

Instituto de Investigaciones en Materiales. UNAM

Reseña histórica del Instituto de Investigaciones en Materiales

El papel del IIM en el desarrollo de la microscopía electrónica en México

Las bajas temperaturas en el Instituto de Investigaciones en Materiales

Biomateriales

La sangre humana desde el punto de vista de la reología

La química de diacetilenos en la innovación tecnológica

La cuna de las energías renovables en la UNAM



No te preocupes



Seguimos trabajando

La Calidad, Nuestro Compromiso,
Nuestro objetivo, el Medio ambiente.



La marca mas avanzada en sistemas de conducción

agua • drenaje sanitario • drenaje pluvial • fibra óptica • cableado • minería

Oficinas Corporativas y Planta Noreste

Carretera Villa de García
km. 0+800 C.P. 66370
Sta. Catarina Nuevo León, México.

Planta Centro

Calle Parque No. 10,
Parque Industrial Jilotepec,
Jilotepec, Edo. de México

Planta Pacifico Norte

Calle 2, Carretera México 15,
Km. 177+900
Ruiz Cortines, Guasave, Sinaloa

Exige tu Servicio Integral



ADS Mexicana, con sus más de **40,000 kilómetros** de tubería corrugada de polietileno de alta densidad instalada en el territorio nacional, reafirma su compromiso con el medio ambiente, garantizando el bienestar y desarrollo de las **Familias Mexicanas.**

ADS
MEXICANA

ADS MEXICANA, S.A. DE C.V.

Tel. 01 81 8625 4500 al 05

Fax: 01 81 8625 4541

info@adsmexicana.com

www.adsmexicana.com

PRESENTACIÓN

Continuando con el propósito de nuestra revista, que es el de dar a conocer algunos de los trabajos que se realizan en el marco de la ciencia e ingeniería de materiales, presentamos nuestro número 20, que esta vez es especial y está dedicado a divulgar cómo son los laboratorios y las líneas de investigación creados a partir de 1967, cuando se inauguró el Instituto de Investigaciones en Materiales. Así, en el marco de los festejos del 45 aniversario del Instituto, hemos querido presentar algunos temas que son relevantes y en los que el Instituto ha colaborado significativamente.

En este número de **Materiales Avanzados** se presentan seis artículos. El primero está dedicado a reseñar la evolución que el Instituto ha experimentado a lo largo de 45 años y menciona los grandes avances en infraestructura, así como la influencia de sus directivos en la mejora diaria del Instituto. Otro ensayo está dedicado al laboratorio de microscopía electrónica del IIM, campo en el que fuimos pioneros al publicar los primeros artículos científicos realizados con la ayuda de microscopía hecha en México; se da cuenta de la evolución del laboratorio hasta ser la sede actual del Laboratorio Universitario de Microscopía de la UNAM. En otro texto se narra la historia de uno de los más famosos laboratorios de nuestro Instituto, el de bajas temperaturas, y se menciona cómo se ha equipado este laboratorio hasta llegar a ser en la actualidad uno de los más consolidados de América Latina; evidentemente que los éxitos asociados a este laboratorio también se reseñan. Además, se trata el tema de los biomateriales y cómo el Instituto ha sido pionero en el área de materiales directamente relacionados con la medicina y la salud; los logros de este laboratorio no son escasos y contribuyen a mejorar la salud del ser humano. Siguiendo con materiales relacionados con funciones biológicas, el grupo de reología presenta un texto sobre el comportamiento reológico de la sangre. Finalmente, se explica cómo las investigaciones en el IIM fueron el origen de otro centro de investigación, el Centro de Investigación en Energía.

Materiales Avanzados se elabora gracias a la participación de todos los miembros del Comité Editorial, pero también es invaluable el trabajo de nuestros autores, quienes amablemente accedieron a escribir para este número especial. Gracias a todos por su participación.

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:

- Artículos cortos, de un máximo de 11,000 caracteres (contando espacios), que ocuparán cuatro páginas de la revista.
- Artículos largos, con un máximo de 27,500 caracteres (contando espacios) que aparecerán en diez 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 con resolución de 300 dpi y 15 cm de lado menor.

Los textos se mandarán a la siguiente dirección electrónica:

revista@iim.unam.mx

El autor responsable de recibir la correspondencia se indicará con un asterisco.

Las referencias se incluirán con 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*, país o ciudad, editorial, año.

Ilustraciones

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

- Originales en papel fotográfico.
- Digitales, con resolución de 300 dpi y 15 cm de lado menor en archivos eps o tiff.

Información adicional:

Enrique Lima Muñoz

Editor responsable de *Materiales Avanzados*
Instituto de Investigaciones en Materiales,
Ciudad Universitaria, UNAM.

04510, México, D.F. México.

Tel. +52 (55) 5622 4640

lima@iim.unam.mx



CONTENIDO



Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. José Narro Robles
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García
Secretario General

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



Instituto de Investigaciones en Materiales

Ana María Martínez Vázquez
Directora del Instituto de Investigaciones en Materiales

Enrique Lima Muñoz
Editor Responsable

Comité Editorial
Patricia Guadarrama
Francisco Morales Leal
Ernesto Rivera
Gabriel Torres

Producción
Editorial Terracota, S.A. de C.V.
Edición: Pilar Tapia
Diseño: Rocío Mireles
Formación: Jeanette Vázquez
Ilustraciones: Mayra Alvarado, Martha García

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

Materiales Avanzados, Publicaciones UNAM, es una publicación semestral del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Editor Responsable: Enrique Lima Muñoz. Reserva de derechos al uso exclusivo del título ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública 04-2003-041612533600-102. Certificado de licitud de título 12619, Certificado de licitud de contenido 10191, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1665-7071. Impreso en Editorial Color, S.A. de C.V., Naranja 96-bis, Santa María la Ribera, 06400, México, D.F., EC0751107320, 55-47-35-40, Distribución Nacional e Internacional: IIM, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D.F. C.P. 04510 Tel. 5622 4602 Tiraje: 1500 ejemplares.

Agradecemos su colaboración a las fotógrafas Montserrat Cattaneo Galipienzo, Jorja Carreño y Mónica Lamadrid, así como a Pedro Bosch.

Impreso en México

1 Presentación

2 Instrucciones para los autores

4 Noticias

9 Reseña histórica del Instituto de Investigaciones en Materiales

Guillermo Aguilar Sahagún

20 El papel del IIM en el desarrollo de la microscopía electrónica en México

Gabriel Torres Villaseñor

23 Las bajas temperaturas en el Instituto de Investigaciones en Materiales

Roberto Escudero

28 Biomateriales

María Cristina Piña Barba

33 La sangre humana desde el punto de vista de la reología

Leonardo Moreno, Fausto Calderas, Guadalupe Sánchez-Olivares, Luis Medina-Torres, Antonio Sánchez-Solís y Octavio Manero

38 La química de diacetilenos en la innovación tecnológica

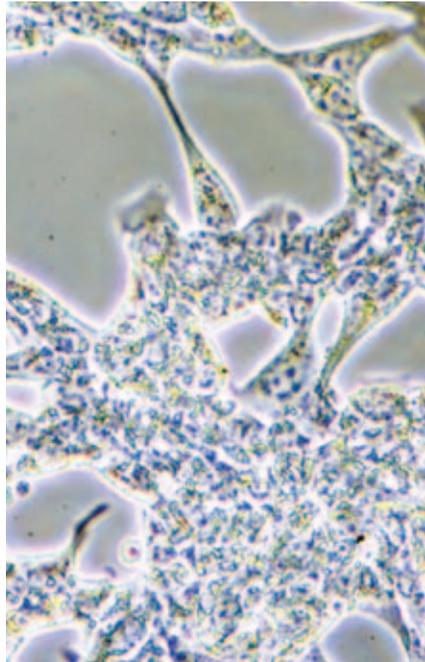
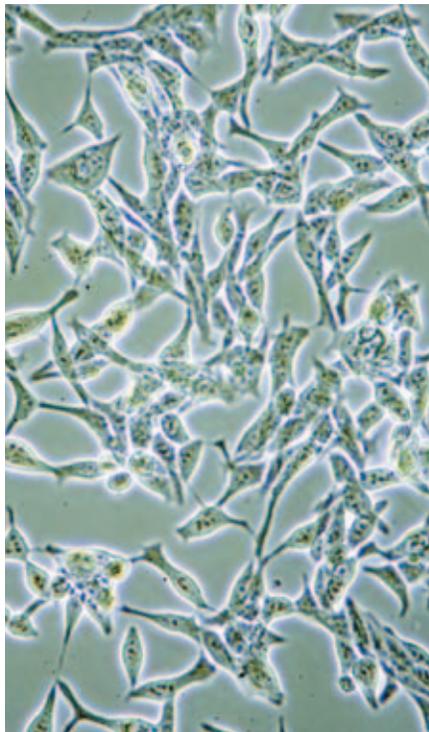
Takeshi Ogawa Murata

42 La cuna de las energías renovables en la UNAM

Julia Tagüeña y Guillermo Aguilar

Materiales nanorrugosos para capturar células tumorales

Las células tumorales en circulación (CTC), aquellas que son independiente de las lesiones primarias, representan una alternativa como fuente de tejido tumoral para la detección, la caracterización y el seguimiento de los cánceres. Fu y sus colaboradores publicaron una estrategia simple pero eficaz para la captura de CTC sin usar anticuerpos. La parte central del método utiliza únicamente la preferencia de adhesión de las células cancerosas a superficies nanorrugosas en comparación con células normales de la sangre. Debido a que las células tumorales circulantes ofrecen una oportunidad no invasiva para estudiar un cáncer y evaluar el pronóstico del paciente, la búsqueda de maneras para detectarlas ha aumentado significativamente en los últimos tres años. Desafortunadamente, estas células son raras, así que no es fácil separarlas de la sangre. Para desarrollar este método alternativo,



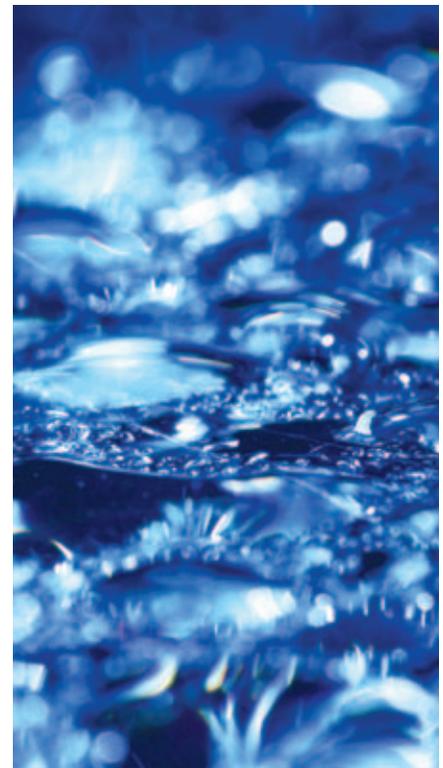
Fu y su equipo querían explotar una característica común a la mayoría de los tipos de células cancerosas que otros investigadores han reportado: las células cancerosas se adhieren preferentemente a las superficies ásperas. Los científicos prepararon placas de vidrio rugoso bombardeando la superficie con iones cargados. Los materiales se evaluaron como porta objetos de sangre sana y con diferentes concentraciones de células cancerígenas. Se pudo captar hasta 95 por ciento de las células cancerosas. Las células cancerosas se adhirieron aproximadamente cien veces más fuerte a las superficies rugosas que a las superficies lisas. *ACS Nano*, DOI: 10.1021/nn304719q.

Baterías de óxido de sodio recargables a temperatura ambiente

En la búsqueda de baterías recargables a temperatura ambiente, las baterías metal-oxígeno se consideran particularmente atractivas. El oxígeno atmosférico se utiliza para formar óxidos durante la descarga, el cual idealmente se

descompone reversiblemente durante la carga. Mucho trabajo se ha centrado en celdas Li-O_2 principalmente con electrolitos base de carbonato y Li_2O_2 como un producto potencial. De hecho, recientemente se reportó la evidencia de que las celdas Li-O_2 sufren descomposición electrolítica irreversible. Hartmann y sus colaboradores reportan por primera vez una celda Na-O_2 que reversiblemente descarga /carga en sobrepotenciales muy bajos (<200 mV) y densidades de corriente tan alta como 0.2 mAcm^{-2} . Esto se logró utilizando un cátodo de carbono puro, sin agregar catalizador. El superóxido de sodio cristalino (NaO_2) se forma como un producto de descarga, en una etapa de transferencia electrónica. Este trabajo demuestra que la sustitución de litio por sodio puede ofrecer una ruta inesperada hacia baterías recargables de metal-oxígeno.

La eficiencia de carga de las celdas Na-O_2 es, al menos en el primer ciclo, de entre 80% y 90%. Aun cuando las celdas pueden





ser descargadas y cargadas varias veces, la capacidad absoluta disminuye con el número de ciclos. En la reacción de la celda, seguida por caracterización por DRX, se comprobó que la formación y descomposición de NaO_2 es al menos parcialmente reversible en varios ciclos. Los resultados de espectroscopia de masa electroquímicos indicaron que el O_2 es el único producto gaseoso liberado en la carga. *Nature Materials* (2012), DOI: doi:10.1038/nmat3486

Materiales aromáticos cristalinos para detectar explosivos

Se sintetizaron redes tridimensionales porosas con alta fluorescencia a partir del ensamble molecular de monómeros luminiscentes de tetra (4-dihidroxi-boril fenil) germanio (TBPGGe). La red porosa, nombrada PAF-14, fue altamente cristalina y con una área específica muy grande, $1288\text{m}^2/\text{g}$. El PAF-14 presentó una alta fluorescencia cuando estuvo en presencia de explosivos peligrosos, tales como nitrobenzeno, 2,4-DNT (2,4-di-nitro tolueno) y TNT (2,4,6-tri-nitro tolueno).

La alta fluorescencia fue el resultado combinado de la introducción del germanio en la red porosa y de la cristalinidad del material. Por un lado, la introducción del germanio en la red de PAF-14 conduce a bajos potenciales de reducción y bajos orbitales LUMO, esto debido a la conjugación $\sigma^*-\pi^*$ que se produce de la interacción entre los orbitales σ^* del germanio y de los orbitales π^* de los anillos fenil. La deslocalización electrónica en el esqueleto polimérico cristalino suministra un medio de amplificación debido a que la interacción de una molécula analito en un sitio puede producir un estado excitado o excitón deslocalizado a través de la red. La producción cuántica absoluta de fluorescencia fue 37.53% in CH_2Cl_2 a 25°C . Los electrones p deslocalizados incrementaron la interacción entre PAF-14 y diferentes analitos. El espectro fotoluminiscente de PAF-14 dispersado uniformemente en CHCl_3 mostró un máximo de emisión a 371 nm.

Después de la adición de nitro benceno, 2,4-DNT y TNT en diferentes concentra-



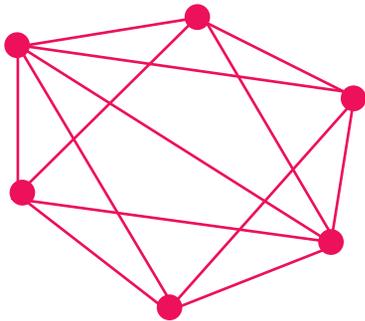
ciones, se observó muy alta luminiscencia para PAF-14, la cual fue mucho más significativa que la observada en otras estructuras metal-orgánicas antes evaluadas en este mismo contexto (MOF-156 y Zn(II)-MOF). La alta luminiscencia se explicó por la interacción entre las especies receptoras y huéspedes. La alta cantidad de grupos donadores de electrones con electrones π deslocalizados facilita la interacción electrostática entre PAF-14 y compuestos deficientes en electrones. Entre los sensores basados en materiales porosos, el PAF-14 es el mejor actualmente para detectar los tres explosivos evaluados. *J. Mater. Chem.* (2012), 22, 24558.

El universo podría ser un gran cristal

La noción de que el espacio-tiempo se origina a partir de una repentina materialización de un estado amorfo fue propuesta por físicos del Canada's Perimeter Institute University of Waterloo en 2008. La teoría denominada quantum graphity sostiene que la geometría cuádrimensional del espacio, propuesta por Einstein



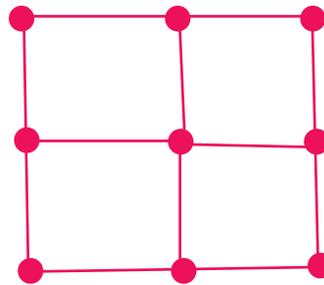
Inicialmente el universo estaba caliente



Universo amorfo

podría interpretarse, a escala de Planck, como una red formada por ladrillos de espacio-tiempo semejantes a un cristal en el cual los ladrillos son los átomos. De acuerdo con esta teoría el espacio está hecho de entes indivisibles parecidos a los píxeles de una pantalla de computadora. En su artículo T. Konopa y sus colaboradores, publicado en *Phys. Rev. D* 77 104029 (2008), proponen una estructura del espacio basada en conceptos de la materia condensada. A altas temperaturas, existe una fase desordenada. En la fase de bajas temperaturas, el sistema se ordena de tal forma que puede ser descrito en términos de campos de un espacio-tiempo de bajas dimensiones con

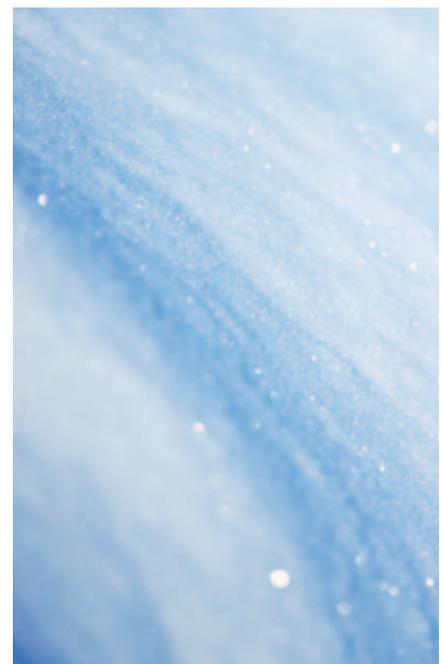
Un tiempo más tarde se enfrió



Universo cristalino



ría; cuando el agua se solidifica, forma un cristal con cierto contenido de grietas. De acuerdo con Quach, la luz y otras partículas pueden curvar su trayectoria o reflejarse en estos defectos. Quach y sus colegas han calculado algunos de estos defectos y si sus resultados son verificados experimentalmente quedaría la interrogante de si el espacio es un continuo o está formado por entes indivisibles (¿bosones de Higgs?) formando un arreglo cristalino. El inicio del universo podría ser modelado no como un big-bang, sino como algo más parecido a la solidificación del agua.



FE DE ERRATAS del artículo: "Grafeno: un material con potencial para la tecnología electrónica del futuro", Claudia Bautista Flores, José Luis Benítez Benítez y Doroteo Mendoza López, *Materiales Avanzados*, 2012, Núm. 19, pp. 4-10.

- 1.- En la Figura 3 se repite el inciso b) en lugar del inciso d), la S insertada debe ser mayúscula.
- 2.- En la Figura 5 falta el inciso b) para señalar las muestras obtenidas por CVD.
- 3.- En la figura 9 en la parte b) el exponente del Voltaje debe ser 3/2, tal como aparece en el pie de figura y dentro del texto.

