



Cinvestav

26

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL | VOL. 26, NÚM. 04 | OCTUBRE - DICIEMBRE 2007



APLICACIONES DEL CONOCIMIENTO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

Posgrados Cinvestav

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

El Cinvestav cuenta con 52 programas de posgrado, 18 de los cuales son de competencia a nivel internacional (CNI), 18 de alto nivel (AN), 12 consolidados (C) y 2 de reciente creación (RC). En 2007 se graduaron 323 estudiantes de maestría y 142 de doctorado, cifras que avalan la calidad de los programas de este Centro.

Ciencias Biológicas y de la Salud

Biología Celular

Maestría: Inscripciones en febrero (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (CNI)

Biología Marina

(Cinvestav-Mérida)
Maestría: Admisiones en mayo (C)

Biomedicina Molecular

Maestría: Inscripciones marzo y septiembre (AN)
Doctorado: Admisiones mayo, junio y noviembre (AN)

Bioquímica

Maestría: Admisión abierta hasta junio (AN)
Doctorado: Admisión abierta hasta julio (AN)

Biotecnología

Maestría: Admisiones en mayo y junio (AN)
Doctorado: Inscripciones todo el año (AN)

Biotecnología de Plantas

(Cinvestav-Guanajuato)
Maestría (C) y Doctorado (C)
Admisiones de febrero a junio

Ciencias Marinas

(Cinvestav-Mérida)
Doctorado: Admisiones en mayo y octubre (C)

Farmacología

Maestría: Entrevistas: junio (C)
Doctorado: Admisiones todo el año (CNI)

Fisiología, Biofísica y Neurociencias

Especialidades en Fisiología Celular y Molecular, y Neurobiología Celular y Molecular
Maestría: Exámenes y entrevistas en junio (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (CNI)

Genética y Biología Molecular

Maestría: solicitudes de mayo y junio (CNI)
Doctorado: solicitudes en septiembre (CNI)

Ingeniería y Física Biomédicas

(Cinvestav-Monterrey)
Maestría: Exámenes en julio y agosto (RC)

Neurofarmacología y Terapéutica

Experimental
(Cinvestav-Sede Sur)
Maestría: Admisión abierta hasta junio (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (CNI)

Patología Experimental

Maestría: Admisiones en mayo y junio (C)
Doctorado: Inscripciones todo el año (CNI)

Toxicología

Maestría: Examen en junio (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (AN)

Ciencias Sociales y Humanidades

Ecología Humana

(Cinvestav-Mérida)
Maestría: Admisiones hasta junio (AN)

Investigaciones Educativas

(Cinvestav-Sede Sur)
Maestría: Admisiones de febrero a marzo (AN)
Doctorado: Inscripciones de marzo a abril (CNI)

Matemática Educativa

Maestría: Exámenes en mayo
Doctorado: Admisión en agosto y noviembre (C)

Ciencias Exactas y Naturales

Física

Maestría (CNI) y Doctorado (C)
Admisiones en febrero y mayo

Física Aplicada

(Cinvestav-Mérida)
Especialidades en maestría de Física Aplicada y Físicoquímica; y en doctorado de Física Aplicada y Física Teórica
Maestría: Admisión enero y julio (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (AN)

Matemáticas

Especialidades en Matemáticas Básicas, y Matemáticas Computacionales
Maestría: Admisiones en febrero y marzo (CNI)
Doctorado: Inscripciones todo el año (CNI)

Ciencias Químicas

Doctorado Directo: Admisiones en mayo (CNI)

Tecnología y Ciencias de la Ingeniería

Computación

Maestría (AN) y Doctorado (AN)
(Unidad Zacatenco, ciudad de México)
Exámenes de Admisión en julio

(Cinvestav-Tampulipas)

Registro de aspirantes enero a julio

Control Automático

Maestría: Admisiones en abril (AN)
Doctorado: Admisiones en junio (CNI)

Ingeniería Cerámica

(Cinvestav- Saltillo)
Maestría: Admisiones en julio (C)

Ingeniería Eléctrica

(Cinvestav-Guadalajara)
Especialidades en Ciencias de la Computación, Control Automático, Diseño Electrónico, Sistemas Eléctricos de Potencia y Telecomunicaciones
Maestría: Admisiones hasta junio (AN)
Doctorado: Inscripciones todo el año (AN)

Ingeniería Eléctrica

Especialidades en Bioelectrónica, Comunicaciones, Electrónica del Estado Sólido y Mecatrónica
Maestría: Admisiones en mayo y junio (C)
Doctorado: Abierto todo el año (C)

Ingeniería Metalúrgica

(Cinvestav-Salttillo)
Maestría: Admisiones en julio (C)

Ingeniería Metalúrgica y Cerámica

(Cinvestav-Salttillo)
Doctorado: Admisiones en julio (AN)

Materiales

(Cinvestav-Querétaro)
Maestría: Admisiones en mayo (AN)
Doctorado: Examen y entrevista en junio (AN)

