotipos por síntesis hidrotérmica usando diferentes plantillas orgánicas, así como distintos reactivos iniciales. Aún más, sintetizaremos materiales zeolíticos controlando tanto el cociente Si/Al (u otros cocientes si las zeolitas incluyen P, Zn...) como la colocación de algunos átomos en anillos diferentes, lo que representará un gran avance para la comunidad zeolítica. Se llevarán a cabo, entonces, los intercambios iónicos necesarios para obtener zeolitas con los mismos cationes extra-red que las zeolitas calculadas en la etapa anterior. Las muestras preparadas se caracterizarán (grupo UNAM) mediante técnicas como la difracción de rayos X, la resonancia magnética nuclear y la microscopía electrónica de barrido, respectivamente, XRD, NMR y SEM.

5-6. Medida experimental de las propiedades de adsorción de los materiales zeolíticos y comparación de los resultados experimentales con los resultados de la simulación

Este trabajo consistirá ante todo en medir las isothermas de adsorción y las entalpías diferenciales de adsorción para cada gas usando metodologías basadas en técnicas experimentales de la microcalorimetría y más particularmente con aparatos de adsorción de alta presión (grupos UP y UH). Estos datos se usarán para evaluar el desempeño del adsorbente con cada uno de los gases puros. La especialidad del grupo de la UL, que consiste en combinar la dispersión cuasielástica de neutrones con la resonancia magnética nuclear, se utilizará para investigar la dinámica difusional de las moléculas adsorbidas en los materiales zeolíticos y para obtener valores de autodifusividad. Los resultados experimentales se compararán con los que se hayan calculado mediante las simulaciones por dinámica molecular. Este enfrentamiento experimento-teoría nos permitirá entender el mecanismo de la difusión, en las cavidades y en los canales de las zeolitas, a nivel microscópico.

Al final del proyecto se organizará un simposio abierto a la comunidad científica para presentar las contribuciones de los participantes y sus publicaciones. En resumen, se espera crear un foro en donde la cultura científica iberoamericana y la europea se confronten en los temas antes mencionados.

Figuras

¹ Tomado de: <http://www.bza.org/zeolites.html>.

² Tomado de A.R. Ruiz-Salvador, N. Almora-Barrios, A. Gómez, D.W. Lewis; *Chem. Phys.*, **9** (2007) 521-532.

³ Tomado de *Nanomaterials*, **83**, (2005), 11.

⁴ Tomado de G. Maurin, S. Bourrelly, P.L. Lewellyn, R.G.O. Bell, *Microporous and Mesoporous Materials*, **89**, (2006), 96-102.