La versión corregida se puede ver en la versión digital de la revista.

métrica que obedece las ecuaciones Einstein.

Basándose en estas ideas, un grupo de físicos australianos (James Quach, *Physical Review D* 86, 044001, 2012) proponen que el universo era como un líquido que al solidificarse se cristalizó formando el universo conocido, con tres dimensiones espaciales y una temporal. Suponiendo esto esperaríamos que durante la solidificación, se formarían grietas, similares a las que se forman cuando el agua se transforma en hielo. Aquí de nuevo interviene una analogía con los cambios de estado observados en la mate-



XVIII CERTAMEN



MEJOR TESIS DOCTORAL PREMIO IIM-UNAM 2013

Con la finalidad de impulsar y premiar la formación de recursos humanos de alta calidad en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM convoca a los egresados de doctorado a participar en la XVIII Edición del Certamen Anual a la mejor tesis doctoral en el área de

CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES

REQUISITOS:

1. Son elegibles aquellas tesis doctorales que se hayan defendido del 1 de junio de 2011 al 31 de mayo de 2013 y no se hayan presentado en certámenes anteriores.
2. Los autores podrán ser mexicanos o extranjeros, con edad máxima de 34 años al cierre de esta convocatoria.
 - Los autores mexicanos podrán haber obtenido su grado en cualquier universidad del mundo.
 - Los autores extranjeros deberán haber obtenido el grado de doctor en una institución educativa mexicana.
3. El trabajo de tesis deberá haber sido publicado en alguna revista científica de reconocido prestigio internacional.
4. La tesis deberá estar escrita en español, inglés o francés o traducida a cualquiera de estos idiomas.

PREMIO:

El premio consiste en un diploma y un pago en efectivo para los galardonados.

- Al autor de la tesis se le otorga un monto de 25 veces el salario mínimo mensual vigente en el Distrito Federal.
- Al director de la tesis se le otorga un monto de 10 veces el salario mínimo mensual vigente en el Distrito Federal.

El premio para el director de la tesis se otorga únicamente si éste está o estuvo adscrito, durante la dirección de la tesis, en una institución educativa o de investigación mexicana donde el estudiante realizó su trabajo de tesis.

De acuerdo al jurado calificador se pueden otorgar menciones honoríficas a los trabajos más sobresalientes.

JURADO:

El comité organizador del XVIII Edición del Certamen Anual a la Mejor Tesis Doctoral 2013 designará al jurado calificador y lo dará a conocer junto con el dictamen del certamen. Este jurado estará integrado por miembros prominentes de la comunidad científica mexicana.

PUBLICACIÓN DE RESULTADOS:

Los resultados serán publicados a más tardar en diciembre de 2013, en Gaceta UNAM y en un periódico de circulación nacional.

CONSIDERACIONES GENERALES:

1. Los resultados del dictamen son inapelables.
2. A consideración del jurado calificador el premio se puede declarar desierto.
3. Sólo participarán en la XVIII Edición del Certamen Anual a la Mejor Tesis Doctoral en el Área de Ciencia e Ingeniería de Materiales los candidatos que cumplan con todos los requisitos a la fecha del cierre de la convocatoria.
4. Cualquier situación no contemplada en esta convocatoria será resuelta por el jurado calificador.

DOCUMENTACIÓN:

1. Una copia de la tesis impresa y en formato electrónico (pdf).
2. Copia del título o del examen de grado.
3. Currícula Vitae del autor y director de la tesis impreso y formato pdf.
4. Copia del documento legal que demuestre la edad del autor de la tesis.
5. Los sobretiros de las publicaciones y/o copia del trámite de patente(s) que prueben la información del Curriculum Vitae del autor y copia en formato pdf.
6. Un escrito del autor de la tesis en el que justifique que su tesis es del área de Ciencia e Ingeniería de Materiales y manifieste los méritos de la misma para participar en el concurso, en impreso y copia en formato pdf.
7. Un resumen de cuatro cuartillas exponiendo la relevancia científica o tecnológica del trabajo dentro del campo del conocimiento en el que desarrolla la tesis, en impreso y en formato pdf.
8. Un resumen de la tesis de una cuartilla para que, en caso de ser premiado, sea publicado en la revista Materiales Avanzados en impreso y copia en formato pdf.
9. Carta firmada por el autor de la tesis solicitando al comité organizador la inscripción de la tesis al certamen.
10. Copia de adscripción, cuando el director de la tesis sea de una institución mexicana de educación superior o de investigación externa a la UNAM.

Mayor Información e Inscripciones

La fecha límite para la recepción de los documentos será el **31 de mayo de 2013**, fecha de cierre de la convocatoria, en las oficinas de la **Coordinación de Formación de Recursos Humanos del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM**,

Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F.

Dra. Elizabeth Chavira Martínez.

Teléfono 5622-4720; Fax 5616-0754;

Correo electrónico cfriim@unam.mx

UNAM POSGRADO

Ciencias e Ingeniería de Materiales



Universidad Nacional Autónoma de México
Convoca a los aspirantes a ingresar al Doctorado o Maestría
en Ciencia e Ingeniería de Materiales (Programas
de nivel de Competencia Internacional del CONACyT)
Semestre Escolar 2014-1
(del 5 de agosto al 22 de noviembre, 2013)
El Posgrado cuenta con áreas de conocimiento en materiales:
cerámicos, complejos, electrónicos, metálicos y poliméricos

Sedes:

- Ciudad Universitaria, Distrito Federal pceim@www.posgrado.unam.mx
- Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ensenada, B.C. olaf@cnyun.unam.mx
- Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Campus Juriquilla, Qro. oca@fata.unam.mx
- Centro de Investigación en Energía, Temixco, Morelos. posgrado@cie.unam.mx

CALENDARIO

Inscripción a cursos propedéuticos: **21 de enero al 8 de febrero, 2013**

(presentar copia de la historia académica)

Cursos propedéuticos**: **18 de febrero al 17 de mayo de 2013**

Exámenes de admisión: **Fechas tentativas 29 y 30 de mayo**

** Temas de Propedéuticos: **Introducción a la Ciencia de Materiales, Física Moderna, Química y Termodinámica, Matemáticas**

REGISTRO DE ASPIRANTES:

Instituto de Investigaciones en Materiales

Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-360, Coyoacán, 04530, México, D. F.

Tels: 56224731, Fax: 56224730 pceim@posgrado.unam.mx

Convocatoria en la página web: www.posgrado.unam.mx/pceim

Reseña histórica del Instituto de Investigaciones en Materiales

Guillermo Aguilar Sahagún,* IIM-UNAM.

Introducción

El comité editorial de nuestra revista *Materiales Avanzados* me ha encomendado escribir unas líneas que den cuenta de los 45 años de vida del Instituto, tomando en cuenta que fui su director durante diez años. Después de agradecer esta distinción, he aceptado gustoso y me he dado a la tarea de redactar esta reseña histórica del IIM. Para evitar, en la medida de lo posible, errores de omisión, tomé la determinación de mencionar sólo los nombres que me resultaran absolutamente indispensables, habida cuenta de que en un relato de esta naturaleza todos, absolutamente todos los que han participado, son elementos fundamentales para llegar, como institución, a esta fecha. Ofrezco una disculpa, pero es imposible mencionarlos uno por uno; mientras, espero la oportunidad de escribir con detalle la historia de nuestro Instituto.

Por otra parte, me he fijado como objetivo que este artículo satisfaga la curiosidad que pudieran tener las nuevas generaciones de miembros del IIM sobre la evolución de la que es, desde el punto de vista de tiempo de permanencia, su casa. Las omisiones, que seguramente habrá, han sido totalmente involuntarias y de mi total responsabilidad.

Del nacimiento y primeros pasos

El primero de febrero de 1967 es una fecha significativa para el subsistema de la investigación científica y por ende para la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en esa fecha se registra la creación del Centro de Materiales (CM) y del Laboratorio Nuclear (antecesor del actual Instituto de Ciencias Nucleares).

Mientras que el primero nació en el noveno piso de la Torre de Ciencias (actual Torre II de Humanidades) en un par de cubículos prestados por el Instituto de Física, el segundo lo hizo en el piso 14 de la misma torre. El CM contaba con dos investigadores comisionados, uno del Instituto de Ingeniería y el otro del Instituto de Física. Ese primer año no tuvo presupuesto asignado.

Dos años más tarde (1969) el Laboratorio Nuclear, por acuerdo del entonces rector, Javier Barros Sierra, pasó a ser parte del Centro de Materiales (CM), pero en 1971 se convirtieron en dos organismos con partidas presupuestales, personal y decisiones propias, ambos subordinados a la Coordinación de la Investigación Científica.

Al año siguiente el Laboratorio Nuclear tomó el nombre de



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.



Pedro Bosch, *Italia*,
fotografía, 2011.

Centro de Estudios Nucleares (CEN), y el Centro de Materiales pasó a ser el Centro de Investigación de Materiales (CIM).

El primer director del Centro de Materiales fue el doctor José Antonio Nieto Ramírez, ingeniero de profesión y con un gran interés por los avances tecnológicos y sus aplicaciones para la solución de los problemas nacionales. Su entusiasmo, sumado al del maestro en ciencia Luis Gálvez Cruz —que fue director fundador del CEN— y al apoyo del doctor Emilio Rosenblueth, Coordinador de la Investigación Científica, llevaron al rector Barros Sierra al convencimiento de la creación del Centro de Materiales.

Los primeros años del Centro fueron sumamente difíciles. Durante el primer año careció de presupuesto y los que le siguieron se dedicaron principalmente a crear la infraestructura humana y material que luego permitiría emprender el trabajo científico y técnico. Los lineamientos de su creación fueron: *a)* deberá ser un centro interdisciplinario en el que participen investigadores egresados de las Facultades de Ciencias, Química e Ingeniería, principalmente; *b)* deberá llevar a cabo investigación en todos los niveles: desde las fronteras del conocimiento, en sus aspectos más puros, hasta el desarrollo del *know how* tecnológico en la Ciencia de los Materiales; *c)* deberá unir las labores de investigación y desarrollo a las de formación de especialistas, sobre todo a nivel de posgrado; *d)* deberá servir de apoyo y colaborar con dependencias universitarias dedicadas a actividades afines, y *e)* deberá establecer relaciones con instituciones extrauniversitarias para el desarrollo de sus proyectos y la consecución de sus objetivos.

El ritmo de su crecimiento, por lo que a personal se refiere, fue el siguiente: en 1967 se integraron al plantel un total de cinco investigadores y concluyeron sus tesis dos estudiantes; en 1968 se integraron cuatro investigadores y se graduaron ocho estudiantes; en 1969 se incorporaron cinco investigadores y se titularon diez estudiantes; en 1970 sólo se incorporó un investigador y terminaron su tesis cuatro estudiantes, y en 1971 se incorporaron cinco investigadores y concluyeron sus tesis siete estudiantes.

El Centro de Materiales nació en el noveno piso de la Torre de Ciencias

En marzo de 1971 el doctor José Antonio Nieto, director fundador del Centro, renunció y fue nombrado en su lugar el doctor Juan Antonio Careaga quien, tomando en cuenta los grupos de trabajo que se habían formado durante los primeros años, tomó la decisión de organizar el Centro en seis departamentos académicos y una unidad de apoyo a la investigación, que coordinara las labores de biblioteca, talleres y almacén.

Fluidos, metalurgia, polímeros, temperaturas bajas, termoingeniería y láseres fueron los departamentos académicos que tenían entre sus funciones realizar investigación, capacita-



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.

ción de personal y asesoría y asistencia técnica. Así se planeaba dar cumplimiento cabal a las funciones con las que fue creado el Centro y que, palabras más palabras menos, nos rigen hasta la fecha.

Los departamentos académicos se integraron teniendo en cuenta la afinidad de las actividades que realizaban los distintos investigadores, y contemplaba la posibilidad de lograr el concurso de los investigadores ante la necesidad de realizar un proyecto determinado o una investigación interdisciplinaria.

Durante 1971 se instaló y puso en funcionamiento, en un local de apenas 100 m², nuestro primer licuefactor de helio (el primero en el país). Así se pudieron realizar las primeras investigaciones del Departamento de Temperaturas Bajas y el entonces Centro tuvo su primer espacio propio, que fue la planta baja del edificio de criogenia, con una superficie de 450 m², en donde se alojaron todos los investigadores. Sin embargo aún se tenían serias limitaciones, pues prácticamente se carecía de biblioteca, de salones para seminarios y de espacios para personal administrativo y de dirección.

El CEN instaló el primer licuefactor de helio para estudiar bajas temperaturas

No obstante, el Centro tomó el sendero del crecimiento y con el apoyo y colaboración de varias entidades universitarias y extrauniversitarias intensificó su labor docente y llevó a su graduación a varios estudiantes de licenciatura y otros más de maestría; para finales de 1971 ya eran cuatro los graduados en este nivel, cabe mencionar que algunos de ellos aún son parte del Instituto.

Para finales de 1972 el Centro había adoptado una estructu-



Pedro Bosch, Italia, fotografía, 2011.

ra matricial —tres departamentos y tres áreas— que facilitaba la realización de sus funciones. El personal académico (investigadores, ayudantes de investigador y un técnico académico) en total 59 personas, se distribuyeron de la siguiente manera: 21 en el Departamento de Ciencia de Materiales, 19 en el Departamento de Tecnología de Materiales y 19 en el Departamento de Desarrollo Industrial de Materiales. Las áreas fueron las de materiales poliméricos, materiales metálicos y cerámicos, y materiales y procesos para sistemas de energía. En la práctica funcionaban cuatro áreas, ya que temperaturas bajas, que había sido uno de los temas pioneros en el Centro, tenía expresiones en los tres departamentos, pues se cultivaban líneas de investigación tanto en Ciencia de Materiales como en Tecnología y en el Desarrollo Industrial de Materiales. Fueron los años de lucha por una identidad.



Pedro Bosch,
Tienda de pasta,
Italia, fotografía,
2011.

En este periodo el Centro creció en infraestructura física y equipamiento, al punto de llegar a cuatro edificios con doce laboratorios, 40 cubículos, los talleres, el local para la planta piloto y el edificio del licuefactor. Se adquirió el microscopio electrónico JEM-200B, un cromatógrafo de líquidos ALC/GPC, un espectrofotómetro de absorción atómica y uno infrarrojo, así como una máquina universal de pruebas Instron, entre otros equipos.

El Centro tenía cuatro edificios con doce laboratorios, cuando adquirió un microscopio electrónico y un cromatógrafo de líquidos, entre otros equipos

En el ámbito de la vida universitaria en su conjunto, y en particular dentro de la Coordinación de la Investigación Científica, dirigida entonces por el doctor Guillermo Soberón Acevedo —más tarde rector de nuestra casa de estudios— cabe destacar que también fue creado el Centro de Instrumentos (actual Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Cecadet) el 15 de diciembre de 1971, que inicialmente se alojó en el octavo piso de la Torre II de Humanidades y una vez que el Centro de Investigación de Materiales contó con sus primeras instalaciones se trasladó a éstas, en las que permaneció hasta 1975. Los años siguientes fueron de consolidación franca del Centro. Sus talleres mecánicos, de carpintería y vidrio funcionaban cada día mejor y cubrían las necesidades planteadas por el personal académico. Ya se contaba con un torno de 2 m entre puntos y otro de 1.5, una roladora, máquinas de soldar por arco y argón, una fresadora universal, un trompo para madera y un torno para vidrio, entre otros equipos. Los laboratorios de investigación se veían cada vez mejor equipados y el personal académico incrementaba su capacidad. Así, para 1978 se tuvieron becados y terminaron sus estudios de doctorado diez miembros del personal académico. La labor docente de los miembros del personal académico del Centro también se incrementó y cubría las facultades de Ciencias, Química e Ingeniería tanto en licenciatura como en maestría. La participación de los académicos en congresos y otros actos internacionales también aumentaba.

De Centro a Instituto

De relevancia particular fue la aprobación (1975) por parte del Consejo Universitario de la maestría en Física de Materiales en la Facultad de Ciencias, en la que la participación de los investigadores del Centro fue fundamental.

El regreso y reincorporación de algunos de los que habían estado becados y la consolidación de la formación de otros académicos que obtuvieron sus doctorados tuvo como consecuen-

cia que se realizaran publicaciones, se obtuvieran patentes y se ofrecieran servicios de gran calidad; su influencia en la formación de recursos humanos (170 tesis dirigidas) y un gran esfuerzo de todo el personal coordinado por el doctor Jorge Richards (director de 1976 a 1982) dio como resultado que, el 21 de noviembre de 1979, el Centro de Investigación de Materiales se convirtiera en el actual Instituto de Investigaciones en Materiales. Para entonces, y por cuanto a infraestructura física

se refiere, había crecido muchísimo y, de aquel par de cubículos en el noveno piso, ahora tenía cuatro edificios con una superficie construida de 4336 m² en los que se alojaban los cuatro departamentos académicos, cuatro talleres, un almacén, las oficinas administrativas y de dirección, un salón de seminarios y una sala de conferencias con cupo para 75 personas.

Con ese nuevo carácter se volvió a la estructura departamental por áreas temáticas. Los nuevos departamentos fueron: Materiales Metálicos y Cerámicos, Polímeros, Física de Materiales a Bajas Temperaturas y Energía Solar.

Ante la insistencia de muchos de los académicos se realizaron, a partir de 1980, las Reuniones de Invierno sobre bajas temperaturas, que se prolongaron hasta 1984 y se insertaron en



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.

una organización que funcionaba desde hacía varios años con el nombre genérico de Reuniones de Invierno, ya que las había de física nuclear, física estadística, etc.; por celebrarse siempre en Cocoyoc, también se conocieron por Reuniones de Invierno de Cocoyoc; algunas de ellas continúan.

Las Reuniones de Invierno se celebraron entre 1980 y 1984

En 1981, con fondos de la Organización de Estados Americanos (OEA) y del IIM se adquirió el microscopio electrónico JEOL-T20, y en 1983 con fondos de la OEA se compró su platina de tensión. De 1984 a 1989, ya durante mi gestión (1982 a 1988), continuaron dichas reuniones con periodicidad anual, pero con el nombre de Reuniones del IIM para dedicarlas a todos los temas cultivados en el Instituto; desde entonces se celebran en diversos lugares. Las reuniones de 1986 y 1987 fueron particularmente relevantes debido al descubrimiento de la superconductividad de alta temperatura de transición. La superconductividad era uno de los temas más añejos en el IIM, de tal suerte que para obtener las muestras cerámicas que presentaban tal temperatura de transición, poder caracterizarlas y reproducir el fenómeno, se contaba con la experiencia y equipamiento necesarios. Así, fue inmediato para nuestros investigadores reproducir el fenómeno y fueron los primeros en conseguirlo en nuestro país.

Eran días emocionantes y los investigadores del tema trabajaban las 24 horas para obtener las muestras, caracterizarlas, medirlas, etc. Este grupo alcanzó reconocimiento internacional, que se tradujo en cierta facilidad para invitar profesores de renombre y poder realizar las Reuniones del IIM con gran éxito y más ponentes.