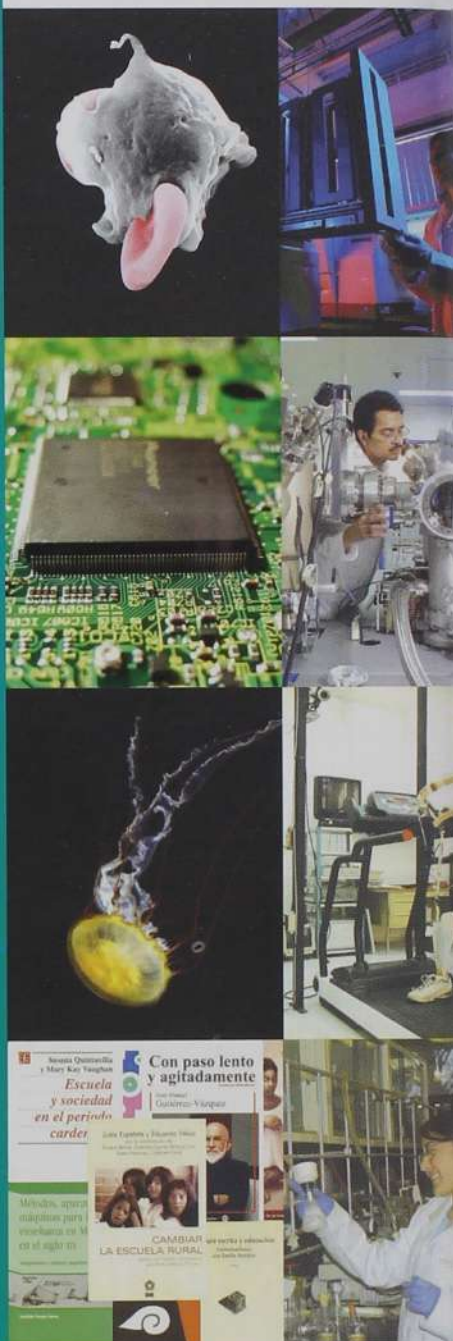
Robótica y Manufactura Avanzada

(Cinvestav-Salttillo)
Maestría (RC) y Doctorado
Inscripciones de abril a julio



Cinvestav

www.cinvestav.mx



Cinvestav

octubre-diciembre 2007



Foto: Nmagallan

APLICACIONES DEL CONOCIMIENTO
CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO

Contenido

Editorial	3
Luz Manuel Santos Trigo	
Potencial de aplicación de polímeros renovables en la fabricación de materiales biodegradables	4
Fernando Martínez Bustos, Ernesto Aguilar Palazuelos, Tomás Galicia García y Omar A. Jiménez Arévalo	
Desarrollo de soluciones a bajo costo	12
E. Montoya-Suárez y F. Sandoval-Ibarra	
Robótica médica	19
Arturo Minor Martínez	
Nicolás Cusa: con la matemática por delante	22
Carlos Ímaz Jahnke	
Fabricación de películas para elaboración de bolsas desechables biodegradables con el uso de almidón y fibra de bagazo de caña	25
Fernando Martínez Bustos, Tomás Galicia García, Ernesto Aguilar Palazuelos y Omar A. Jiménez Arévalo	
Observando al pasado del Universo: el fondo de microondas y el premio Nobel de Física 2006	32
Tonatiuh Matos Chassin y Abel Pérez Lorenzana	
El futuro de la generación de conocimiento en México	42
Horacio de la Cueva	
ALICE: recreando el origen del Universo	48
Gerardo Herrera Corral	
El sistema inmune como blanco de los efectos de contaminantes ambientales	52
Libia Vega Loyo	
Sobre la construcción de rutas potenciales de instrucción con el uso de un software dinámico	58
Hugo Espinosa Pérez y Aarón Reyes Rodríguez	
Un megaproyecto de divulgación científica	66
Angelina Flores Parra	
Reseña	
Fenómenos de transporte en semiconductores	72
Julio Mendoza Álvarez	
Reseña	
Ideas fundamentales de la superconductividad	74
Miguel Ángel Pérez Angón	
Discurso del Dr. Carlos Artemio Coello Coello	76
Angelina Flores Parra	
Noticias Cinvestav	78



Cinvestav

CINVESTAV

René Asomoza Palacio
DIRECTOR GENERAL

Arnulfo Albores Medina
SECRETARIO ACADÉMICO

Marco Antonio Meraz Ríos
SECRETARIO DE PLANEACIÓN

Guillermo Augusto Tena y Pérez
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Jania Argüelles Castro
JEFA DE DIFUSIÓN

REVISTA CINVESTAV

Luz Manuel Santos Trigo
DIRECTOR EDITORIAL

Luisa Bonilla Canepa
Josefina Miranda López
ASISTENCIA EDITORIAL

Gordana Segota
Carlos Martínez
CORRECCIÓN DE ESTILO

SERIF
Héctor Montes de Oca
Carolina Rodríguez
DISEÑO

SUSCRIPCIONES Y DISTRIBUCIÓN
revista@cinvestav.mx
T/F (55) 50 61 33 71

CONSEJO EDITORIAL

Marcelino Cerejido Mattioli
FISIOLOGÍA

Carlos Artemio Coello Coello
SECCIÓN DE COMPUTACIÓN

Antonio Fernández Fuentes
UNIDAD SALTILLO

Eugenio Frixione Garduño
SECCIÓN DE METODOLOGÍA
Y TEORÍA DE LA CIENCIA

Gabriel López Castro
FÍSICA

Luis Enrique Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA

José Luis Naredo Villagrán
UNIDAD QUERÉTARO

Rodrigo Tarkus Patiño Díaz
UNIDAD MÉRIDA

Ángeles Paz Sandoval
QUÍMICA

Betzabet Quintanilla Vega
SECCIÓN EXTERNA DE TOXICOLOGÍA

Eduardo Remedi Alione
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS

Arturo Sánchez Carmona
UNIDAD GUADALAJARA

Editorial

Entre los objetivos de un proyecto institucional de difusión, divulgación de la ciencia y educación en ciencias y tecnología, del cual la revista *Cinvestav* forma parte, se destaca la necesidad de que el conocimiento especializado o de frontera, que se desarrolla y produce en las disciplinas científicas, no sólo se publique en libros o revistas especializadas, sino que también se pueda compartir y comunicar a la sociedad en su conjunto. ¿Cómo transformar un artículo de investigación en un trabajo o ensayo de divulgación? ¿Qué lenguaje o forma de escribir resulta apropiado para divulgar los temas y resultados científicos? ¿A qué comunidad va dirigida la divulgación o difusión? ¿Cómo evaluar el éxito de este tipo de actividad? ¿Por qué es importante un proyecto de esta naturaleza? Es evidente que la ruta para que la comunidad científica comunique a un público amplio sus resultados y procesos de investigación no es inmediata o espontánea. Se requiere de una reflexión continua y sistemática acerca de las formas de construir y mantener una cultura institucional en que se valoren y fomenten las actividades de difusión y divulgación del quehacer y productos científicos y tecnológicos. En este contexto, resulta necesario que en la educación de los futuros científicos se incluyan de manera formal aspectos relacionados con la difusión y divulgación de las prácticas y resultados científicos.

La revista *Cinvestav* intenta generar condiciones y oportunidades para que la comunidad de nuestra institución participe directamente en la promoción de las actividades que se realizan alrededor de la ciencia y la tecnología. La respuesta ha sido alentadora ya que varios investigadores de distintas áreas del conocimiento han publicado en la revista no sólo artículos que dan cuenta del desarrollo de los proyectos de investigación, sino también han presentado la agenda académica y dinámicas de trabajo que se generan de manera multidisciplinaria. Desde enero de 2006, cuando la revista adquiere el nombre *Cinvestav*, antes *Avance y Perspectiva*, han contribuido alrededor de 57 autores de nuestra institución con trabajos que comprenden todas las áreas que se cultivan en el Centro, así como 18 autores de otras instituciones y cinco de otros países. De esa manera, los contenidos de la revista han sido un elemento de promoción para informar y atraer a posibles candidatos a continuar sus estudios en nuestra institución.

En los últimos 20 años, la naturaleza de las actividades de investigación ha estado cambiando significativamente debido a la evolución y la disponibilidad de herramientas computacionales. Así, la práctica científica demanda el desarrollo o construcción de nuevas formas de pensar y trabajar los problemas en la ciencia y la tecnología. ¿Qué cambios o transformaciones son necesarios en los modelos de investigación y desarrollo que se practican en nuestra institución? ¿Qué significa colaborar en proyectos multidisciplinarios? ¿Qué conocimiento y formas de pensar deben construir los futuros investigadores para que se incorporen exitosamente a las actividades de investigación? ¿Cuáles son los fundamentos de la ciencia y la tecnología que se deben promover en la formación de los investigadores? ¿Qué cambios resultan relevantes en la infraestructura de investigación que facilite la colaboración y la formación de investigadores? Los temas relacionados con estas preguntas son relevantes tanto en la producción del conocimiento como en la agenda de difusión y divulgación de la ciencia. Su discusión abierta y organizada debe ser una práctica que oriente y dé sustento a los nuevos programas de investigación que respondan a los avances y desarrollos de la sociedad. La revista *Cinvestav* es un medio donde se aborda el análisis y la discusión de estos temas.

Luz Manuel Santos Trigo
msantos@cinvestav.mx

Potencial de aplicación de polímeros renovables en la fabricación de materiales biodegradables

LOS CO-PRODUCTOS Y RESIDUOS AGRÍCOLAS NO ALIMENTICIOS Y OTROS RECURSOS RENOVABLES OFRECEN UNA FUENTE CASI ILIMITADA DE MATERIAS PRIMAS Y POTENCIALMENTE SOSTENIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES BIODEGRADABLES. AUNQUE APENAS SE ESTÁN DESARROLLANDO, EXISTE UN MERCADO CADA VEZ MAYOR PARA LOS PRODUCTOS BIODEGRADABLES, POR LO QUE SE PREVE UNA GAMA COMPLETA DE NUEVOS USOS.