En 1985 se adquirió el microscopio de transmisión y barrido, JEOL1200fx, equipado con espectrómetro EDS, EELS y platinas de tensión y calefacción, y en 1987, con fondos de un proyecto de Conacyt, se adquirió la laminadora.

El IIM se descentraliza

Después de una labor muy intensa por parte de los investigadores del Departamento de Energía Solar, la construcción de sus nuevas instalaciones, ubicadas en la población de Temixco, Morelos, quedaron habitables, y a principios de 1985 se trasladaron para también cambiar su nombre por el de Laboratorio de Energía Solar del Instituto de Investigaciones en Materiales. Al año siguiente se creó la maestría en energía solar, con las opciones de fototérmica y fotovoltaica, y la especialización en heliodiseño, dentro del esquema de los posgrados del Colegio de Ciencias y Humanidades, cuya sede es el Laboratorio de Energía Solar.

Otro cambio de nombre para ajustarse más a las líneas de investigación que se cultivaban fue el del Departamento de Física de Materiales a Bajas Temperaturas que pasó a ser el de Departamento de Estado Sólido y Criogenia a partir de 1986. En 1988, en colaboración de la Facultad de Ciencias, la maes-



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.



Pedro Bosch, *Italia*,
fotografía, 2011.

tría en física de materiales se convirtió en maestría en ciencias, y se creó el doctorado en ciencias.

Por cuanto a la vinculación con el sector productivo, fueron varias las acciones emprendidas en este periodo, de las que cabe destacar el desarrollo de la aleación zinalco, el desarrollo y transferencia de tecnología al Grupo Reto, que produce prótesis mamarias para uso externo, y el establecimiento en el IIM del primer núcleo de desarrollo tecnológico mediante un convenio con el Centro para la Innovación Tecnológica de la UNAM. A punto de terminar esta gestión se le otorgaron al Instituto recursos que sirvieron de base para constituir un fideicomiso que permitió flexibilidad de gestión.

La biblioteca del IIM, que entonces contaba con alrededor de 4000 volúmenes, un poco más de 3000 revistas de 170 títulos, se encontraba en la unidad de bibliotecas de investigación científica y presentaba serias dificultades para las consultas, sobre todo en temporadas de lluvias, por lo que era urgente construir un edificio.

El crecimiento explosivo

El doctor Ariel Alberto Valladares Clemente, uno de los investigadores pioneros de aquel Centro de Materiales del noveno piso, fue director del Instituto entre 1988 y 1996. Entonces se llevó a cabo la formalización de un convenio con el grupo Condux para la formación de recursos humanos a nivel de posgrado. Con este novedoso esquema, se brindaba apoyo económico suficiente a los estudiantes que satisficieran ciertos requisitos, entre los que estaba dedicar tiempo completo y exclusivo a los estudios, con la posibilidad de incorporarse al término exitoso y oportuno de éstos a alguna de las empresas del grupo o al mismo Instituto.

De esta iniciativa se desprendió un programa de becas muy interesante en dos vertientes: la primera para atraer a los mejores estudiantes de licenciaturas afines a la Ciencia e Ingeniería

de Materiales, llamada Becas para tesis de licenciatura IIM-UNAM, y la otra, iniciada en 1993, denominada Estancias Intersemestrales, en la que se invitaba a todos los alumnos que cumplieran con determinados requisitos a participar en estancias de uno o dos meses en proyectos de investigación del Instituto, con un estímulo económico cuyo propósito era motivar su interés en las áreas de estudio existentes. Para 1996 el Instituto alcanzó un total de 239 estudiantes asociados, de estancias intersemestrales, servicio social, de licenciatura y de posgrado, incluyendo los becarios.

El IIM está vinculado con el sector productivo y patenta sus descubrimientos

De importancia fundamental para el desarrollo del Instituto que hoy conocemos fue el incremento de los apoyos brindados por Pemex a la UNAM y la gestión que a la luz de este apoyo realizó el IIM. Estos recursos, sumados a un cuantioso apoyo del Conacyt y la Rectoría de la UNAM, hicieron posible reforzar el equipamiento y planear la tan anhelada como necesaria construcción de la biblioteca, cuya edificación comenzó el primero de febrero de 1991, para conmemorar el 25 aniversario de la fundación del Instituto. La biblioteca tiene 1203m² de construcción que albergan, en la planta baja, las oficinas para el personal de administración y una nave para libros de aproximadamente 300m², la planta alta se destinó inicialmente a las estanterías para guardar las suscripciones periódicas. En total la biblioteca cuenta con diez salas para estudio y una videoteca. Adicionalmente, el Instituto se vio beneficiado por el financiamiento brindado en 1996 por el Conacyt para el desarrollo de un proyecto destinado al fortalecimiento de la infraestructura



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.

de la biblioteca, en Ciudad Universitaria. Por su parte, la construcción del auditorio cubre en una superficie de 213 m² y tiene aforo para 183 personas sentadas en butacas y con sillas adicionales ha llegado a albergar a 220 personas sentadas. Cuenta con equipos de proyección, sonido, aire acondicionado y cámara de video para conferencias y se emplea para realizar reuniones académicas. Esta sala incluso se ha utilizado para conciertos y espectáculos teatrales, como ocurrió en octubre de 2012 durante el día de Puertas abiertas del IIM.

En 1996 se instituyó el premio IIM-UNAM a la mejor tesis doctoral en el área de Ciencias e Ingeniería de Materiales, certamen que vivió su decimosexta edición el pasado mes de agosto de 2012.

Por lo que se refiere a fuentes internacionales de financiamiento, cabe mencionar el apoyo recibido de la OEA para el desarrollo de dos proyectos de investigación, el otorgado por el Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS, por sus siglas en francés) de Francia, a través de un programa de colaboración con el Conacyt, para el desarrollo de un proyecto de investigación, otro mediante un programa de colaboración México-Cuba y otro firmado con la Comunidad Económica Europea.

Rumbo a la consolidación

Este periodo comienza en 1996, durante mi segunda gestión como director. El IIM había crecido mucho y presentaba nuevos retos para toda la comunidad. Pronto se obtuvieron respuestas y el 13 de noviembre de 1996 el Laboratorio de Energía Solar se transformó en el Centro de Investigación en Energía, con lo que el Instituto de Investigaciones en Materiales quedó organizado académicamente en tres departamentos: Metálicos y Cerámicos, Polímeros y Estado Sólido y Criogenia.

El IIM da un premio anual a la mejor tesis doctoral sobre materiales

En junio de 1997 se organizó un congreso para estudiantes con la idea de que presentaran el avance de los trabajos de investigación en los que estaban involucrados; la experiencia se extendió a otras dependencias e instituciones afines y se repitió el año siguiente; en 1999 cambió de nombre por el de Seminario de estudiantes del IIM.

El Instituto se vio inmerso en el movimiento generalizado de la UNAM consistente en la revisión y adecuación de los es-



Pedro Bosch, *Italia*, fotografía, 2011.

tudios de posgrado, cuyo resultado fue la emisión de un Reglamento de Estudios de Posgrado. Después de intensas jornadas de trabajo de buena parte del personal académico del IIM, en 1999 fue aprobado el posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, resultado de la adecuación de los programas de maestría y doctorado en ciencias (ciencia de materiales) de 1988.

A partir de 1998 y 1999 se retomaron las reuniones del Instituto con la denominación de Reunión de Invierno New Horizons in Materials Science y se realizaron en Juriquilla, Querétaro, con la asistencia de todo el personal académico del Instituto; las pláticas fueron impartidas por profesores invitados para propiciar la discusión como ejercicio prospectivo.

Ese año la UNAM se vio envuelta en un conflicto de grandes dimensiones; aunque el IIM nunca estuvo cerrado, en no pocas ocasiones sufrió las consecuencias. El clima de trabajo se vio muy afectado, el acceso era a pie y la inquietud campeaba por toda la Universidad. De hecho, las circunstancias por las que atravesó la UNAM en 1999 no permitieron que ese año se realizara el certamen para otorgar el Premio IIM a la mejor tesis doctoral en Ciencia de Materiales; por ese motivo, a finales de 2000 se entregó el premio considerando ambos periodos.

Para el año 2000, no obstante la situación prevaeciente en la UNAM, el Instituto continuó su línea ascendente. Durante ese año participó en la III Reunión de la Red Iberoamericana en Materiales Electrocerámicos y en las Jornadas de Actualización, en la Semana del Supercómputo 2000, Tecnología y Desarrollo en Clústers, el VIII International Materials Research Conference, el Symposium Computer Simulation of Materials, el XIII Congreso Nacional de Polímeros y el Curso de entrenamiento para el nuevo equipo de dispersión de luz multiángulo.



Pedro Bosch, Italia, fotografía, 2011.



Pedro Bosch, Italia, fotografía, 2011.

La mayoría de edad

A partir del 26 de septiembre de 2000 (y hasta 2008) la responsabilidad de la dirección del IIM recayó en Luis Enrique Sansores Cuevas, otro de los investigadores de los primeros años del Instituto. Su formación de posgrado la realizó con apoyo del propio Centro y se mantuvo siempre en contacto con la institución. Tan pronto tomó posesión como director se dio a la tarea de preparar la realización de la Escuela en Ciencia e Ingeniería de Materiales que se celebró en junio de 2001. Ese mismo año el IIM tuvo la satisfacción de la designación de Investigador Emérito de la UNAM al doctor Gabriel Torres Villaseñor, otro de los pioneros en el Centro de Materiales.

Aunado a la salida del Departamento de Energía Solar y al desarrollo propio del IIM, la estructura organizativa exigía una revisión y así, como conclusión de muchas horas de trabajo, el 19 de septiembre de 2001 el Consejo Interno aprobó el nuevo reglamento interno que le da al Instituto una estructura departamental con cuatro unidades: Departamento de Estado Sólido y Criogenia, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, Departamento de Polímeros y Departamento de Reología y Mecánica de Materiales.

En 2002 el Instituto cumplió 35 años y con tal motivo se organizaron, del primero de enero de 2002 al primero de enero de 2003 los Coloquios con motivo del XXXV aniversario del IIM. La participación de los académicos en eventos nacionales y en el extranjero se incrementó. Se volvió a organizar la Escuela en Ciencia e Ingeniería de Materiales, lo que constituyó el camino claro para establecer una tradición, que tanto bien les hace a las instituciones. Por ello merece mención especial la



Pedro Bosch, *Altar a Maradona, Italia, fotografía, 2011.*

organización de Puertas abiertas del IIM. La madurez del Instituto para esos momentos sugería ya la conveniencia de dar a conocer nuestra labor y difundir nuestros temas de estudio, por lo que se decidió publicar una revista periódica (dos veces al año) dirigida a alumnos, académicos y científicos de diversas ramas del conocimiento: *Materiales Avanzados*.

El crecimiento del Instituto tanto cuantitativa como cualitativamente era evidente. Sólo para dar una idea del significado de esta afirmación, baste con mencionar el inventario de recursos de cómputo a finales 2003: veinte estaciones de trabajo Sili-con graphics en distintas versiones, seis HP, cuatro Sun, cuatro clústers para un total de 60 procesadores y 282 computadoras personales; en equipo de impresión contábamos entonces con 84 equipos de diversas características.

Puertas abiertas del IMM ofrece la oportunidad de conocer nuestro trabajo

Desde el punto de vista cualitativo se puede mencionar que para esa misma fecha doce de nuestros investigadores fueron invitados a fungir como evaluadores en varios certámenes, nacionales y del extranjero, miembros de comités editoriales y sociedades científicas de relevancia y otros recibieron premios de gran importancia en el ámbito científico y tecnológico.

El crecimiento del Instituto ha impuesto la necesidad de

nuevas instalaciones y en respuesta y con el apoyo de la Rectoría se concluyó, en marzo de 2004, la construcción de la ampliación que se destinó a laboratorios en el edificio E, primer nivel, con lo cual se resolvió parte del problema de espacio.

Desde el punto de vista académico el IIM continuó su tendencia ascendente tanto en cantidad como en calidad en muchos rubros, como el número de artículos publicados, el factor de trascendencia de las revistas donde éstos se publican y los reconocimientos que la comunidad mundial ha hecho sobre la calidad al seleccionar en varias ocasiones artículos para incluirse en el *Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology* de la American Physical Society y el American Institute of Physics y otras más equivalentes según las especialidades.

Los investigadores del IIM tienen presencia en muchas publicaciones

En mayo de 2007, hubo una reunión de un comité creado ex profeso para revisar el desempeño del IIM y emitir las recomendaciones que considerara de importancia para su mejoría: renovar completamente los servicios de microscopía electrónica, reducir el número de líneas de investigación agrupándolas convenientemente y buscar una mayor interacción con las empresas e industrias del ramo de materiales para obtener mayores ingresos extraordinarios.



Pedro Bosch, *Italia, fotografía, 2011.*

Pedro Bosch,
Montevideo,
fotografía, 2012.



El Instituto interuniversitario

A partir del 30 de septiembre de 2008, la dirección del Instituto de Investigaciones en Materiales quedó a cargo del doctor Ricardo Vera Graziano, quien ingresó al Centro de Materiales recién creado éste y fue becario del Centro para realizar sus estudios de maestría y doctorado, de modo que es producto de los esfuerzos de la institución por formar recursos humanos de alto nivel.

Al inicio de su gestión el IIM tenía una situación de franca madurez; no obstante, existían retos importantes, sobre todo por la situación económica de la educación superior y la investigación del país de los últimos años. La escasez de plazas para investigadores era un gran escollo que había sido paliado con

podieron adquirir el microscopio electrónico de barrido modelo JSM-7600F, el equipo de nanomaquinado y deposición por haz de iones, FIB, modelo JEM-9320, la balanza termogravimétrica TGA modelo Q5000 IR y el analizador termomecánico TMA Q400 EM, que hoy están en instalaciones que fueron diseñadas y construidas al efecto.

El edificio que los alberga contempla ya espacio para crecimiento y constituye el Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica, un nuevo concepto de utilización de recursos universitarios de manera óptima, que ha requerido un enorme esfuerzo de negociación. Actualmente, nuestro Instituto cuenta también con varios laboratorios certificados que lo colocan como un apoyo confiable para la industria nacional.

El equipo más moderno del IIM: microscopio electrónico de barrido, equipo de nanomaquinado y deposición por haz de iones y analizador termomecánico

los recursos de los puestos posdoctorales que se habían creado.

Tanto por recomendación del comité que revisó el desempeño del IIM, como por propio convencimiento, se debía fortalecer la relación con los agentes externos en el ámbito académico y con el sector productivo. Como resultado de las acciones en esta dirección, en 2009 se había iniciado ya el proceso de registro de seis nuevas patentes, lo que marcaba un máximo en el progreso histórico del Instituto.

En esta línea de acción se emprendieron esfuerzos para reforzar la infraestructura para la investigación y se consiguió la aprobación del Proyecto Institucional para la Renovación de Infraestructura, convocado por el Conacyt, que contemplaba la adquisición de equipo moderno y actualizado para estudios de microscopía electrónica y análisis térmico. Así fue como se

El desarrollo de una institución de generación y aplicación del conocimiento como la nuestra tiene la particularidad de que la satisfacción de algunas de sus demandas acarrear otras que necesariamente deben resolverse para un avance armónico, y así fue como se tuvo que mejorar sustancialmente el servicio de red mediante la instalación del *backbone* de fibra óptica, para permitir el incremento de la velocidad de salida en el enlace de la red de datos de 100 Mbps a Gigabit, y unificar el enlace en la red instalando una conexión de fibra óptica de casi 300 metros entre los edificios A y E que da salida de Gigabit hacia RedUNAM.

El incremento de reconocimientos diversos a la labor y madurez del IIM fue evidente al obtener el primer lugar en el concurso de carteles Ciudad con Conectividad y Tecnología den-



Pedro Bosch, *Montevideo*, fotografía, 2012.

tro de la Semana de la Ciencia y la Tecnología 2010. Varios artículos de investigadores del Instituto han sido seleccionados por las revistas especializadas como los mejores en su área, la designación como investigador emérito de la UNAM del doctor Roberto Escudero Derat, quien también es investigador emérito del Sistema Nacional de Investigadores y que fue uno de los pioneros del Centro de Materiales.

Cabe destacar que hoy, en términos de artículos publicados, el IIM presenta un promedio anual de artículos por investigador de 2.4, que es superior al del promedio del área de las ciencias fisicomatemáticas (1.89). Resultado similar es el del promedio de graduados por nivel por investigador, el IIM presenta cifras superiores en su área de estudio de acuerdo con los si-

guientes datos (IIM/SIC): licenciatura (0.40/0.39), maestría (0.40/0.30) y doctorado (0.24/0.14)

Las comunidades académicas más destacadas se distinguen, entre otras cosas, por sus tradiciones y por ello nos debe llenar de satisfacción el Certamen a la mejor tesis doctoral en Ciencia e Ingeniería de Materiales, que en 2012 tuvo su XVI edición, la International Conference on Polymers and Advanced Materials POLYMAT 2011, que cumplió diez años bajo los auspicios del IIM y Puertas abiertas del IIM, que se celebra todos los años.

El promedio de egresados es superior al de otras instituciones

El acervo de nuestra biblioteca es de 19,537 libros, 211 suscripciones vigentes a revistas científicas y tecnológicas, 1239 tesis, diez bases de datos de información bibliográfica y hemerográfica (en CD-ROM), 373 disquetes, 395 CD-ROM y 73 videos.

Al escribir este artículo ha tomado posesión como directora del Instituto, para el periodo 2012-2016, la doctora Ana María Martínez Vázquez, a quien le deseamos el mayor de los éxitos en su gestión.

En este trayecto de 45 años, el Instituto de Investigaciones en Materiales ha contado para su desarrollo y desempeño con la colaboración del personal administrativo; confío en ser portador de una expresión de gratitud para ellos de parte de todo el personal académico del IIM.

*gaguilar@unam.mx



Pedro Bosch,
Montevideo,
fotografía, 2012.

El papel del IIM en el desarrollo de la microscopía electrónica en México

Gabriel Torres Villaseñor, IIM-UNAM.