Fernando Martínez Bustos, Ernesto Aguilar Palazuelos, Tomás Galicia García y Omar A. Jiménez Arévalo

En las pasadas décadas, los materiales de empaque fabricados de polímeros sintéticos derivados del petróleo han sido ampliamente usados en todo el mundo. Sin embargo, cada vez existe una mayor conciencia respecto a su difícil degradación, incineración contaminante y al daño que provoca a la capa de ozono. En general, en nuestro país se producen alrededor de 32 millones de toneladas de basura urbana cada año; corresponde a los plásticos aproximadamente 4% (1.28 millones de toneladas), de los cuales se reciclan alrededor de 9.43%. En la industria moderna existe una gran variedad de polímeros convencionales, como polietileno y polipropileno, que se han ido acumulando durante años como residuos sólidos no biodegradables: bandejas y recipientes para alimentos, envolturas y

bolsas; utensilios para comida rápida como tazas, vasos, platos y cubiertos; autopartes, piezas mecánicas, engranajes de artefactos electrodomésticos, recubrimientos de conductores eléctricos, espumados para protección de productos electrónicos, bocinas y juguetes; artículos médicos, envases, botellas, implantes.

Mientras los recursos petrolíferos van disminuyendo [1], en México, como en muchos otros países, el problema que causa el manejo de los desechos sólidos no biodegradables crece a pasos agigantados. En países desarrollados, sin embargo, ya se están aplicando normas de estricto control para las industrias generadoras de materiales no biodegradables. Como una medida para resolver el problema, muchos investigadores trabajan en esta, ahora estratégica, área de sustitución de materiales.

FERNANDO MARTÍNEZ BUSTOS Profesor titular del Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero químico por la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana; maestría y doctorado en Ciencias por la Universidad Estadual de Campinas São Paulo, Brasil. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III). fmartinez@qro.cinvestav.mx

ERNESTO AGUILAR PALAZUELOS Estudiante recién graduado de doctor en el Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero bioquímico y maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma de Sinaloa. El tema de su tesis doctoral fue "Obtención y caracterización de materiales biodegradables utilizando las tecnologías de extrusión termoplástica y moldeo por inyección". [eaguilari10@gmail.com](mailto: eaguilari10@gmail.com)

TOMÁS GALICIA GARCÍA Estudiante de doctorado del Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencia y Tecnologías por la Universidad de Sonora. El tema de su tesis doctoral fue "Obtención y caracterización de películas para bolsas biodegradables, utilizando la tecnología de extrusión termoplástica". tg Galicia@qro.cinvestav.mx

OMAR ACONELTZIN JIMÉNEZ ARÉVALO Investigador titular B, CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro. Ingeniero mecánico eléctrico de la UNAM. Doctor en Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica en Propiedades Mecánicas de Materiales Poliméricos Reforzados por la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (España). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (candidato a investigador). omar.jimenez@ciateq.mx

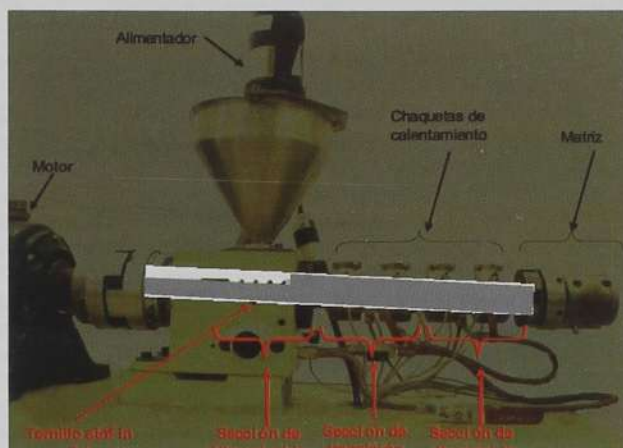


Figura 1. Principales partes de un extrusor de tornillo simple.

Una alternativa viable para tratar de disminuir el problema de la contaminación ambiental, la constituyen los polímeros naturales. Almidón, celulosa, proteínas, fibras y derivados están siendo empleados en la elaboración de materiales biodegradables que habrán de sustituir los plásticos convencionales. Diversos plásticos biodegradables en mezclas con polímeros sintéticos han sido desarrollados comercialmente (cuadro 1) para producir materiales que cumplan con los requisitos funcionales mínimos. Figuran entre éstos algunos materiales de poliéster con propiedades físicas (punto de fusión, fuerza de tensión y elongación) similares a las de los plásticos sintéticos.

Sin embargo, la biodegradabilidad de un material no depende únicamente de las materias primas usadas para su fabricación; se deben considerar también la estructura química del material y la constitución del producto final. La velocidad de degradación de los polímeros depende de las condiciones del medio ambiente (temperatura, humedad, pH), así como de las características propias del polímero: presencia de enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, hidrofobicidad, estereoquímica, peso molecular, cristalinidad, superficie específica, temperatura de transición vítrea y de fusión, distribución de la secuencia, incluso el tipo de microorganismos utilizados

para su degradación [2]. En el mejor de los casos, los materiales deben ser transformados en biomasa aerobia microbiana con producción de H_2O y CO_2 o en biomasa anaeróbica con producción de compuestos hidrocarbonados, ácidos orgánicos y alcoholes [2].

El almidón es el polímero más ampliamente estudiado como matriz en la fabricación de materiales biodegradables y en sustitución parcial o total en plásticos tradicionales. Es un termoplástico natural de carácter fuertemente hidrofílico, de bajo costo, renovable y de alta disponibilidad; presenta una estructura similar a la de los polímeros sintéticos, de alto peso molecular, y una poderosa fuerza de unión entre sus macromoléculas [3]. Esencialmente, el almidón es un homopolímero de D-glucosa en su conformación más estable y se encuentra constituido por dos componentes mayoritarios: la amilosa, molécula básicamente lineal unida mediante enlaces alfa-D(1-4), y la amilopectina, molécula ramificada unida a través de enlaces alfa-D(1-4) en forma lineal, y alfa-D(1-6) en los puntos de ramificación. Este polímero se encuentra difundido ampliamente en cereales, tubérculos, raíces y algunos frutos en proporciones que pueden variar de < 10 a 90% del peso seco de la especie vegetal. Durante el año 2000, la producción mundial de almidón fue de 48.5 millones de toneladas. Recientes investigaciones

La biodegradabilidad de un material no depende únicamente de las materias primas usadas para su fabricación; se deben considerar también la estructura química del material y la constitución del producto final.

han sido enfocadas a la conversión del almidón en un material termoplástico por el proceso de extrusión [4,5]. En teoría, cuando está presente en mezclas con polímeros sintéticos, este polímero natural acelera la degradación y/o la fragmentación de las cadenas de estos polímeros. La acción microbiana degrada y consume el almidón, creando poros en el material que pueden conducir a su ruptura [3]. Han sido reportados algunos trabajos para la elaboración de películas biodegradables con aceptables propiedades funcionales, como es el caso de los almidones de yuca en mezclas con esteres de acetato [6], almidón fosfatado de maíz y proteína de leche [7] y almidones con alto contenido de amilosa [3]. Sin embargo, la mayoría de estos biopolímeros procesados individualmente presentan pobres propiedades mecánicas y falta de estabilidad dimensional, resultando en materiales muy frágiles. Una alternativa para disminuir este problema es la incorporación de materiales de refuerzo dentro de la matriz del polímero natural.

Los materiales reforzados con fibras naturales pueden aumentar sus posibilidades de aplicación en las diversas industrias que se basan en derivados del petróleo. Las fibras naturales han sido atractivas debido a las ventajas que presentan, tales como bajo costo, baja densidad, eco-amigables, características específicas aceptables de fuerza, facilidad de separación, y están emergiendo como nuevos y atractivos materiales con viabilidad comercial y aceptabilidad ambiental. La cantidad y el tipo de fibras adicionadas a las formulaciones termoplásticas de almidón varían en función de las características deseadas del artículo final moldeado, como son la resistencia mecánica, fuerza a la extensión, dureza, flexibilidad, estabilidad dimensional, disponibilidad y costo.

En algunos trabajos reportados han sido empleadas fibras modificadas como el acetato de celulosa, que se caracteriza por una elevada resistencia a la tensión, y la celulosa oxidada, que contiene una porción sustancial de funciones carboxílicas y ambas se usan en gasas estériles y fajas para cortar hemorragias [2], aunque debe ser considerado que cualquier tipo de modificación realizada a las materias primas implica costos adicionales. También han sido preparadas películas biodegradables usando salvado de arroz con propiedades de textura similares o mejores que las de

películas preparadas a base de PVDC (cloruro de polivinilideno) y diversas fuentes de beta-glucanos, con buenas propiedades mecánicas [8,9]. Las fibras presentan una longitud muy superior a su diámetro, están orientadas a lo largo de un solo eje. Poseen gran cohesión molecular, lo que las hace más fuertes con relación a los plásticos. Su temperatura de transición y su punto de fusión son muy importantes; una Tg demasiado alta dificulta el estiramiento y, por lo tanto, la orientación de la fibra, y si la Tg es demasiado baja, la orientación no se mantiene a temperatura ambiente. El punto de fusión debe estar a temperaturas superiores a los 200° C, ya que después el polímero va a orientarse. En México se estima una disponibilidad de fibras naturales de 77 millones de toneladas provenientes de residuos agrícolas, de los cuales 50% corresponde a maíz, seguido por trigo, sorgo y caña de azúcar [10]. Existen otras fuentes potenciales de fibras, entre las que se encuentran henequén, lechuguilla y palma como producto principal; agaves tequileros, mezcaleros y pulqueros, como co-productos después de la extracción del jugo; residuos forestales; coco y piña, entre otros frutos, así como algunos pastos silvestres.

La disponibilidad de residuos de fibras en aplicaciones industriales puede representar hasta 10% del peso vivo de una planta [11].

Comúnmente, en diversas formulaciones poliméricas son empleados plastificantes con el objetivo de mejorar las condiciones de proceso y aumentar la flexibilidad y extensibilidad, provocando, de esta manera, cambios en las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los materiales procesados. Son aditivos de baja volatilidad que pueden ser sólidos, o como en la mayoría de los casos, líquidos de alta masa molecular [12]. Algunos ejemplos de plastificantes más empleados son: a) monosacáridos y disacáridos como la fructosa; b) polioles como el sorbitol, manitol, glicerol y derivados, propilenglicol, polietilenglicol y otros, y c) lípidos y derivados como ácidos grasos, monoglicerídeos, derivados de ester y otros [13,14,15].