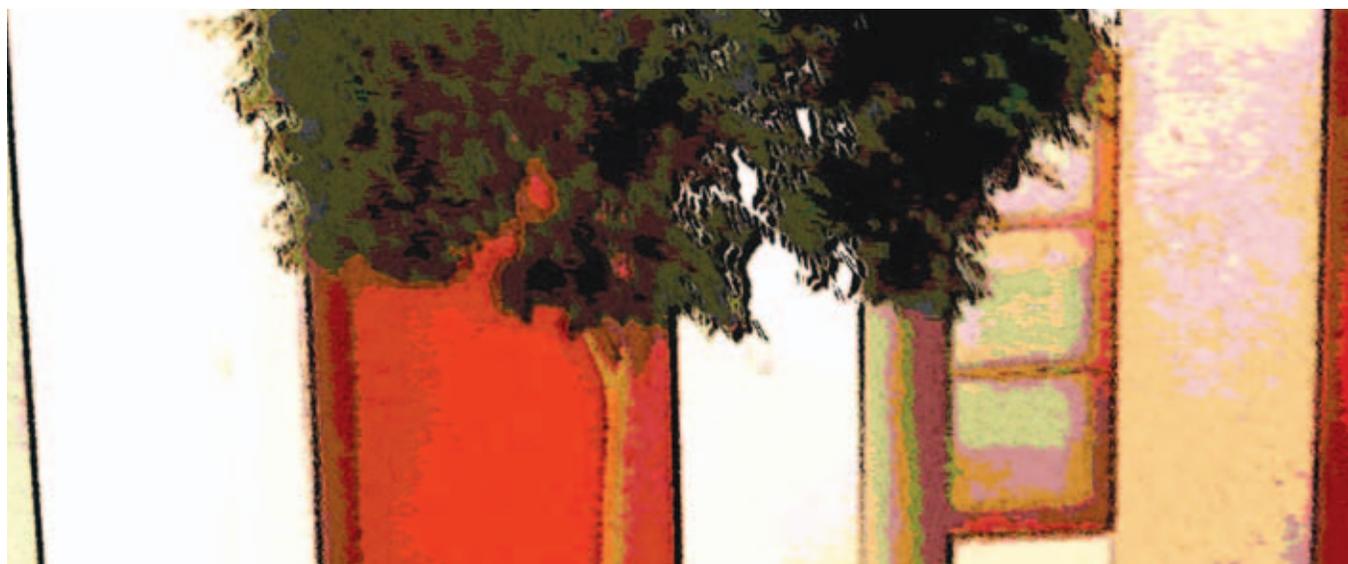
El microscopio electrónico y los instrumentos derivados del mismo son equipos que contribuyen a ampliar la investigación científica en las áreas biológicas, químicas y físicas; es decir, es un instrumento de uso multidisciplinario. El Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, consciente de la importancia de estos instrumentos, ha propuesto la creación de un Laboratorio Universitario de Microscopía Electrónica. Para su formación se ha tomado en cuenta el hecho de que contar con instrumentación adecuada en microscopía electrónica de transmisión, barrido y la espectrometría asociada, contribuirá al logro y expansión de los objetivos de investigación, docencia y servicios de la UNAM. Históricamente, las ciencias biológicas son las que más han usado el instrumento para obtener valiosa información, que ha permitido el conocimiento del origen de muchas enfermedades que aquejan al ser humano. En la ciencia de los materiales el instrumento es una herramienta que nos permite “ver” el interior de la materia y descubrir el origen de sus propiedades macroscópicas.

El laboratorio comenzó en el IIM en 2011, con el concurso de varias entidades de la UNAM y tiene como objetivos realizar investigación fundamental relacionada con microestructu-

ra y propiedades macroscópicas de materiales, así como determinar parámetros de procesamiento con el fin de desarrollar nuevos materiales. Paralelamente, ayudará a la preparación de nuevos científicos en la teoría y aplicación de microcaracterización por técnicas de óptica electrónica.

Las investigaciones en microscopía electrónica de transmisión en el IIM se remontan a sus inicios como Centro de Investigación en Materiales (CIM) en 1968. En su etapa inicial el centro se encontraba situado en las instalaciones del Instituto de Física (IF), con el que compartía equipos y oficinas. La primera publicación realizada por este centro fue una investigación en la que se utilizó microscopía electrónica de transmisión (*Acta Cryst.* 1968) (figura 1). Para dicho trabajo se empleó un microscopio Philips EM 100x propiedad del IF (figura 2) y tiene la peculiaridad de ser el primero en el ámbito nacional y posiblemente latinoamericano realizado con microscopía electrónica en el campo de la ciencia de materiales.

En el campo de la biología existen antecedentes en México de la microscopía electrónica en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, en donde el maestro Nicolás Aguilera Herrera, en 1946, inició sus trabajos en un microscopio RCA



María Ruiz, *Mi árbol*, fotografía, 2012.

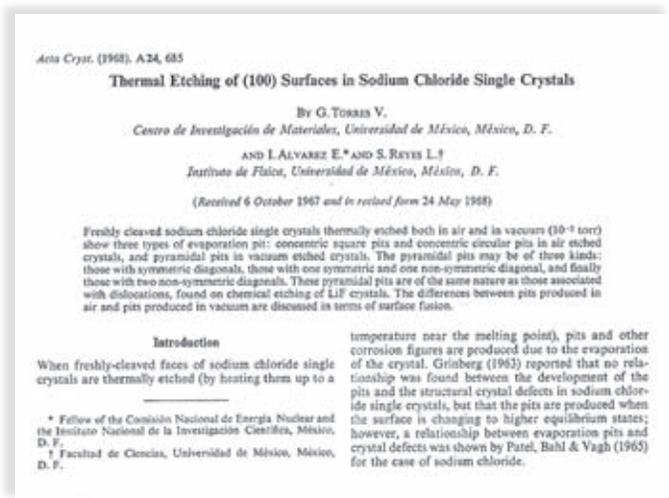


Figura 1. Primer artículo internacional publicado con el nombre del Centro de Investigación en Materiales y primera investigación en México en ciencia de materiales en la que se usó microscopía electrónica.

con voltaje de aceleración de 30 kV, una resolución de 10 nm y una amplificación máxima de 5000x. Las fotografías requerían una exposición de media hora. En 1950 el doctor Jorge González Ramírez, con microscopio de mayor resolución y 50 kV de aceleración, realizó por primera vez trabajos que culminaron en publicaciones referentes a la aplicación del cultivo de tejidos. El microscopio que usó estaba en el Instituto de Estudios Médicos y Biológicos del IPN. El ya doctorado Nicolás Aguilera fundó en 1958 el laboratorio de microscopía electrónica en la Facultad de Ciencias de la UNAM, en el Departamento de Biología, y fue nombrado profesor emérito en 1995.

En 1975 el CIM adquirió el primer microscopio de alta tensión (200 kV) de América Latina. En 1987 fue adquirido un microscopio JEOL 1200fx, que combina barrido con transmisión (STEM), que aún se encuentra en operación en el IIM. Con estos equipos se han realizado investigaciones cuyos resultados aparecen en alrededor de 80 artículos en la esfera internacional, y casi 40 tesis de doctorado, maestría y licenciatura;

lo más importante es que se iniciaron las investigaciones en microscopía electrónica por transmisión gracias a la preparación de los primeros investigadores en este campo, quienes a su vez prepararon a otros investigadores al grado de que hoy la microscopía electrónica por transmisión es una herramienta común en varias universidades del país. Actualmente existen más de 300 microscopios electrónicos en el país.

El microscopio electrónico del IIM es de barrido y transmisión

En 2013 se tiene planeada la instalación de un microscopio JEOL-JEM-ARM200F con corrector de aberración esférica en la lente condensadora, que contará con espectrómetros EELS y EDS. El alineamiento del microscopio tanto en el modo TEM como STEM se hará a 80, 120 y 200 KV. Este microscopio, uno de los más avanzados del mundo, con un poder de resolución de 0.1 nm, permitirá la caracterización de todo tipo de materiales, como semiconductores, superconductores, aleaciones, polímeros, catalizadores y materiales compuestos. Este microscopio se añadirá a los ya existentes: microscopios de barrido JEOL 7600F y JEOL T20 equipado con platina de tensión y de calentamiento hasta 800° C, un STEM JEOL-1200 y un microscopio de fuerza atómica JEOL-JSPM-4200.

La microscopía electrónica en América Latina

Al igual que en México, la microscopía electrónica se comenzó a desarrollar en el resto de América Latina como una rama de la medicina. En Venezuela la microscopía electrónica empezó a utilizarse en el Instituto Venezolano de Neurología e Investigaciones Neurológicas entre 1954 y 1958, con la importación de un ultramicroscopio RCA y dos Siemens. El iniciador de estos estudios fue el doctor Humberto Fernández Morán. En Costa Rica, en 1974 se fundó la Unidad de Microscopía Electrónica

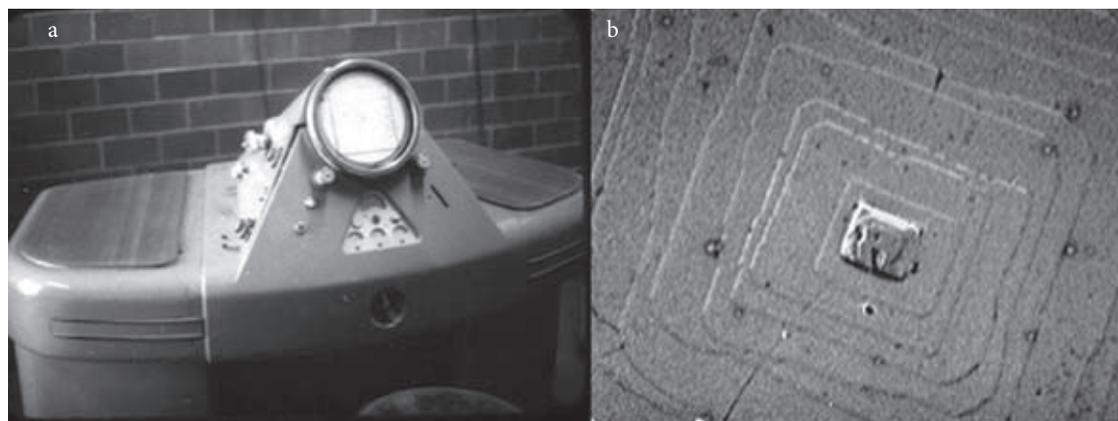


Figura 2. a) Primer microscopio electrónico de transmisión usado en México para estudios en ciencia de materiales. b) Imagen de una superficie de NaCl atacada térmicamente. (Técnica de réplicas 10 000x) *Acta Cryst.*, 1968.



Figura 3. a) Microscopio electrónico de transmisión JEOL-200B, adquirido por el IIM en 1975. Fue el primer microscopio de alta tensión en América Latina. b) Microscopio JEOL 1200F, del tipo barrido-transmisión (STEM), equipado con espectrómetros EDS y EELS, así como con cámara de televisión.

(UME), en la Facultad de Medicina de la Universidad de Costa Rica, cuyo principal objetivo eran las investigaciones biológicas aplicadas a la salud. En Córdoba, Argentina, se fundó el Centro de Microscopía Electrónica, en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de Córdoba, en 1978. La microscopía electrónica dirigida a la ciencia de materiales empezó después de 1980 en estos países de América Latina.

Notas históricas

En 1920 se descubrió que los electrones acelerados por un campo eléctrico se comportaban en el vacío como si fueran luz, con longitudes de onda cien mil veces menores que las de la luz visible. También se encontró que los campos eléctricos o magnéticos tienen el mismo efecto sobre los electrones que las lentes de vidrio sobre la luz. El doctor Ernst Ruska, de la Universidad de Berlín, construyó el primer microscopio electrónico por transmisión (MET) en 1931, siguiendo una analogía con un microscopio óptico, es decir sustituyendo la fuente de luz por un cañón electrónico y los lentes de vidrio por lentes magnéticas (véanse más detalles en la revista *Física*, mayo de 1969: 27-30). En 1933 su microscopio logró superar el poder de resolución que se obtenía con microscopios ópticos y en 1939 Siemens construyó el primer microscopio comercial, con una resolución de 100 nm. Ruska obtuvo el premio Nobel en 1986.

No está completamente claro quién fue el primero en proponer el principio del microscopio electrónico por barrido de un haz electrónico (MEB), en el cual un haz muy fino de electrones barre una superficie y produce una imagen de ésta. No fue sino hasta 1942 cuando tres estadounidenses, Zworykin, Hiller y Snijder, lograron un microscopio de barrido con un poder de resolución de 50 nm y una amplificación máxima de 8 000x; en nuestros días los MEBs alcanzan una resolución de

1 nm y amplificación de 400 000x. El primer MEB comercial fue lanzado al mercado por la compañía Cambridge Instrument en 1965 y el modelo fue conocido como Stereoscan, cuya resolución era de 25 nm. La Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN adquirió un Stereoscan en 1967, que no fue desempaquetado hasta 1975. El Instituto de Física de la UNAM también adquirió un MEB similar en 1969. Hoy existen modelos de MEB con resoluciones que oscilan entre 3 y 5 nm.

Una combinación de MET y MEB fue propuesta en 1938 por el doctor Manfred von Ardenne, que originó el primer microscopio que combinaba barrido y transmisión fabricado por Philips Electronic Instruments en 1969, con un poder de resolución de 25 nm y amplificación máxima de 100 000x. Los equipos modernos que combinan ambas configuraciones tienen un poder de resolución de 1 nm y poder de amplificación de hasta 1 000 000x.

*gtorres@servidor.unam.mx



María Ruiz, *Mi árbol*, fotografía, 2012.

Las bajas temperaturas en el Instituto de Investigaciones en Materiales

Roberto Escudero,* IIM-UNAM.

Antecedentes históricos

El Instituto de Investigaciones en Materiales nació en 1967 al crearse el Centro de Materiales, formado por investigadores del Instituto de Ingeniería y el Instituto de Física de la UNAM. La idea fundamental era desarrollar investigación en el área de las ciencias y las ingenierías de los materiales. El centro se proponía atender los posibles usos y aspectos tecnológicos de química, física, ingeniería y, en general, de aplicaciones en las que se estudiara el comportamiento de materiales diversos: polímeros, metales, aleaciones, cerámicas, semiconductores y superconductores, entre otros. El estudio de los materiales, debido a su diversidad, multiplicidad intrínseca y complejidad, requiere enfoques un tanto diferentes de los de las ciencias exactas y de los que tradicionalmente se emplean en las ciencias físicas y químicas, e inclusive en las ingenierías. Así, con esta perspectiva, se requería en la UNAM un centro de investigación especializado en esos menesteres.

El estudio de los materiales, debido a su diversidad, requiere enfoques diferentes

El nuevo Centro comenzó sus actividades en un par de oficinas en el octavo y noveno pisos de la antigua Torre de Ciencias, hoy Torre II de Humanidades, y con espacios apenas suficientes para media docena de investigadores y estudiantes. Sólo en 1969 el Centro de Materiales contó con un edificio propio, ubicado en la Sección de Institutos de la Ciudad Universitaria, con laboratorios y talleres propios, además de los cubículos y espacios para las funciones de su administración.

A partir de entonces el crecimiento del Centro, que cambió de nombre varias veces —primero Centro de Materiales, después Centro de Investigaciones en Materiales y más tarde, al convertirse en instituto, Instituto de Investigaciones en Materiales—, ha sido sostenido y constante. Desde principios de los

años setenta amplió sus espacios para laboratorios, talleres y biblioteca, y contó también con la infraestructura más avanzada de México en aquellos tiempos, para investigación en microscopía, en criogenia, en la preparación de muestras a temperaturas muy altas, y en la síntesis de una amplia gama de polímeros. Asimismo, el Centro estableció cuatro campos del conocimiento cuyos objetivos eran el estudio de los materiales cerámicos y metálicos, los materiales poliméricos y compuestos, las propiedades físicas de la materia a temperaturas cercanas al cero absoluto, además de investigar el uso de la energía solar para la generación de calor útil a bajas y muy altas temperaturas, así como electricidad mediante celdas fotovoltaicas y refrigeración, todo ello esencialmente sin el consumo de combustibles fósiles, que hoy sabemos tienen consecuencias adversas para el clima y la sustentabilidad de la vida en la tierra.



Figura 1. Primer licuefactor de helio del Instituto de Investigaciones en Materiales y de la UNAM.

El Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) se creó formalmente el 21 de noviembre de 1979 y contaba con cuatro departamentos: Estado Sólido y Criogenia, Polímeros, Materiales Cerámicos y Metálicos y Energía Solar. Este último se convirtió en el primer laboratorio foráneo del IIM, en Temixco, Morelos, con instalaciones propias para sus líneas de investigación.

En el IIM, el antiguo departamento de Estado Sólido y Criogenia cambió de nombre y actualmente se llama departamento de Materia Condensada y Criogenia. En esencia se dedica a estudiar, tanto desde el punto de vista teórico como experimental, las propiedades electrónicas de los materiales a altas y bajas temperaturas.

los primeros del país y de América Latina. Estos logros en superconductividad se debieron sobre todo a la participación de los diversos especialistas del IIM, única institución en el país que contaba con personal preparado en el ámbito experimental para el estudio de la superconductividad. Gracias a esos importantes avances, el Instituto y la UNAM recibieron, por parte de Petróleos Mexicanos (Pemex), una notable contribución económica y el IIM pudo adquirir dos licuefactores, uno de helio y otro de nitrógeno.

Con este logro en infraestructura para manejo y provisión de líquidos criogénicos, y más tarde con apoyos de la Organización de Estados Americanos (OEA) y del Conacyt se ha logrado obtener equipo de laboratorio más sofisticado, que ha

En el laboratorio del departamento de Materia Condensada y Criogenia se han establecido las primeras marcas para temperaturas criogénicas cercanas al cero absoluto en México

En el departamento de Materia Condensada y Criogenia, en sus laboratorios, se han establecido las primeras marcas para temperaturas criogénicas cercanas al cero absoluto en nuestro país. Asimismo, en la época en que J. Georg Bednorz y K. Alex Muller descubrieron los superconductores de alta temperatura, los investigadores de este departamento lograron sintetizar y estudiar los primeros materiales superconductores, a unas semanas del descubrimiento en 1987; cabe enfatizar que fueron

contribuido y abre la posibilidad de realizar estudios electrónicos muy detallados y específicos en dos áreas muy importantes: superconductividad y magnetismo.

Las valiosas contribuciones científicas de los laboratorios del departamento han redundado en múltiples conocimientos nuevos sobre superconductividad; por ejemplo, se obtuvieron las más altas temperaturas críticas en superconductores basados en bismuto y cobre, se consiguieron las más altas tempera-



Figura 2. Licuefactor de helio líquido del IIM-UNAM. La ilustración muestra el Dewar para almacenamiento de helio, el sistema computarizado del licuefactor y un tanque de nitrógeno para enfriamiento del licuefactor.



Figura 3. Vista de un laboratorio del departamento. Se aprecian un magnetómetro, un susceptómetro, diversos equipos electrónicos y los sistemas de cómputo para realizar las mediciones, almacenamiento y procesamiento de datos.

turas críticas en superconductores en aleaciones de Nb y Mg, se han estudiado compuestos conocidos como fermiones pesados, basados en U-Ru-Si a muy bajas temperaturas, materiales cuasicristalinos, materiales ferromagnéticos basados en carbono con curvatura negativa, etc. Sin embargo, cabe enfatizar que el éxito más importante de este laboratorio y departamento se ha producido en tres aspectos fundamentales para la universidad: en la educación, en la formación de cuadros humanos altamente preparados en técnicas especializadas de investigación y en la difusión de la cultura.

Este departamento es líder en educación, formación de especialistas altamente preparados y difusión de la cultura

En el primer rubro se ha mostrado a numerosos grupos de estudiantes, tanto de secundaria y preparatoria como de la universidad, las instalaciones para que conozcan de primera mano el efecto de las características de materiales magnéticos y superconductores, como por ejemplo la levitación de un imán causada por un superconductor, así como para que observen y entiendan los diferentes efectos cuánticos de la materia a temperaturas muy bajas, los procesos físicos que dan origen a la superconductividad y el porqué de sus características, además

de entender procesos que tienen que ver con el magnetismo. Debe enfatizarse que el nivel de conocimientos de los integrantes del departamento ha servido para formar a muchos estudiantes y ha contribuido en aplicaciones tecnológicas de relevancia; por ejemplo, los conocimientos en técnicas de muy



Figura 4. Horno de tres arcos y sistema de crecimiento de cristales.

bajas temperaturas permitieron desarrollar un proceso para la consolidación del suelo, previo a la construcción de grandes y altos edificios en la Ciudad de México —el edificio de la Lotería Nacional es el mejor ejemplo, pues el subsuelo débil se tuvo que congelar para poder fincar sus cimientos—. Esta técnica fue desarrollada en el IIM.

Latina, similar a la de muchos de los laboratorios de países desarrollados en lo que concierne a equipo experimental para realizar estudios electrónicos a bajas temperaturas. En estos laboratorios se cuenta con equipamiento e instrumental para construir muestras para estudio en forma amorfa, policristalina y monocristalina, ya que se cuenta con equipos y hornos

Los conocimientos en técnicas de muy bajas temperaturas han permitido el desarrollo de un proceso para consolidar los suelos con objeto de construir grandes edificios en la Ciudad de México

El departamento, en el ámbito experimental, cuenta con una gran cantidad de instrumental; por ejemplo, desde su inicio, el Instituto logró obtener un licuefactor de helio —el primero en el país y en América Latina— que permitió el desarrollo de estudios experimentales en superconductividad y en particular en investigaciones sobre procesos de tunelamiento electrónico. El tunelamiento electrónico es, per se, junto con la espectroscopía de contactos puntuales, la técnica más importante para estudiar a nivel microscópico el fenómeno de la superconductividad.

A lo largo de los más de cuarenta años de edad de este laboratorio muchos de los estudios han sido en el campo de la superconductividad y han consolidado al grupo experimental como el número uno del país.

Cabe indicar que actualmente el departamento de Materia Condensada y Criogenia cuenta con la infraestructura más completa y sofisticada de México y seguramente de América

para crecimiento con diversas técnicas; Bridgman, Czochralski, flujos de vapor, etc.; se cuenta también con hornos de inducción, hornos de tres arcos, equipamiento para soplado de vidrio necesario para crecimiento de materiales en atmósferas controladas.

Para la caracterización y estudio de las propiedades electrónicas, se cuenta con dos licuefactores para la obtención de líquidos criogénicos. Próximamente ambos equipos serán renovados y para 2013 habrá un nuevo licuefactor de nitrógeno.

Desde el punto de vista del equipamiento experimental es posible observar y estudiar en este laboratorio las propiedades electrónicas de diversos sistemas y sus efectos a temperaturas de hasta diez milésimas del cero absoluto y en presencia de campos magnéticos homogéneos de 170 mil Gauss. Asimismo, determinar propiedades térmicas, calor específico, conductividad térmica, en general determinar figuras de mérito para la caracterización y posibles aplicaciones de propiedades ter-

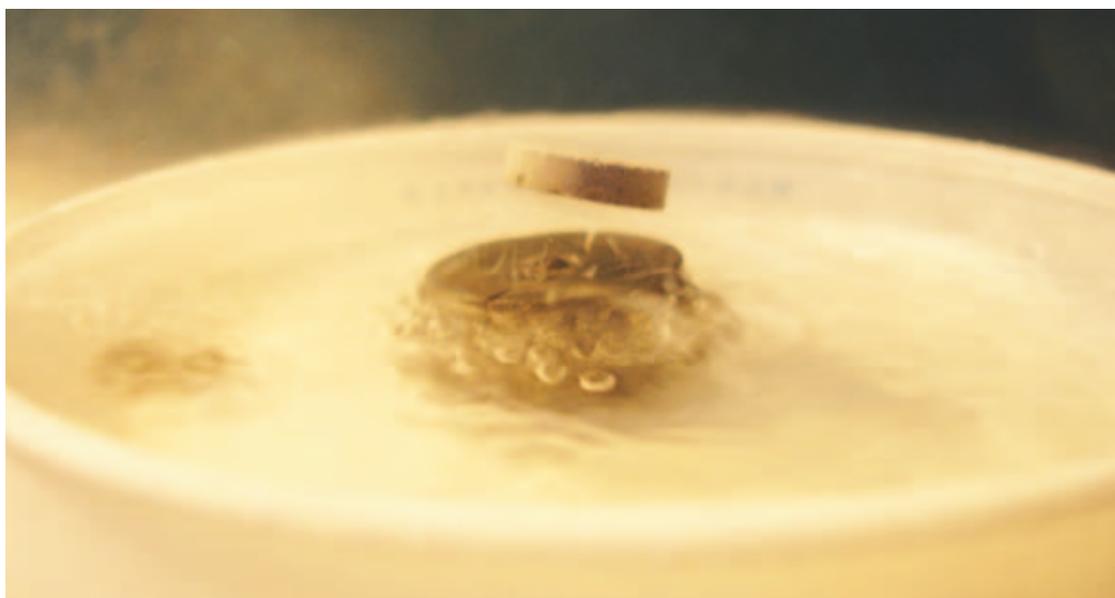


Figura 5. Levitación magnética en un superconductor texturizado de $\text{Nd}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.



Figura 6. Estudiantes del grupo de Bajas Temperaturas del IIM.

moeléctricas, efecto Hall, susceptibilidad AC y DC, y determinar características en ambientes de campo magnético muy pequeños, menores a 0.05 Gauss. Muchas de las características de diversos materiales, si son requeridas, también se pueden determinar hasta muy altas temperaturas, de alrededor de 900 K. Por último se debe mencionar que también se cuenta en este laboratorio con celdas de diamante para realizar estudios a muy altas presiones hidrostáticas y cuasihidrostáticas.

estudiantes de doctorado, tres de maestría y dos de licenciatura. Entre los proyectos académicos actuales se estudian la síntesis y caracterización de materiales conocidos como aislantes topológicos sus características magnéticas y superconductoras, compuestos de coordinación con propiedades magnéticas, magnetos moleculares, propiedades de materiales bajo condiciones de alta presión, materiales basados en bismuto y paladio, y las propiedades de estos materiales modificadas por la inser-

Las investigaciones del laboratorio tienen repercusión mundial sin olvidar la formación de cuadros de investigadores y científicos

En fin, sin duda, este laboratorio del IIM es uno de los más completos en México, su construcción ha llevado más de cuarenta años. Las investigaciones que se realizan en este departamento han dado lugar a una gran proyección en el país y en el mundo. Sin embargo en este departamento algunos de sus académicos consideran que la parte de mayor repercusión dentro de la universidad deberá ser la formación de cuadros de alto nivel. Algunos de los académicos participan de manera intensa en la formación de cuadros de investigadores y científicos, imparten cursos, dirigen programas de trabajo social y tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Especial atención se ha otorgado a los alumnos egresados de las carreras de física, de las diferentes ingenierías, de matemáticas y de química. El IIM participa en los posgrados de química, de ingeniería, de física y en el posgrado especializado de ciencia e ingeniería de materiales.

Actualmente el grupo de trabajo está conformado por tres

estudiantes de doctorado, tres de maestría y dos de licenciatura. Entre los proyectos académicos actuales se estudian la síntesis y caracterización de materiales conocidos como aislantes topológicos sus características magnéticas y superconductoras, compuestos de coordinación con propiedades magnéticas, magnetos moleculares, propiedades de materiales bajo condiciones de alta presión, materiales basados en bismuto y paladio, y las propiedades de estos materiales modificadas por la inser-

Agradecimientos

R.E. agradece a las instituciones que han aportado recursos financieros y son: Conacyt, Instituto de Ciencias y Tecnología del Departamento del Distrito Federal, Proyecto Comunidad Económica Europea - México (BISNANO), DGAPA-UNAM.

Bibliografía

El lector interesado podrá encontrar mayores detalles sobre las investigaciones que se realizan en este laboratorio si accede a la página web siguiente: <http://132.248.12.175/rescudero/index.html>

*escu@unam.mx

Biomateriales

María Cristina Piña Barba,* IIM-UNAM.

Agradezco la invitación que me hicieron para narrar la historia del Laboratorio de Biomateriales del Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM, con motivo de los 45 años de dicho Instituto; la razón es que fui la pionera de esta área del conocimiento en el IIM.

Para entender la importancia de desarrollar biomateriales, empezamos por preguntarnos ¿qué es la salud? La Organización Mundial de la Salud (OMS) definió desde 1948 la salud como “el estado de completo bienestar físico, mental y social y no solamente como la ausencia de enfermedad o dolencia. Implica funcionar eficazmente tanto a nivel micro (celular) como a nivel macro (social) y estar en armonía con el medio ambiente, no es sólo la ausencia de afecciones o enfermedades, es también el estado de adaptación de una persona al medio donde se encuentra. La salud es una medida de la capacidad de cada persona de hacer o de convertirse en lo que quiere ser”.

La salud se puede medir por el efecto que sufre una persona ante un suceso sin comprometer su sistema de vida. Cuando una persona no está sana no se puede convertir en lo que quiere ser, de modo que tiene que procurar estar sana para lograr los objetivos de su vida.

La salud se puede tratar en diferentes aspectos: física, mental, psicológica, social... sin embargo, para el desarrollo de biomateriales sólo consideramos la salud física que podríamos decir que es la capacidad que tiene el cuerpo para realizar cualquier tipo de ejercicio, cuando muestra que tiene resistencia, fuerza, agilidad, habilidad, coordinación y flexibilidad. Cuando no funciona debidamente nuestro organismo y lo detectamos por el dolor o cuando a nuestro organismo le falta algo que perdió por accidente o por enfermedad, vamos a un médico, esto es sólo en caso de salud física.

Cuando no hay salud mental, podemos ir con diferentes personas dependiendo del grado de afección, nuestros padres, un amigo, el psicólogo o siquiatra, esta área no la consideramos para el desarrollo de los biomateriales.

Para recuperar la salud física, la administración de un fármaco puede ser suficiente, en caso de no ser así, tal vez lo que se requiere es una cirugía. Las cirugías se clasifican en menores y mayores, las mayores pueden ser: de extirpación (como el nombre lo indica, se saca parte de un órgano o de un tejido), de reparación (cuando se repara un tejido o un órgano dañados), de implantación (cuando se usa un implante o una prótesis



Ana Montiel, *Naturaleza muerta*, fotografía, 2013.

Figura 1. Niños sanos, con toda la capacidad de lograr ser lo que quieran llegar a ser.



para reparar el funcionamiento de un tejido o de un órgano) y no necesaria (generalmente las cirugías que cambian algo con lo que el paciente no está a gusto, como es el caso de las cirugías plásticas).

En el Laboratorio de Biomateriales lo que nos interesa saber es: ¿por qué y cuándo hace falta un implante?, ¿de qué están hechos los implantes?, ¿qué tipo de implantes se requieren?, ¿cómo sabemos que el implante va a servir?

Un implante es un dispositivo médico que se usa para reemplazar, sustituir o mejorar una estructura biológica que falta o que no está funcionando de manera adecuada. Cuando se trata de sustituir un órgano o un sistema biológico ya no se habla de implante sino de prótesis; ésta, además del tejido, sustituye una o más funciones correspondientes al órgano o sistema que se reemplaza.

Los materiales para elaborar implantes y prótesis están he-



Figura 2. Prótesis de cadera colocada en un paciente.

chos de biomateriales. Un biomaterial es un material, diferente de un medicamento, que puede ser de origen sintético o natural, que se usa por cualquier periodo de tiempo como una parte de un sistema o un sistema completo, pues trata, aumenta o reemplaza un tejido, órgano o función del cuerpo humano sin afectar el resto del organismo y sin resultar afectado por él, a menos que así sea diseñado, como por ejemplo los hilos de sutura que se usan dentro del organismo y que están diseñados para que se desintegren un tiempo después, liberando los tejidos que unen.

La ciencia de los biomateriales

Evaluar el estado del arte y el éxito del material implantado en el cuerpo humano es la finalidad de la ciencia de los biomateriales, para lo que hace uso de todos los conocimientos a su alcance.

Lo primero es conocer el material, para lo cual existe una serie de pruebas fisicoquímicas mediante las cuales se puede conocer su densidad, color, forma, su comportamiento en diferentes campos electromagnéticos, sus propiedades térmicas, porosidad, resistencia a las fuerzas que actúan sobre él, su dureza, su resistencia a la corrosión y al desgaste en presencia de líquidos fisiológicos. Esto se conoce como caracterización fisicoquímica y mecánica del material. Actualmente hay equipos que nos ayudan a obtener todos estos datos del material. En 1991, cuando empezamos a trabajar en biomateriales en el IIM, era lo único que podíamos y sabíamos hacer.

La caracterización y el diseño de biomateriales se realiza en el IIM

Luego se realizan las pruebas médicas y biológicas, que no son tan simples como pensábamos; quienes trabajamos en biomateriales nos tuvimos que formar para llevarlas a cabo desde 1991. Como no había nadie en México que tuviera experiencia, al principio lo hicimos por prueba y error, trabajando con físicos, médicos veterinarios y biólogos; más tarde incluimos médicos y químicos y ahora también trabajamos con bioquímicos e ingenieros. Tenemos ya veinte años de experiencia en este grupo multidisciplinario.

Las pruebas médicas y biológicas se dividen en dos grandes categorías, las pruebas *in vitro* y las pruebas *in vivo*. Las primeras se llevan a cabo en el laboratorio, en cultivos celulares y nos dicen cómo se comporta el material ante la presencia de cierto tipo de células y lo que a éstas les sucede en presencia del material, miden la citotoxicidad o mortandad que produce el material en las células. La genotoxicidad dice además cuánto se



Figura 3. Una vista al Laboratorio de Biomateriales del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

pueden degenerar las células en presencia del material y si dicha degeneración es hereditaria. La hemocompatibilidad da información acerca de si, en presencia de sangre, el material causa alguna alteración en ésta. La adhesión celular implica conocer qué tipo de proteína segrega la célula en presencia del material y si ésta es capaz de recubrir el material para hacerlo soportable a la célula, etc. Estos estudios tienen el inconveniente de llevarse a cabo sólo para cierto tipo de células y no para todas las que se encontrará el material una vez implantado. Actualmente existen equipos muy sofisticados capaces de reconocer y cuantificar proteínas, enzimas y otros productos celulares que ayudan a determinar si el material es viable para ser implantado. Nuestro equipo de trabajo comenzó a implementar estas pruebas en 1992.

Las pruebas *in vivo* se dividen en dos grupos: las preclínicas, que se llevan a cabo en animales de laboratorio, y las clínicas, que se llevan a cabo en humanos. Las primeras son muy importantes, ya que el material se implanta y se ve sometido a todo el sistema fisiológico del animal, quedando expuesto a todos los tipos celulares, líquidos fisiológicos, etc. Se deben estudiar todos los órganos del animal tras diferentes tiempos de implantación y verificar que ningún órgano se haya visto afectado; es importante dejarlo el mayor tiempo posible, ya que se ha encontrado que hay casos de materiales altamente biocompatibles que generan problemas (diferentes de aquellos de la biocompatibilidad) a largo plazo (varios años después de implantados). Llevar a cabo estas pruebas implica que el grupo de trabajo sea capaz de escoger el modelo animal adecuado, tenga un amplio conocimiento de la histología de los tejidos animales, lleve a cabo la mejor cirugía de implantación y emplee materiales, medicamentos y terapia que no alteren los resultados, de modo que sólo se valore el material puesto a prueba; se requiere un bioterio apropiado para garantizar que los animales están completamente sanos y que su respuesta ante el implante

sólo depende de éste, ya que cualquier otra variable puede afectar los resultados. Actualmente se cuenta con todos los requerimientos en conjunto con otros grupos de investigación.

Sólo hasta que se tiene la seguridad de que el material del implante es biocompatible se procede a realizar las pruebas clínicas en humanos. Se debe contar con el consentimiento informado de los pacientes que participan en la investigación, que se lleva a cabo en hospitales de tercer nivel; esto es fácil de decir pero muy difícil de implementar, ya que se debe cumplir con una serie de requisitos establecidos por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) y por los hospitales involucrados. En esto también hemos sido pioneros, ya que antes de nosotros sólo se habían probado fármacos; afortunadamente hemos contado con el apoyo de médicos



Figura 4. Colocación de la prótesis en el conducto biliar de cerdo, en el cual se observa la anastomosis termino-terminar de la bioprótesis. El color amarillo se debe a que ya existe un flujo continuo de bilis a través de la prótesis. No se observa fuga de contenido biliar.



Ana Montiel, *Naturaleza muerta*, fotografía, 2013.

con mucha experiencia y muy alta capacidad y con autoridades que nos han apoyado en la implementación de estos estudios.

Para el caso del Nukbone® (hueso acelular de bovino), material cuyo proceso de obtención se desarrolló en el Laboratorio de Biomateriales del IIM, tardamos ocho años en completar todos los estudios fisicoquímicos, médicos y biológicos, incluyendo los estudios clínicos; este es un material fácil de obtener y con él pudimos implementar todas las pruebas de biocompatibilidad.

Aun cuando el material sea el mejor del mundo, no se puede garantizar el éxito del implante debido a que los humanos somos muy complicados. En los últimos años se ha verificado que un sentimiento negativo, como odio, rencor, frustración, impotencia o culpa, puede causar enfermedades capaces de llevar incluso a la muerte del paciente; la detección de estos problemas resulta complicada, ya que los síntomas pueden aparecer años después del problema que genera dichos sentimientos. Así, no se puede garantizar que un material probado con éxito en cientos de pacientes funcione igual de bien en un paciente en particular. Por eso en la medicina no se habla de enfermedades sino de enfermos.

Para escoger el material adecuado para un implante es necesario considerar a qué nivel se actúa, el tipo de tejido que se quiere sustituir o completar, la función que debe llevar a cabo, etc. No es lo mismo completar un hueso que un tejido blando, sacar una arruga que poner una válvula cardíaca, enderezar la columna vertebral implica mucho más trabajo de parte de todos los involucrados que enderezar un diente, tampoco es lo mismo reponer un ojo que su función: la vista. El diseño de las prótesis corresponde a otros equipos de trabajo muy especializados.

Una vez que se cuenta con un biomaterial, el siguiente paso es desarrollar el proceso para tenerlo en cantidad suficiente

para cumplir con las necesidades y poder ofrecerlo al mejor precio posible, haciéndolo accesible a cualquier bolsillo. Para el diseño de una prótesis generalmente se requieren diferentes biomateriales.

Al escoger un material para un implante hay que saber qué se espera de él

En el desarrollo de una prótesis hay que evaluar la biocompatibilidad y la biofuncionalidad, es decir qué tan bien lleva a cabo la prótesis su función dentro del organismo, cosa que determinan los médicos, bioingenieros, biólogos y químicos junto con el paciente. El éxito de un implante o de una prótesis depende de los materiales de los que está hecho, del médico que lo implanta y del paciente; si uno de los tres falla, la prótesis o el implante no tendrá éxito, por lo que es importante escoger un buen médico cirujano y el paciente debe estar convencido de las bondades de todo el proceso, de modo que su ánimo lo saque airoso de sus problemas.