El glicerol se utiliza como plastificante en materiales biodegradables procesados por extrusión termoplástica; las moléculas de glicerol penetran en los gránulos de almidón y, posteriormente, rompen los puentes de hidrógeno que mantienen la estructura de los gránulos bajo condiciones de alta temperatura, alta presión y alto

corte. Como resultado, las fuerzas de enlace entre las macromoléculas de almidón disminuyen, lo cual hace que el deslizamiento de las cadenas moleculares se facilite y, consecuentemente, se incrementa la elongación del material, aunque disminuyan los valores de fuerza de tensión. Sin embargo, la utilización de altos contenidos de glicerol puede provocar una disminución en los valores de elongación del material. La razón de este comportamiento es que la interacción entre las moléculas es muy débil cuando existe un exceso de glicerol, debido a que la interacción entre las macromoléculas ha sido desplazada por la interacción entre el glicerol y las moléculas de almidón [16].

El agua es considerada el plastificante más eficiente usado en formulaciones de polímeros naturales, ya que disminuye la temperatura de transición vítrea y los valores de resistencia mecánica. En muchos casos, no obstante, pequeñas cantidades tienden a incrementar la rigidez de los biopolímeros generando un efecto conocido como "antiplastificación". Tal efecto se ha explicado por el incremento en la cristalinidad, que se produce una vez que las moléculas de agua comienzan a ocupar los espacios intermoleculares en la matriz del polímero reduciendo, con ello, la movilidad de las cadenas y originando materiales más rígidos; o debido a la formación de puentes de hidrógeno entre las cadenas poliméricas. Dicho efecto ha sido también reportado para otros compuestos hidrofílicos como glicerol y sorbitol. Sin embargo, a bajos contenidos de humedad y pequeñas cantidades de plastificante como el glicerol este efecto no ocurre [13].

De una manera general, las técnicas usadas para fabricar los plásticos sintéticos también se pueden utilizar para la fabricación de materiales biodegradables. Las tecnologías más utilizadas para la fabricación de plásticos son los procesos de moldeo por inyección y la extrusión termoplástica. Algunos trabajos de investigación han reportado que estos procesos se pueden utilizar individualmente o en forma conjunta para el desarrollo de nuevos materiales biodegradables con características similares o mejores que las de los plásticos comerciales, con la ventaja de reducir el efecto adverso de la descarga de residuos contaminantes en el ambiente global [17].

El proceso de extrusión es una tecnología que se ha venido empleando con buenos resultados para la industrialización de polímeros. El principio fundamental del proceso de extrusión es transformar un material sólido en un fluido mediante la aplicación de calor y trabajo mecánico (cizalla), promoviendo así la termoplastificación del mismo. En la figura 1 se muestra el diagrama de un extrusor convencional de tornillo simple. El tornillo gira y transporta el material en dirección de una matriz colocada a la salida del extrusor, aplicándole un esfuerzo mecánico y transformándolo en una masa uniforme. La extrusión es un proceso extremadamente versátil y el equipo se puede comportar como un intercambiador de calor, debido a las chaquetas de calentamiento y/o enfriamiento que circundan las paredes del cañón. Desempeña también una función de reactor químico de procesamiento de diversos materiales como polímeros y alimentos, en condiciones de altas temperaturas (hasta 250°C), altas presiones (hasta 25 MPa) y cortos tiempos de residencia (1 a 2 minutos). En esas condiciones de procesamiento se puede producir una abertura de las diversas estructuras terciarias y cuaternarias de los polímeros, resultando en el rompimiento y posterior rearrreglo de los puentes de hidrógeno y disulfuro, permitiendo la plastificación y la formación de las texturas deseadas [18]. Los extrusores ofrecen significativas ventajas con relación a otros procesos de manufactura, entre los cuales se puede destacar una minimización del tiempo, energía y costos, una producción continua a gran escala, alta capacidad de producción por unidad de área y ausencia de efluentes [17]. El producto extrudido puede ser influenciado por diversas variables, y esto hace al proceso altamente versátil, entre las que destacan la naturaleza y las características de la materia prima, velocidad y geometría del tornillo, temperatura del barril, velocidad de alimentación, tipo y diámetro de la matriz [20].

Por otro lado, el proceso de moldeo por inyección es el método más práctico y difundido para la transformación de plásticos. En esta industria, los métodos de manufactura son ampliamente conocidos, no obstante, el procesamiento de materiales biodegradables con esta técnica es incipiente y ofrece

La mayoría de los biopolímeros procesados individualmente presentan pobres propiedades mecánicas y falta de estabilidad dimensional, lo que los convierte en materiales muy frágiles. Una alternativa para disminuir este problema es la incorporación de materiales de refuerzo dentro de la matriz del polímero natural. Los materiales reforzados con fibras naturales pueden aumentar sus posibilidades de aplicación en las diversas industrias que se basan en derivados del petróleo.

El proceso de extrusión es una tecnología que se ha venido empleando con buenos resultados para la industrialización de polímeros. El principio fundamental del proceso de extrusión es transformar un material sólido en un fluido mediante la aplicación de calor y trabajo mecánico (cizalla), promoviendo así la termoplastificación del mismo.

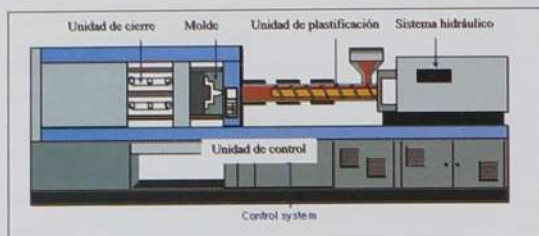


Figura 2. Principales componentes de la máquina de inyección.