Medicina regenerativa o ingeniería de tejidos

Para la medicina de las próximas décadas, ya no existirán las cirugías de implantes o prótesis como ahora las conocemos; actualmente se desarrolla la medicina regenerativa o ingeniería de tejidos para reconstruir las zonas dañadas o imperfectas del organismo, esta es la ciencia que se sirve de la combinación de la biología celular y molecular, la ciencia de los biomateriales, la bioquímica y la fisicoquímica para mejorar o reemplazar funciones biológicas y logra reparar o sustituir parcial o total-



Ana Montiel, *Naturaleza muerta*, fotografía, 2013.



Figura 5. Tubo de biomaterial al que se le implantan células mesenquimales para la regeneración de las vías biliares.

mente tejidos como hueso, cartílago, tráquea, válvulas cardíacas, vejiga y corazón, entre otros.

La ingeniería de tejidos se basa en la utilización de biomateriales capaces de estimular la respuesta celular y molecular de forma controlada, para actuar como soportes temporales en la reparación de defectos. Existen dos tendencias principales: el desarrollo de andamios tridimensionales acelulares, que servirán para alojar a las células una vez implantados en el organis-

vertirse en un andamio celular y tener las propiedades fisicoquímicas que les permitan asegurar una resistencia adecuada durante un lapso determinado por el problema del paciente, al cabo del cual deberán reintegrarse en el organismo o desaparecer sin originar productos de degradación tóxicos, ni desencadenar una respuesta inmunológica en el paciente, por lo cual actualmente se investigan las posibilidades en la biología misma del paciente.

Hoy se desarrolla una medicina regenerativa o ingeniería de tejidos para reconstruir los tejidos dañados y reparar huesos, válvulas cardíacas, corazón...

mo, y el desarrollo de andamios tridimensionales biofuncionalizados, que son inicialmente colonizados por las células madre (totipotenciales), células mesenquimatosas (pluripotenciales) o células diferenciadas bajo condiciones *in vitro*. Los andamios luego son implantados en el paciente para reemplazar el tejido dañado.

La elección de los biomateriales tiene un papel principal en la ingeniería de tejidos, ya que éstos deberán servir no sólo como apoyo físico para las células sino que también tendrán que proveer las sustancias químicas y biológicas necesarias para guiar el crecimiento, la diferenciación, la implantación, la distribución y la organización de las células. Igualmente, los biomateriales deberán ser capaces de responder a estímulos específicos, de facilitar la formación de una red vascular capaz de proporcionar el oxígeno y los nutrientes necesarios para el metabolismo celular y finalmente deberán favorecer la actividad desarrollada por las células.

Entre los biomateriales empleados y las células implantadas se deben establecer interacciones a nivel molecular y ultraestructural, para emular los procesos fisiológicos que se llevan a cabo en el organismo. Los compuestos que forman estos biomateriales deben poseer las características mínimas para con-

El grupo de biomateriales comenzó a desarrollar andamios celulares en 2008, actualmente está probando, junto con investigadores médicos de la Facultad de Medicina de la UNAM y con investigadores médicos de hospitales de tercer nivel, andamios para la regeneración de tráquea, conductos biliares, uretra y otros tejidos biológicos del cuerpo humano.

En 2004 se abrió una pequeña empresa, Biocriss SA de CV, que produce Nukbone®; está autorizada por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) y desde entonces hasta ahora se cuentan más de veinte mil pacientes implantados, pero esta es otra historia... sólo quiero comentar que antes de nosotros nadie sabía qué era un biomaterial y ahora incluso están legislados.

Finalmente quiero agradecer a todos aquellos que han contribuido con su trabajo a este esfuerzo: estudiantes, técnicos, médicos, investigadores y profesionistas de un sinnúmero de carreras conectados con un mismo objetivo: buscar la salud para todos. También quiero agradecer a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) que desde 1992 apoya estos proyectos.

*crispina99@gmail.com

La sangre humana desde el punto de vista de la reología

Leonardo Moreno* y **Fausto Calderas**, Departamento de Reología y Mecánica de Materiales, IIM- UNAM; **Guadalupe Sánchez-Olivares**, CIATEC; **Luis Medina-Torres**, Departamento de Ingeniería Química, UNAM; **Antonio Sánchez-Solís y Octavio Manero**, Departamento de Reología y Mecánica de Materiales, IIM- UNAM.

Resumen

La reología es la ciencia que estudia la respuesta de los fluidos complejos en términos de dos parámetros principales: esfuerzo y deformación (flujo). La sangre humana es un fluido de reología muy compleja, porque la viscosidad de la sangre no es proporcional al esfuerzo aplicado, es decir, es un fluido no newtoniano que cuenta con características pseudoplásticas (cuanto mayor sea el esfuerzo aplicado, menor es su viscosidad). Esto se debe en parte a la formación de estructuras transitorias (que se destruyen por el flujo) de muy corta duración, cuyo tamaño e intensidad dependen de la concentración de colesterol total, entre otros factores. En el Instituto de Investigaciones en Materiales, en el grupo multidisciplinario bajo la supervisión del doctor Octavio Manero, se estudia la sangre humana y su respuesta reológica.

Introducción

El estudio está enfocado, en la primera etapa, a la caracterización reológica de la sangre humana y, en la segunda, al efecto de diferentes patologías, entre ellas la hiperglucemia asociada a la diabetes mellitus, que se ha declarado como epidemia nacio-

nal. Este estudio pretende, en última instancia, predecir por métodos no invasivos el contenido de colesterol en la sangre como medida preventiva para el control. En este artículo pretendemos enfatizar los resultados obtenidos sobre la respuesta reológica de la sangre con diferentes contenidos de colesterol total.

La sangre humana es un fluido con gran cantidad de funciones dentro del cuerpo humano, entre ellas la entrega de oxígeno y la remoción de dióxido de carbono de tejidos distales, y el transporte de nutrientes y metabolitos, de todos los órganos y sistemas del cuerpo humano. Los trastornos metabólicos en la actualidad son problemas que atañen a los seres humanos cada vez con mayor frecuencia; éstos se atribuyen a un sinnúmero de factores como estrés, medio ambiente, alimentación y genéticos, como la hipercolesterolemia familiar. De los múltiples trastornos metabólicos presentes en un ser humano, la hipercolesterolemia (altas concentraciones de colesterol en sangre (~200 mg/dL) tiene grandes repercusiones en la fisiología del sistema cardiovascular.

La sangre es un fluido con dos fases perfectamente diferenciadas: una suspensión de células (eritrocitos y leucocitos) que



Jorja Carreño, *Serie Fábula, Pez*, fotografía, 2011.



Jorja Carreño, *Serie Fábula, Gallito*, fotografía, 2011.

llamamos fase dispersa en un medio líquido, como el plasma (agua, sales, proteínas y metabolitos), que llamamos fase continua. La viscosidad de la sangre depende directamente de la relación entre la cantidad de células y el contenido de proteínas y metabolitos en el plasma. El colesterol total junto con los triglicéridos son las sustancias que más afectan la reología de la sangre humana. La sangre con concentraciones aumentadas de colesterol total presenta características bioquímicas y mecánicas diferentes de las de la sangre con concentraciones normales; la diferencia de viscosidad entre ambas es del orden de 10 veces.¹ La sangre con alto contenido de colesterol tiende a formar estructuras transitorias más complejas y difíciles de desagregar, además de que el carácter pseudoplástico de este fluido aumenta.^{2,3}

La sangre es un fluido con dos fases: dispersa y continua

Los niveles elevados de colesterol total pueden desencadenar problemas como aterosclerosis, angina de pecho, infartos, accidentes isquémicos causados por la oclusión de la luz de las arterias, lo que priva de oxígeno y nutrientes a los tejidos.^{4,5}

La sangre humana: un fluido no newtoniano

En la reología generalmente se consideran dos tipos de fluidos: los newtonianos, cuya viscosidad no depende del esfuerzo aplicado o de la velocidad de flujo —ejemplos de estos fluidos son

líquidos de bajo peso molecular (moléculas pequeñas) como el agua, los aceites o la miel de abeja—. Curiosamente, los fluidos no newtonianos son los que más abundan en la naturaleza y en la industria. Estos fluidos tienden a modificar su estructura con el flujo y, por lo tanto, su viscosidad. Un ejemplo muy común es la pasta de dientes que usamos todos los días; mientras no le apliquemos un esfuerzo, la viscosidad de la pasta es extremadamente alta y no fluye hasta que le aplicamos un esfuerzo lo suficientemente grande como para modificar su estructura y deformarla (flujo). Otros ejemplos de estos fluidos son las pinturas, el chocolate, la mayoría de los fluidos corporales, mayonesa y catsup, entre otros.

La reología considera dos tipos de fluidos: newtonianos y no newtonianos

La sangre humana se ha considerado con frecuencia como un fluido newtoniano, es decir, en muchas simulaciones y artículos se supone que su viscosidad no depende del esfuerzo aplicado. Esto no es real y para que la sangre se comportara así tendría que estar muy diluida. La sangre está compuesta de células suspendidas en un medio líquido (plasma) y la interacción entre las células depende de la velocidad a la cual se mueve el fluido; cuando dicho fluido está estático, la repulsión



Jorja Carreño, *Serie Fábula, Pollo*, fotografía, 2011.

entre las células de la sangre, debida a la carga negativa de sus membranas, y el contenido de colesterol total y triglicéridos interactúan en un balance tal que los eritrocitos no coalescen en estructuras estables, esto ocurre sólo cuando la sangre está en presencia de un anticoagulante como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y no existe una patología asociada.

Las propiedades de flujo de la sangre dependen de varios factores

La sangre es un fluido con reología muy compleja, cuyas propiedades de flujo resultan afectadas por el arreglo, orientación y deformabilidad de las células sanguíneas.^{4,5} Las propiedades de agregación transitoria de las células sanguíneas, en este caso los glóbulos rojos y las plaquetas, obedecen a una teoría que sostiene que las macromoléculas, como el colesterol, promueven la agregación transitoria de los eritrocitos, ya que se interponen entre una célula y otra y generan puentes entre sus membranas para reducir la interacción electrostática natural entre dos células.

¿Cómo se estudia la sangre en un reómetro?

La sangre, como cualquier otro fluido, puede estudiarse mediante técnicas reométricas. La sangre humana para estos estudios se obtiene de voluntarios sanos, sin coagulopatías en curso, mediante la aplicación de un torniquete a la altura del músculo bíceps que genera turgencia para realzar las venas cefálica y basílica. Se procede a realizar una punción y extraer sangre (5 mL aproximadamente) en un tubo adicionado con EDTA para evitar la coagulación de la sangre durante el ensayo. Los ensayos efectuados se hacen en situaciones de flujo controlado como el denominado flujo de corte simple en estado estacionario, en el que el fluido se coloca entre un disco y un cono (con un ángulo pequeño $\sim 1^\circ$) del mismo diámetro (figura 1), el cono gira a una velocidad controlada y se determina la

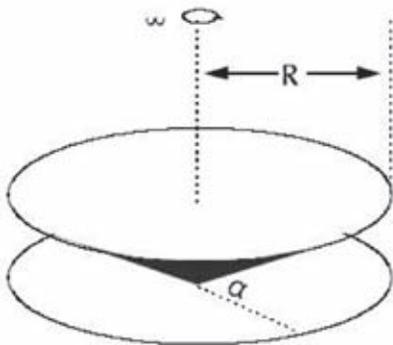


Figura 1. Esquema del sistema de flujo de cono y plato.



Figura 2. Reómetro TA AR-G2.

viscosidad a diferentes velocidades de giro. La temperatura se controla durante la prueba y se trata de mantenerla en condiciones similares a las de una persona sana (37°C).

El equipo que controla la temperatura, la velocidad de giro del cono y mide el torque generado se denomina reómetro (figura 2). En este caso se utiliza un equipo de la marca TA Instruments modelo AR-G2, con geometría de cono y platos a una temperatura de 37°C .

¿Por qué la sangre humana se comporta como un fluido no newtoniano?

Un fluido newtoniano como el agua es un sistema homogéneo de una sola fase, no tiene partículas en suspensión que puedan interactuar, además de que su estructura química es simple por ser una molécula pequeña compuesta sólo por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno. Por esta razón el agua en estado líquido tendrá la misma viscosidad independientemente de la rapidez con la que se deforme. La sangre, por otro lado, es un sistema que está formado por una fase dispersa (plasma), que en esencia es un fluido newtoniano, pero tiene partículas en suspensión (fase dispersa) que interactúan entre sí y con el plasma. Esta fase dispersa está compuesta de células cuyas membranas tienen una carga eléctrica negativa y sustancias como el colesterol. Esto da lugar a un sistema complejo cuya respuesta reológica es muy variada dependiendo del sistema de flujo y las condiciones en las que se estudie. La figura 3 muestra curvas de flujo para diversos tipos de sangre con diferente contenido de colesterol. En todas las curvas puede observarse el fenómeno de la pseudoplasticidad, a mayor velocidad de deformación (y por ende mayor esfuerzo), la viscosidad disminuye. En los recuadros puede observarse qué es lo que está pasando con la estructura de los componentes sanguíneos. La

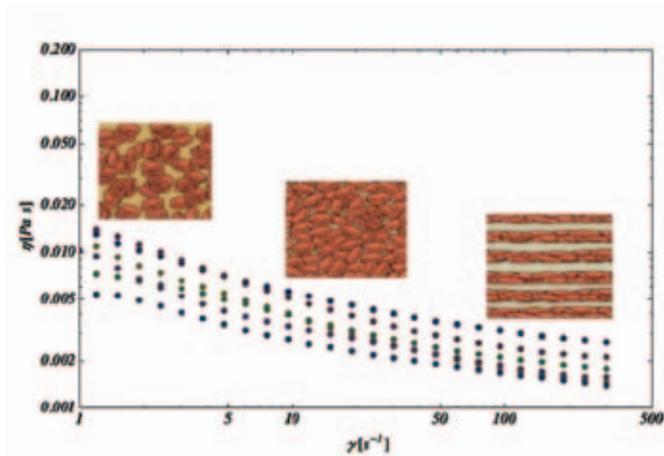


Figura 3. Curvas de flujo de siete muestras de sangre con diferentes concentraciones de colesterol total.

viscosidad inicial para todas las curvas es más alta al inicio (a bajas rapidezces de deformación, parte izquierda del diagrama), lo que es una evidencia de una estructura en donde todos los componentes están orientados al azar (fase dispersa) y por lo tanto oponen mayor resistencia al flujo. Conforme aumentan los esfuerzos (de izquierda a derecha del diagrama), los constituyentes de la sangre (eritrocitos, fase dispersa) se orientan

A mayor contenido de colesterol mayor viscosidad de la sangre

cada vez más en la dirección del flujo, lo que da origen a estructuras que cada vez se oponen menos al flujo y por lo tanto la viscosidad disminuye. Estas estructuras no son estables pues, al dejar de fluir, el sistema recobra su estructura original y la viscosidad se eleva. Dentro del cuerpo humano, la sangre está sometida a rapidezces de deformación del orden de 1-100 s^{-1} que corresponde a la parte central del diagrama (figura 3).

Efecto del colesterol en la sangre

La figura 4 muestra el efecto del contenido de colesterol en la sangre. En general, a mayor contenido de colesterol, mayor viscosidad. El contenido de colesterol de una persona que se considera dentro de los límites normales está próximo a 200 mg/dL. Esto corresponde a las curvas centrales en la figura 4. En cambio, la curva de la sangre que contiene 350 mg/dL de colesterol está fuera de los límites que se consideran normales, dando lugar a una viscosidad alta. El colesterol en general se considera una macromolécula con un peso molecular alto que, al estar en mayor proporción en la sangre humana, origina estructuras más complejas que se oponen en mayor grado al flujo



Jorja Carreño, *Serie Fábula, Caballo*, fotografía, 2011.

normal, esto provoca que el corazón tenga que trabajar más para poder transportar la sangre, pero los demás órganos también se ven afectados, ya que el desgaste de las venas y arterias es mayor. Como la sangre comienza a fluir a un ritmo mas lento, se forman depósitos de calcio en las venas, lo que restringe todavía más la circulación sanguínea y el problema se agrava. Cuando el contenido de colesterol permanece alto en la sangre de una persona durante mucho tiempo (hiperglucemia crónica) debido a problemas metabólicos, comienzan a aparecer problemas del corazón.

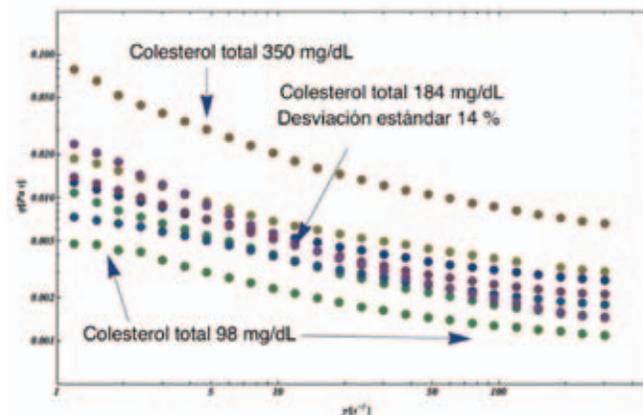


Figura 4. Micrografía de una muestra de sangre.

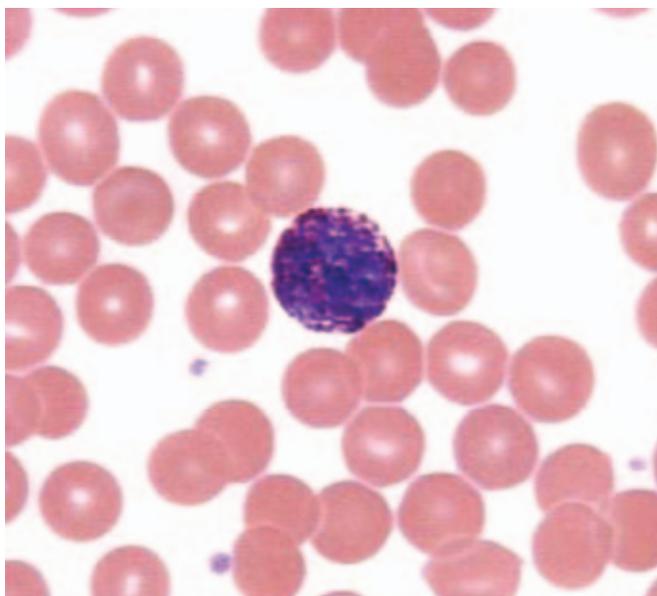


Figura 5. Agrupación de eritrocitos con un basófilo en medio, aumento 100x.

Microscopía

De manera natural, los eritrocitos tienden a interactuar formando estructuras estabilizadas por proteínas al presentarse el fenómeno de coagulación. En ausencia de este fenómeno, debido a la acción del EDTA, los complejos proteicos de la cascada de coagulación no se activan y por ende la sangre no coagula. Las estructuras analizadas en este trabajo hacen referencia a las interacciones momentáneas de corta duración que tienen los eritrocitos. En una fotomicroscopía sólo se hará evidente la agrupación de eritrocitos por la falta del medio acuoso que los separe (figura 5). Dichas agrupaciones dan la idea de cómo se comportan los eritrocitos dentro de un sistema de flujo y cuál es la conformación de éstos en ese mismo sistema.

Conclusión

Este estudio reológico de la sangre humana ofrece una interpretación matemática y física del comportamiento de la misma en el cuerpo humano. A pesar de que el tipo de flujo que se maneja es diferente del que se presenta en el cuerpo humano, es un esbozo de los fenómenos que se presentan en una situación real de flujo. Además, este tipo de estudios servirán en el futuro para la predicción de concentración de colesterol en una muestra de sangre.

Sin lugar a dudas, el colesterol total influye directamente en la viscosidad de la sangre y en el grado de estructuración que tiene ésta. Podría este fenómeno no ser significativo desde el punto de vista clínico, ya que sujetos con niveles elevados de colesterol aun dentro del intervalo de lo considerado normal, no se percatan de ello, pero reológicamente las diferencias son muy marcadas.

Bibliografía

- ¹ L. Moreno, *Experimentos reológicos y modelado estructural de un fluido biológico* (sangre humana), México, Facultad de Química-UNAM, 2010.
- ² D. Donne I., R. Rossi, D. Giustarini, A. Milzani, R. Colombo, "Protein Carbonyl Groups as Biomarkers of Oxidative Stress", *Clinical Chemical Acta* (2003), 23-38.
- ³ M. Duarte, J.B.T. Rocha, R.N. Moresco, T. Duarte, I.B. Da Cruz Loro, "Association Between Ischemia-Modified Albumin, Lipids and Inflammation Biomarkers in Patients with Hypercholesterolemia", *Clinical Biochemistry* (2009), 666-671.
- ⁴ R. Giles, J. Herbert, *Basic Biochemistry Aspects of Hemorheology*, Department of Chemical and Biological Engineering, Montana State University, Bozeman, 2010.
- ⁵ B. Rudiger, *Rheology Essentials of Cosmetics and Food Emulsions*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, 231-235.

*leonardinogdn@gmail.com



Jorja Carreño, *Serie Fábula, Conejo*, fotografía, 2011.

La química de diacetilenos en la innovación tecnológica

Takeshi Ogawa Murata,* IIM-UNAM.

En julio de 1989 regresé a México después de trabajar en la King Fahd University of Petroleum & Minerals, en Arabia Saudita, y me incorporé al Departamento de Polímeros del Instituto de Investigaciones en Materiales. El interés principal de mi investigación ha estado enfocado a la química de diacetilenos, tanto a la síntesis de diacetilenos aromáticos como a los polímeros que contienen diacetileno en su estructura, para estudiar sus mecanismos de reacción, modificación química y propiedades fisicoquímicas para su posible aplicación en alta tecnología.

Los diacetilenos son compuestos constituidos por dos triples enlaces, $R-C\equiv C-C\equiv C-R$, cuyas propiedades dependen de los grupos R unidos a estas insaturaciones. Por ejemplo, G. Wegner reportó la polimerización de algunos diacetilenos en estado sólido en 1969, lo que se conoció como polimerización topoquímica, que impulsó a varios investigadores alrededor del mundo a estudiar las propiedades de estos polímeros. La característica de esta polimerización es que los monómeros cristalinos producen polímeros totalmente cristalinos sin defectos, según un mecanismo de adición 1,4- de las unidades diaacetilénicas (figura 1), lo que lleva a la formación de cadenas

poliméricas altamente conjugadas (con enlaces alternados doble-sencillo-triple), característica que atrajo la atención hacia el estudio de las propiedades ópticas y eléctricas de estos polidiacetilenos.

Sin embargo, la preparación de películas de polidiacetilenos cristalinos con alta calidad óptica es muy difícil, ya que éstos al

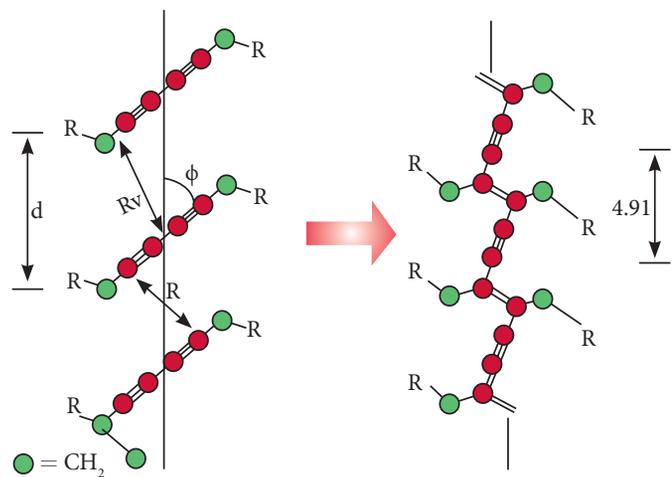
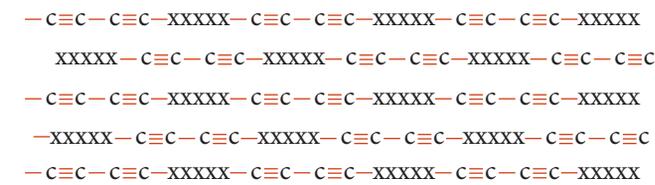


Figura 1. Polimerización en estado sólido de diacetileno.

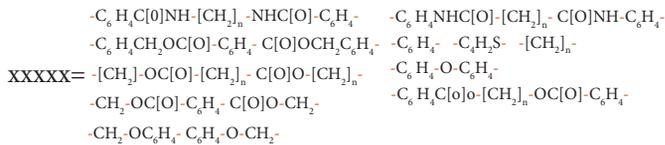


Montserrat Cattaneo Galipienzo, *Serie Mi lugar favorito*, fotografía digital, 2010.



a

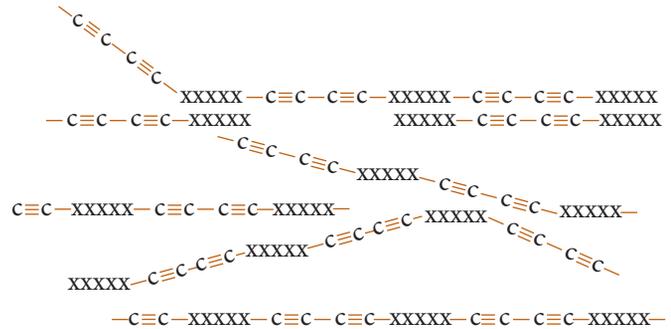
Irradiación de luz UV o calor



b



c



d

Figura 2. Polímeros que contienen grupos diacetilenos. a) Cristalino, que polimerizan en estado sólido para la obtención de polímeros cristalinos, b) con cadenas de polidiacetilenos dentro del polímero, c) cristalino, que no polimerizan en estado sólido y d) amorfo sin orden.

ser policristalinos tienen pobre solubilidad en disolventes y además dispersan la luz haciendo las películas opacas, lo cual no es adecuado para aplicaciones ópticas. Por lo tanto, en mi grupo de investigación dentro del IIM-UNAM se ha llevado a cabo la síntesis de nuevos polímeros que contienen grupos diacetilénicos en la cadena principal y lateral, que son solubles en disolventes orgánicos y permiten la preparación de películas, las cuales por medio de una energía externa (calor o irradiación) hacen reaccionar a las unidades diacetilénicas con el objeto de obtener polímeros con estructuras conjugadas de poli-

diacetilenos. Se ha encontrado que se obtienen tres tipos de polímeros dependiendo de la estructura química de los grupos que unen a las unidades diacetilénicas, como se muestra en la figura 2.

Sintetizamos nuevos polímeros con grupos diacetilénicos para óptica no lineal

Algunos de estos polímeros dieron películas totalmente amorfas que contienen polidiacetilenos dentro de la estructura polimérica, y demostraron tener alta susceptibilidad óptica no lineal de tercer orden (3-NLO). Otros, como los poliésteres alifáticos que contienen diacetilenos, demostraron tener una fuerza mecánica dos veces mayor que el nylon y tres veces mayor que el PET. También se llevó a cabo el estudio de la modificación química y caracterización de polímeros que contienen diacetileno con sulfuro de sodio y halógenos para obtener nuevos polímeros. Asimismo, se esclareció el mecanismo de reticulación de grupos los diacetilénicos dentro de polímeros amorfos.

Se estudió la polimerización en solución y en estado fundido de diacetilenos aromáticos que no polimerizan en estado sólido y se encontró que forman dirradicales estables y que polimerizan por acoplamiento de los dirradicales formados (figu-



Montserrat Cattaneo Galipienzo, Serie *Mi lugar favorito*, 2010, fotografía digital.

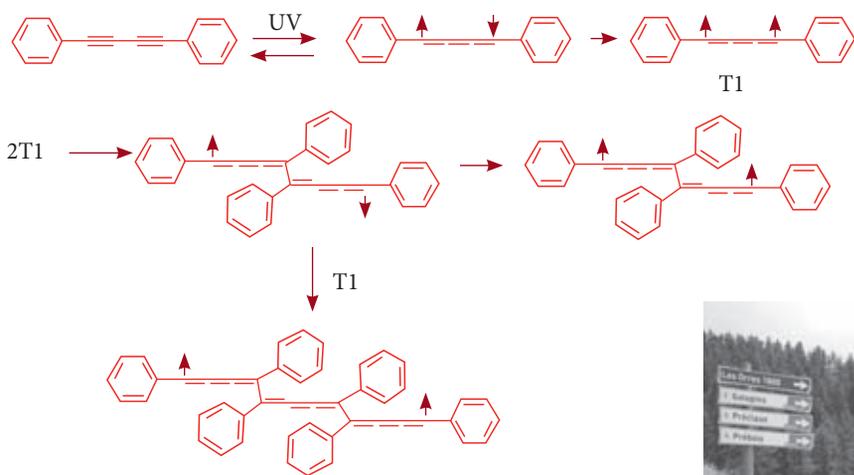


Figura 3. Polimerización de diacetilenos aromáticos en estado amorfo.

ra 3). Los productos son materiales altamente conjugados y presentan propiedades ópticas no lineales de tercer orden.

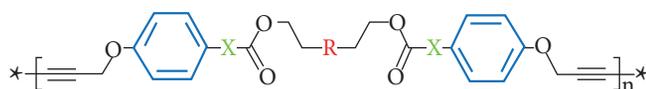
Dentro del desarrollo de nuevos materiales para su aplicación en óptica no lineal de segundo orden se sintetizaron polímeros con grupos 2,4-hexadiinilen-1,6-dioxi dibenzoatos y dicinamato en la cadena principal y colorantes polares en la cadena lateral (figura 4), con el objetivo de mantener la orientación de los colorantes y evitar su relajación por medio de la reticulación de los grupos diacetilénicos de la cadena principal.



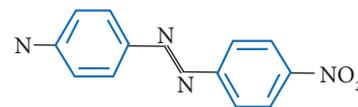
Montserrat Cattaneo Galipienzo, Serie *Mi lugar favorito*, 2010, fotografía digital.



Montserrat Cattaneo Galipienzo, Serie *Mi lugar favorito*, 2010, fotografía digital.



donde X puede ser nada (benzoato) o $\text{---} \text{C} \equiv \text{C} \text{---}$ (cinamato)



R= colorantes polares tales como:

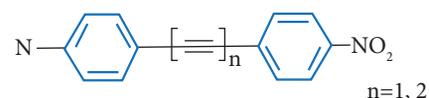


Figura 4. Polímeros para 2-NLO (policinamato o polibenzoato) con colorantes polares.

Algunos de ellos demostraron tener muy alta susceptibilidad óptica no lineal de segundo orden ($\chi^{(2)}$), lo cual se atribuye a la estructura química de la cadena polimérica principal, siendo la posición *para*- la que demostró tener un valor de $\chi^{(2)}$ cinco veces mayor que los polímeros en la posición *meta*-. Los grupos hexadiinilenos (diacetilenos) en la cadena principal se usan para insolubilizar los polímeros por reticulación durante el proceso de orientación de los colorantes polares por el método de descarga corona (figura 5), y así fijar la orientación de los cromóforos, para obtener de esta manera polímeros con altos coeficientes de óptica no lineal de segundo orden y buena estabilidad de orientación.

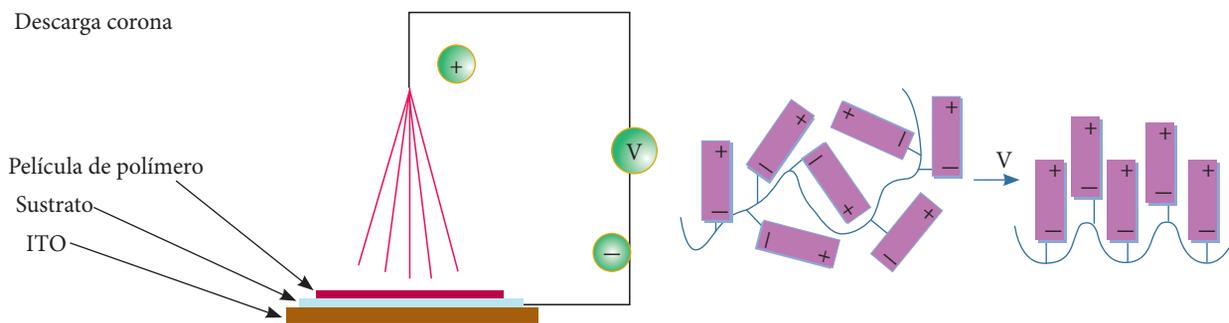


Figura 5. Orientación de colorantes polares en cadena polimérica por descarga corona.

También dentro del estudio de la química de diacetilenos encontramos que los radicales propagadores de polímeros vinílicos, como poliacrilato, polimetacrilato y metacrilonitrilo, se estabilizan por la presencia de algunos diacetilenos aromáticos, que pueden ser observados a alta temperatura (~100 °C) por medio de espectroscopia paramagnética electrónica (EPR). Los radicales propagadores de polímeros vinílicos son radicales inestables (de corta vida), que para observarse con EPR se tienen que congelar a bajas temperaturas. Esta propiedad de los diacetilenos aromáticos sugiere que algunos diacetilenos con baja densidad electrónica podrían ser útiles como aceptores de electrones en sistemas biológicos o fotovoltaicos.

El grupo también se ha interesado en las propiedades de sistemas conjugados con triples enlaces para su aplicación en electrónica y por lo tanto estudió la polimerización en estado sólido de derivados de acetilenos aromáticos, como difenilacetileno, difenildiacetileno y fenildiacetileno. Esta polimerización produce materiales amorfos de carbón, con alto contenido de radicales libres estables (electrones libres), del orden

de 10^{20} espines/g, los cuales presentan débil pero intrínseco ferromagnetismo.

Mi investigación ha generado más de 110 artículos en revistas internacionales durante estos 22 años de trayectoria en el IIM-UNAM.

Agradecimientos

Estas investigaciones no hubiesen sido posibles sin el apoyo otorgado desde 1989 por Conacyt, la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) y el IIM. También quiero agradecer la valiosa participación de varios investigadores, que han contribuido positivamente al desarrollo de la investigación desde 1989, los doctores Serguei Fomine (IIM), Eduardo Muñoz (IF), Guillermina Burillo (ICN), Takashi Isoshima (RIKEN, Japón), Toshiyuki Watanabe (Tokio University of Agriculture and Technology, TUAT, Japón), Susana Hernández (UAEM), Miriam F. Beristain y Alejandra Ortega, entre otros, así como a todos los estudiantes que han realizado veintinueve tesis de licenciatura, siete de maestría y nueve de doctorado.



Montserrat Cattaneo Galipienzo, Serie *Mi lugar favorito*, 2010, fotografía digital.

La cuna de las energías renovables en la UNAM

Julia Tagüeña,* Centro de Investigación en Energía-UNAM y Guillermo Aguilar, IIM-UNAM.

Introducción

Se han cumplido 45 años de la creación del Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM), lo que habla de una consolidación y de una madurez en el área de la ciencia y la ingeniería de materiales. Durante estos años el IIM ha realizado investigación de calidad y formado a muchos estudiantes, pero el mundo ha ido cambiando y nos enfrentamos hoy a problemas nuevos que no se habían previsto, como el cambio climático y el agotamiento de las reservas del petróleo barato. En este proceso de adaptación, los materiales se han vuelto estratégicos para aplicaciones tecnológicas novedosas y para la búsqueda de un desarrollo sustentable. Así, es importante celebrar este aniversario no sólo para festejar, sino también para reflexionar tanto sobre los logros como sobre las perspectivas de desarrollo futuro enmarcadas en la realidad actual.

Una celebración para ser completa debe convocar a los amigos y más aún a los parientes. Tal es el caso del Centro de Investigación en Energía (CIE), que nació a partir del Departamento de Energía Solar que se transformó en el Laboratorio de Energía Solar del Instituto de Investigaciones en Materiales. Es su nacimiento el que le da título a esta contribución y a la exposi-

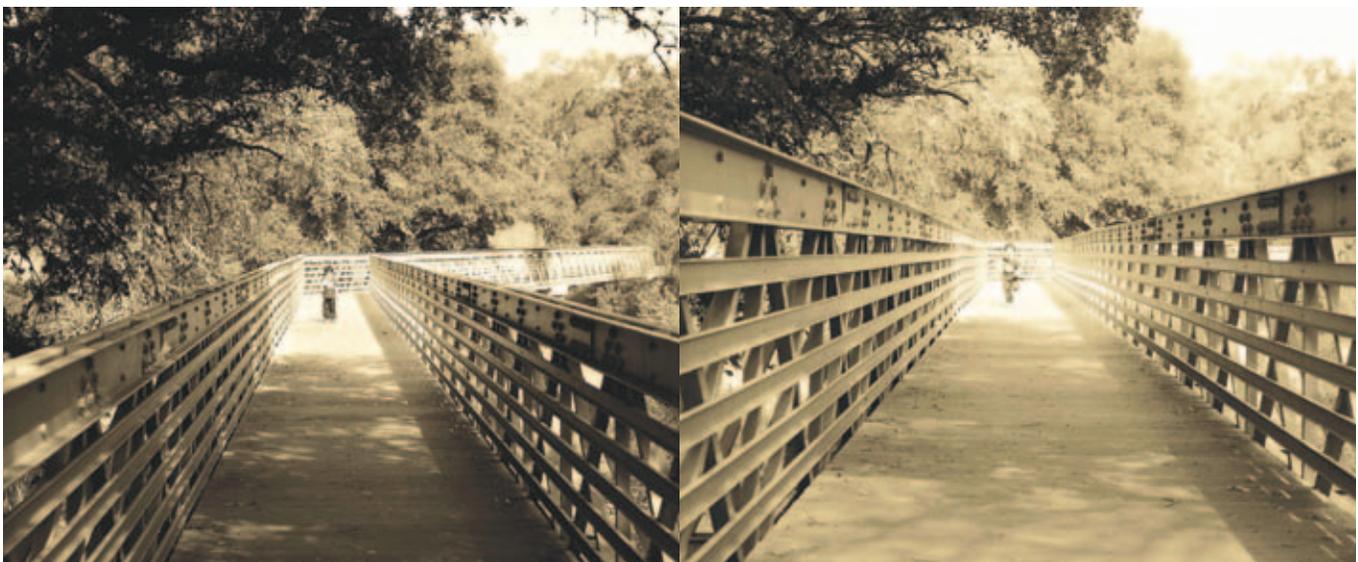
ción fotográfica que se realizó para estos festejos. En la figura 1 se muestra la inauguración de la exposición “45 años de investigación en ciencia-ingeniería de materiales: La cuna de las energías renovables en la UNAM”, realizada por el CIE y el IIM con el apoyo de la Academia de Ciencias de Morelos (figura 2).