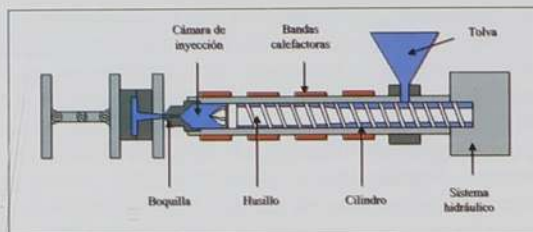


Figura 3. Esquema de la unidad de plastificación.

innumerables retos ya que implica un conocimiento completo para fabricar productos de la calidad requerida al menor costo posible. En el caso del procesamiento de polímeros naturales, generalmente se trabaja con mezclas de éstos (diferente a un homopolímero, en el caso de polímeros sintéticos), lo que complica significativamente su comportamiento. El fenómeno que ocurre en el punto donde dos o más diferentes flujos se unen en materiales moldeados, y donde también se unen dos materiales sintéticos (homopolímeros), limita el uso de estos materiales plásticos cuando se usa este proceso en productos de formas complicadas, lo cual afecta las propiedades físicas y de estabilidad dimensional de los productos acabados. El fenómeno no ocurre cuando se usa una mezcla de polímeros naturales, considerando que durante su procesamiento esta mezcla de polímeros naturales experimenta efectos mecánicos, térmicos y de cambio de estado simultáneamente y, dependiendo de su morfología, provoca una reorientación, tensión residual, y contracción en los productos moldeados por inyección [21]. Este proceso es adecuado para manufacturar piezas de gran consumo y de tamaño preciso. La materia prima puede ser transformada en un producto acabado en una sola etapa. También es posible obtener piezas de diversos pesos y con geometrías complicadas. Para la economía del

proceso es decisiva la producción de un gran número de piezas por unidad de tiempo [22].

Básicamente, el procesamiento en las máquinas de molde por inyección consiste en forzar el material a ser procesado desde el reservorio hasta un molde que es mantenido a bajas temperaturas; el molde es abierto tan pronto como el material se enfría, la velocidad del ciclo es determinada por la rapidez de enfriamiento, lo cual depende de la conductividad térmica del material. Las figuras 2, 3 y 4 muestran las partes de un equipo de molde por inyección, así como las etapas para la obtención de una pieza inyectada. El proceso de molde por inyección ha sido empleado en la elaboración de diversos materiales; además es posible utilizarlo de manera conjunta con el proceso de extrusión para la elaboración de diversos materiales de buena calidad, sin embargo, la mayoría de éstos son productos elaborados de mezclas de polímeros sintéticos convencionales con polímeros naturales como almidón, fibra, ácido poliláctico (PLA), entre otros.

Se ha reportado la elaboración de pellets extrudidos moldeados por inyección usando mezclas de almidón de maíz con etilvinil-acetato y polietileno, a los cuales se les introdujo un reactivo funcional de anhídrido maleico. Las mezclas de vinil-acetato y las de polietileno presentaron bajos valores de módulo de flexión y esfuerzo de tensión, sin embargo, éstos se incrementaron al agregar fibra natural a la formulación (3.0-3.5%) [21]. También han sido fabricados productos extrudidos y posteriormente inyectados a base de mezclas de almidón y polímeros convencionales como el etilvinil-acetato y el polietileno de alta y baja densidad [24]. Se han evaluado mezclas extrudidas de almidón de trigo, glicerol, agua y aceite de linaza o estearato de magnesio utilizando un equipo de molde por inyección. Sin embargo, estas mezclas ofrecen problemas de procesamiento, aunque el uso de un agente lubricante (estearato de magnesio) permitió el desmolde automático [25]. Mezclas de almidón y poliéster han sido usadas en la elaboración de materiales biodegradables por extrusión y molde por inyección aunque no existe una buena compatibilidad entre los polímeros empleados, al menos que se utilizara un agente compatible que incremente la interacción entre el poliéster y el almidón [26].

En general, las propiedades mecánicas comprenden la totalidad de propiedades que determinan una respuesta del material a la aplicación de un trabajo

mecánico externo. Estas propiedades son manifestadas por la capacidad de los materiales de experimentar deformaciones, ya sean reversibles o irreversibles. Las propiedades mecánicas de los polímeros se encuentran en función de diversas propiedades del material procesado como son la estructura y masa molecular del material, densidad, grado de cristalinidad, temperaturas de transiciones físicas y otras. Asimismo, las propiedades mecánicas pueden ser cuantificadas a través de métodos establecidos en normas técnicas [27,28]. Dentro de las diversas propiedades que caracterizan a productos elaborados a base de polímeros se encuentra una gran variedad de pruebas que son usadas en materiales biodegradables, las cuales se pueden agrupar de acuerdo a propiedades mecánicas y térmicas, y ensayos de degradación. Se han creado diversos comités para la estandarización de ensayos de degradación. Entre estos pueden citarse las normas estadounidenses ASTM D5209-92, D5210-92, D5247-92, D5338-92 y D5271-93), las japonesas (JIS K6950-94) y las europeas (CEN TC261/SC4/WG2) [29].