En este artículo se hace un recuento histórico, con algunas anécdotas, de esas primeras épocas, de cuando se creó el Laboratorio de Energía Solar en Temixco, Morelos, que se convirtió en el CIE y está muy cerca de convertirse en el Instituto de Energías Renovables.

Comentario de Manuel Martínez (Director del CIE, 1996-2004)

Nuestra investigación institucional en energía solar empieza en 1975 con el trabajo “Contribución al estudio de las aplicaciones térmicas de la energía solar”, elaborado por Roberto Best, M. Juárez, Eric Mayer, Gabriel Olalde e Isaac Pilatowsky, y publicado en las *Memorias* de la IV Conferencia Inter-Americana en Tecnología de Materiales, que se llevó a cabo en Caracas, Venezuela.

En 1977, el doctor Mayer, jefe del Departamento de Tecno-



Mónica Lamadrid, *Forever child*, fotografía, 2012.



Figura 1. Inauguración de la exposición “45 años de ciencia-ingiería de materiales: la cuna de las energías renovables en la UNAM” a cargo del doctor Guillermo Aguilar, por parte del IIM, y de los doctores Manuel Martínez, Mariano López de Haro, Aarón Sánchez y Julia Tagüena, por parte del CIE, el 29 de noviembre de 2012.

logía de Materiales, nos llevó a un grupo de diez académicos del IIM a la primera reunión nacional, en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Unidad Xochimilco, donde 40 especialistas de instituciones públicas y privadas que realizaban investigación, desarrollo tecnológico, fabricación y comercialización relativa a fuentes renovables de energía, decidimos mantener un diálogo permanente y un inventario de recursos humanos dedicados a este tema. Un generoso financiamiento de la Organización de Estados Americanos (OEA) permitió que se empezara a formar un grupo de investigación en el área de la Energía Solar. En 1979 y al regreso del doctor Mayer a su natal Francia, el doctor Gustavo Best fue designado jefe del Departamento de Energía Solar, en la creación del IIM. Cuando en 1980 el doctor Gustavo Best se fue a la Comisión Económica para América Latina, en Santiago de Chile, el doctor Jorge Rickards, director del IIM, me nombró el segundo jefe del Departamento.

El Laboratorio de Energía Solar se localiza en Temixco, donde se tiene la insolación adecuada

Desde la época del doctor Mayer se consideraba imprescindible hacer investigación sobre energía solar fuera de Ciudad Universitaria, para poder tener el campo experimental y la insolación adecuados.

En 1982, el rector Guillermo Soberón aprobó y presupuestó la creación del Laboratorio de Energía Solar (LES) en Temixco, Morelos, gracias a una propuesta presentada por el doctor Ric-

kards y por mí, y diseñada por todos los miembros de dicho departamento, tanto los que trabajaban en el área fototérmica como los del área fotovoltaica.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) en esas fechas nos aprobó, bajo la condición de disponibilidad presupuestal, un apoyo financiero de un millón de pesos para equipar nuestras instalaciones cuando estuvieran construidas. Después de la devaluación de 1992, el Conacyt nos informó que desafortunadamente no contaban con presupuesto. Así, empezó el equipamiento del LES, matraz por matraz, tubería por tubería y tornillo por tornillo, todo logrado a través de la



Mónica Lamadrid, *El tiempo no pasa en San Antonio*, fotografía, 2012.



Mónica Lamadrid,
*Descendants of
Erdrick*, fotografía,
2011.

aprobación de los proyectos presentados por cada uno de los investigadores ¡bravo!

El doctor Pilatowsky y yo gestionamos un terreno de 28,000 metros cuadrados de los ejidatarios de Temixco, que fue cedido a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) con el propósito exclusivo de que nosotros lo utilizáramos.

En agosto de 1984 se terminó la construcción en una superficie de 4,200 metros cuadrados y en 1985 el rector Jorge Carpizo, junto con el director del IIM, el doctor Guillermo Aguilar, inauguraron las instalaciones del LES. El doctor Luis Enrique Sansores supervisó la construcción y fue el primer jefe del LES.



Mónica Lamadrid, *Iglesia de St. Mary en San Antonio*, fotografía, 2012.

Los objetivos específicos para los que fue creado el LES son: ofrecer las condiciones adecuadas para realizar la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico en energía solar; participar en la formación de recursos humanos a través de programas de posgrado en energía solar y de cursos de actualización; difundir los conocimientos generados como producto de las investigaciones, y participar en la formación de una cultura nacional para el aprovechamiento de la energía solar y otras fuentes renovables.

El aprovechamiento de la energía solar es uno de los objetivos del LES

En 1996, la madurez, productividad y relevancia de la labor desarrollada por los académicos del LES, a propuesta del rector José Sarukhán, conduce al Consejo Universitario a crear, el 13 de noviembre, el Centro de Investigación en Energía (CIE), con 21 investigadores, nueve técnicos académicos y dos profesores. Yo fui designado director por el rector Sarukhán.

Comentario de Isaac Pilatowsky (Coordinador del posgrado, 1986-1991, 1992-1994)

En el transcurso del año 1981, de manera paralela a la gestión para la creación del Laboratorio de Energía Solar, se analizó la posibilidad de crear un programa de posgrado con el tema de la energía solar. Dado al carácter multidisciplinario de este proyecto y el escaso interés por esta nueva temática, ninguna de las Escuelas y Facultades en disciplinas afines se interesó por adoptar el programa.

Ante tan generalizada indiferencia, se llevó a cabo un pri-

mer acercamiento con la Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades (UACPyP), que coordinaba trece proyectos de posgrado, tanto del área de humanidades como científica, cuya principal característica era la vinculación de la docencia con la investigación. Gran parte de estos posgrados estaban orientados hacia nuevas áreas del conocimiento científico, como biomedicina, biotecnología y ecología, entre otras.

Al principio el LES ofrecía la maestría en energía solar con dos opciones: fototérmica y fotovoltaica, y una especialización en heliodiseño

El marco legal del CCH permitía que los centros e institutos de investigación pudieran ser sedes de proyectos académicos de posgrado, en donde los propios investigadores eran los responsables de la función de formación.

Con el apoyo del personal académico del LES, la infraestructura administrativa e integradora de la UACPyP y el marco legal del CCH se concretó una propuesta curricular que contenía una maestría en energía solar con dos opciones, la fototérmica y la fotovoltaica, y una especialización en heliodiseño. En la maestría, los enfoques y contenidos científicos y tecnológicos estaban orientados para integrar el conocimiento del aprovechamiento de la energía solar en diferentes áreas de aplicación, ofreciendo una alternativa energética viable para proyectos de sustentabilidad. La propuesta de la especialización en heliodiseño fue creada para ofrecer una serie de herramientas de diseño, que se podían aplicar a muy diferentes disciplinas, pero con un enfoque especial en la integración de nuevas tecnologías energéticas, en particular la correspondiente a la conversión de la energía solar aplicada al hábitat, necesarias en la nueva formación de arquitectos, ingenieros civiles y técnicos de la construcción. Esta primera versión de la propuesta se concluyó en 1982.

Comentario de Eduardo Ramos (Jefe del LES, 1990-1992)

En 1980, cuando se decidió que se construiría el LES en Temixco, como una subsede foránea del Instituto de Investigaciones en Materiales, no se podía predecir la crisis económica en la que se vería sumido el país dos años después. El presupuesto asignado a la construcción del laboratorio tuvo que ser revisado muchas veces y después de un gran esfuerzo para no cancelar el proyecto, se terminó el edificio que naturalmente tuvo que ser austero en muchas de sus partes y francamente espartano en otras. El local que alojaría el laboratorio del Grupo de Transferencia de Energía y Masa se encontraba entre los espa-

cios del segundo grupo. Con pisos de cemento y paredes sin pintura, el lugar estaba muy lejos de satisfacer las condiciones ideales de un recinto destinado a alojar equipo de alta sofisticación que nos permitiera llevar a cabo delicados experimentos de dinámica de fluidos. Así las cosas, nos instalamos y colocamos la única computadora con que contaba el grupo, una HP con un CPU y capacidad de 15 MB de memoria en el disco duro. Esta única pieza de equipo experimental se perdía en los

270 m² que constituían el área de nuestro laboratorio. Este equipo nos permitió capturar y almacenar las mediciones de temperatura que se hacían con termopares en sistemas experimentales simples. La escasez de nuestro equipo experimental rivalizaba con el intervalo de tiempo que podíamos estar en el laboratorio, pues el viaje diario desde la Ciudad de México y las salidas a comer a las fondas más cercanas, situadas en la carretera federal Acatlipa-Acapulco, robaba gran parte del tiempo útil que debería haberse dedicado a la investigación.

Desde el inicio, la filosofía de trabajo de investigación del grupo estuvo basada en la complementación de los métodos teóricos y experimentales para una comprensión integral de los fenómenos bajo escrutinio. Esto exigió un formidable es-



Mónica Lamadrid,
Christmas' spirit,
fotografía, 2012.

fuerzo, pues la investigación experimental moderna en mecánica de fluidos requiere de amplio espectro de conocimientos auxiliares que incluyen la instrumentación óptica y electrónica, mientras que para hacer investigación teórica son indispensables los desarrollos de técnicas de análisis de matemáticas aplicadas y de integración numérica de las ecuaciones que describen la dinámica de los fluidos. Intentar desarrollar simultáneamente todas las técnicas requeridas estaba varios órdenes de magnitud más allá de las posibilidades de un grupo de investigación incipiente.

Lo que nos faltaba en equipamiento se compensaba con el entusiasmo de los estudiantes, cuya aportación fue fundamental en estas etapas tempranas del grupo.

Comentario de Roberto Best (Investigador del IIM-LES-CIE)

El primer trabajo de investigación sobre refrigeración solar que se realizó en la UNAM se hizo en 1973, en el entonces Centro de Investigación en Materiales (CIM), a partir de una propuesta de un profesor de origen austriaco, el doctor Feodor Goldis, quien la presentó al director del CIM, el doctor Juan Antonio Careaga, y éste a su vez le sugirió la idea al doctor Isaac Pilatowsky. La propuesta presentada estaba contenida en un par de hojas cuadrículadas en las que se describía en forma gráfica un refrigerador operado con energía solar, diseñado para la conservación de alimentos, contenidos en un almacén construido con otates. Pilatowsky no tenía ni la más lejana idea de lo que esta propuesta representaba e incluso llegó a pensar que alguien se estaba burlando de él. Después de asimilar el contenido

de la propuesta (dos hojas), un poco de investigación adicional y principalmente motivado por conseguir trabajo, concluyó que era técnicamente factible hacer el refrigerador, sin imaginar en los problemas en que se estaba metiendo. Para cumplir con semejante objetivo, solicitó mi colaboración, por ahí de 1975, y así diseñé, construí y evalué el primer prototipo experimental de un refrigerador por absorción construido en el país o por lo menos en la UNAM. Este dispositivo se evaluó al interior del laboratorio y se usó para calentarlo resistencias eléctricas, simulando el futuro calentamiento solar. Fue sorprendente ver cómo se lograban temperaturas por debajo de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la formación de escarcha en el recipiente donde se evaporaba el amoniaco.

El primer refrigerador operado con energía solar se hizo en el LES

Después de varios años de trabajo en Ciudad Universitaria se planteó la construcción del LES en Temixco, en primer lugar debido a los altos valores de radiación solar de la zona, gracias a su ubicación geográfica, y segundo por la posibilidad de mayor espacio para instalaciones necesarias para la investigación.

El trabajo de investigación aplicada en refrigeración solar se desarrolló en dos vertientes, por un lado el sistema de refrigeración y por el otro, el desarrollo de la tecnología solar para operar el sistema de refrigeración.



Figura 2. Exposición “45 años de ciencia-ingeniería de materiales: la cuna de las energías renovables en la UNAM”.



Figura 3. Del Laboratorio de Energía Solar (LES) al Centro de Investigación en Energía (CIE).

Comentario de Mariano López de Haro (Investigador del IIM-LES-CIE)

El grupo de física teórica se constituyó en el entonces Laboratorio de Energía Solar del IIM alrededor de un año después de la inauguración del mismo. En su origen lo formamos dos integrantes: Julia Tagüeña y yo para responder a circunstancias coyunturales. Por una parte, mi incorporación al LES en enero de 1986 ocurrió sobre todo debido a mi deseo de abandonar la Ciudad de México después del terremoto de 1985. Entonces yo estaba adscrito al departamento de Polímeros del Instituto y mi cambio de departamento fue facilitado por la amable acogida que me brindó el grupo de Transferencia de Calor. En el caso de Julia, que formaba parte del departamento de Estado Sólido, fueron razones familiares las que la trajeron a Temixco unos meses más tarde. Inmediatamente después de su llegada, para ambos fue evidente la coincidencia de intereses académicos y formación. Aludiendo a este motivo y al convencimiento de que un pequeño grupo teórico podría ser un buen apoyo para los grupos experimentales del laboratorio, iniciamos nuestras andanzas. Unos meses más tarde, preocupados por el reducido número de miembros del laboratorio (cuestión que nos ponía en riesgo de desaparecer), nos dimos a la tarea de planear el crecimiento y consolidación de nuestra dependencia. Este proceso, lleno al principio de ingenuidad y con metas bastante imprecisas, a la postre permitió, en particular en nuestra coordinación, un crecimiento bastante ordenado y acorde con las

líneas de investigación que deseábamos desarrollar. Recuerdo que, en compañía de Eduardo Ramos, cuando regresé de un periodo sabático en el verano de 1988, me reuní con Antonio del Río y Sergio Cuevas. Antonio quería hacer su doctorado conmigo y Sergio, quien trabajaba en el Instituto de Investigaciones Eléctricas, estaba interesado en llevarlo a cabo con Eduardo. En esa reunión discutimos su posible incorporación al laboratorio, lo que ocurrió después de sortear varias dificultades unos años más tarde. Con ellos, el grupo de física teórica logró consolidarse.

Comentario de Claudio Estrada (Director del CIE, 2004-2012)

Se sabe que cada segundo nacen ocho niños que requerirán un suministro energético seguro y económico para tener un nivel de vida digno. Con este crecimiento poblacional, los requerimientos de energía primaria del mundo deberán casi duplicarse para el año 2030 y más de 80 por ciento de la población mundial estará viviendo en países en desarrollo. Asimismo, apenas empezamos a ver el costo real del impacto ambiental causado por el suministro convencional de energía. México no se excluye de esta reflexión. Las actuales inversiones en energía no son consistentes con los retos que nuestro sistema de suministro de energía enfrenta. El enfoque de generación de energía

centralizada no será capaz de suministrar energía a la mayor parte de la población mundial en una forma económica y respetando el medio ambiente local y global. El protocolo de Kyoto, firmado por México, convoca a la comunidad internacional a una reducción de los gases de efecto invernadero y promueve acciones públicas encaminadas a la transición a las energías renovables.

Lo anterior justifica plenamente la urgencia de realizar investigación básica, aplicada, desarrollo tecnológico, desarrollo de proyectos demostrativos, desarrollo industrial y de mercados en nuevas tecnologías de energía, así como de formar recursos humanos altamente especializados. Las energías renovables ya han mostrado avances importantes en las últimas décadas. La impresionante reducción de costos de estas tecnologías, junto con la esperada subida de los precios de los hidrocarburos en el presente y el futuro, así como la valoración de los costos ambientales ligados a los sistemas convencionales de suministro de energía, han hecho posible que algunas tecnologías de energías renovables sean totalmente competitivas para su uso masivo hoy en día, y que otras lo serán en los años venideros. Todo esto, sumado al enorme potencial de recursos de energías renovables disponibles en México, por cierto, mucho mayor este potencial que el que tenemos de combustibles fósiles, nos hace pensar en un futuro promisorio en el aprovechamiento de las energías renovables en nuestro país.

Actualmente, el CIE es el único centro de investigación de la UNAM dedicado principalmente al estudio y desarrollo de aplicaciones de las energías renovables en México. El carácter de la investigación en energía, en particular en energías renovables, es multidisciplinario, por eso la actual estructura del CIE que atiende el estudio de materiales, de procesos y de sistemas es conveniente para generar conocimiento, nuevo y de frontera, y desarrollar tecnologías que aprovechen las fuentes renovables de energía.

Comentario de Guillermo Aguilar (Director del IIM, 1988-1992 y 1996-2000)

En muy breve tiempo el CIE se transformará en el Instituto de Investigaciones en Energías Renovables. Sin duda este es un acontecimiento memorable en la historia y desarrollo de una institución académica. Es, en parangón con la trayectoria académica de un individuo, como alcanzar el doctorado.

Así las cosas, para mí es como asistir a la ceremonia del otorgamiento de toga y birrete, no de un hijo, sería demasiado petulante, si no de un ahijado muy querido.

Creo que el parangón es válido y certero. Yo vi nacer el Departamento de Energía Solar un poco a lo lejos, lo vi desarrollarse y con grandes esfuerzos llegar a su pubertad, me tocó apoyarlo y comprender su deseo de libertad y ansiedad de separarse y alejarse del “hogar” e irse a Temixco, donde como

“padrino” comprensivo me tocó proveerlo de las mejores herramientas para su maduración, fue el caso de la primera *mainframe* con la que contaba el IIM y que tenía el propósito de atraer a los investigadores de éste a acudir a Temixco para trabajar y colaborar con el “heroico” personal allá ubicado.

Ahí se desarrolló, con mucho éxito y más esfuerzo, valiéndose de grandes amigos como la Unidad de los Ciclos Profesional y de Posgrado del CCH para crear los posgrados de maestría en Energía Solar en sus versiones fototérmica y fotovoltaica y una especialidad en heliodiseño y el Instituto Tecnológico de Zacatepec que proveyó sus primeros estudiantes.

En 1996 me tocó regresar como director al IIM y participar como consejero en la sesión del Consejo Universitario en la que se creó el Centro de Investigación en Energía. Es una satisfacción verlo seguir creciendo.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Investigación en Energía de la UNAM compartir los textos del libro Energías Renovables, 25 años de la UNAM en Temixco (2010) y el uso de las fotografías a la maestra Mireya Gally de la Secretaría de Gestión Tecnológica y Vinculación del CIE (figura 3).

*jtag@unam.mx



Mónica Lamadrid, Rio de San Antonio Texas, fotografía, 2011.



Polymat



**INTERNATIONAL CONFERENCE
ON POLYMERS AND
ADVANCED MATERIALS
OCTOBER 13-17, 2013**



- * Functional Polymers
- * Functional Organic Materials
- * Inorganic and Hybrid Materials
- * Organometallic Chemistry and Catalysis
- * Bioinorganic and Coordination Chemistry
- * Poster Session

Contact:
Prof. Ernesto Rivera Garcia
Institute of Research in Materials, UNAM
Telephone: +52(55)5622-4733
+52(55)5622-4608
Fax: +52(55)5616-1201
E-mail: polymat@iim.unam.mx


Las Brisas

HUATULCO

SILQCOM 2013

**LATINOAMERICAN SYMPOSIUM ON
COORDINATION AND ORGANOMETALLIC
CHEMISTRY**