Procesamiento de polímeros naturales empleando las tecnologías de extrusión termoplástica y moldeo por inyección
Resultados obtenidos en Cinvestav, Unidad Querétaro, mostraron la factibilidad y el gran potencial de la

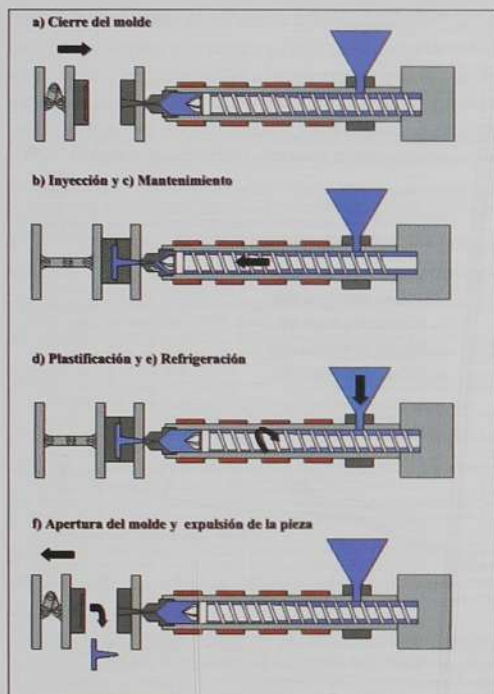


Figura 4. Secuencia del proceso de inyección.



Figura 5. Materiales biodegradables obtenidos como efecto del contenido de glicerol y el contenido de fibra. Tratamientos: (5) 0 % de glicerol, 10% de fibra; (6) 0% de glicerol, 20% de fibra; (7) 10% de glicerol, 10% de fibra; (8) 10% de glicerol, 20% de fibra, y (9) 10% de glicerol, 10% de fibra.

utilización de un proceso conjunto de extrusión y moldeo por inyección a partir de almidón de maíz nativo y fibra de caña de azúcar, usando glicerol como plastificante en la fabricación de platos con propiedades mecánicas y funcionales similares a los materiales elaborados con compuestos sintéticos comerciales. Las mezclas fueron previamente peletizadas, utilizando un extrusor. Posteriormente los pellets obtenidos fueron inyectados utilizando una máquina comercial de inyección de plásticos con un molde comercial, con formato de plato tomado como sistema modelo (figura 5). Los platos obtenidos presentaron buenas características mecánicas y funcionales. Los análisis de rayos X presentaron patrones casi completamente amorfos característicos de polímeros como el poliestireno, con la formación de estructuras V_h en los materiales inyectados, característicos de almidones procesados.

Se estima que México tiene una disponibilidad de fibras naturales de 77 millones de toneladas provenientes de residuos agrícolas, de los cuales 50% corresponde a maíz, seguido por trigo, sorgo y caña de azúcar. Existen, además, otras fuentes potenciales de fibras, tales como henequén, lechuguilla y palma; agaves tequileros, mezcaleros y pulqueros, residuos forestales, etcétera.

Resultados obtenidos en Cinvestav, Unidad Querétaro, mostraron la factibilidad y el gran potencial de la utilización de un proceso conjunto de extrusión y moldeo por inyección a partir de almidón de maíz nativo y fibra de caña de azúcar, usando glicerol como plastificante en la fabricación de platos con propiedades mecánicas y funcionales similares a los materiales elaborados con compuestos sintéticos comerciales.

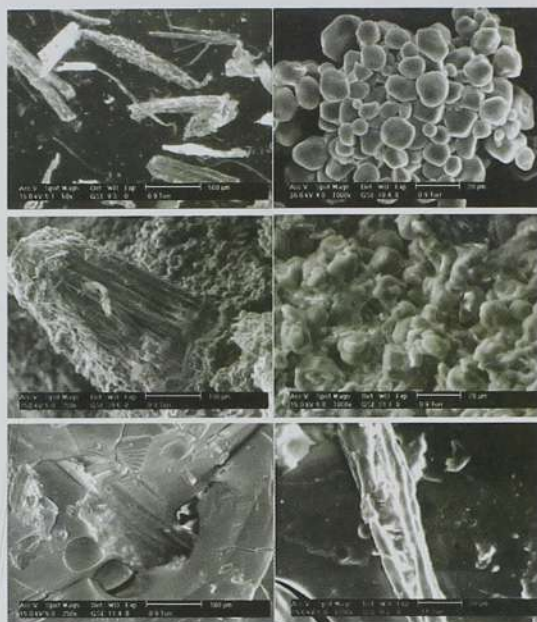


Figura 6. Microfotografía electrónica de barrido de los materiales obtenidos en las distintas etapas de procesamiento. A = fibra de bagazo de caña, B = almidón de maíz, C y D = pellets extrudidos, y E y F = material inyectado.

Los análisis de viscosidad y microscopía electrónica de barrido (figura 6) indicaron la probable formación de interacciones fibra-almidón. El efecto de reforzamiento con la adición de fibra fue influenciado por las interacciones fibra-matriz polimérica, la cual a su vez fue influenciada por el tamaño de partícula de las fibras, preparación de los pellets y distribución de las fibras en el sistema polimérico. Los análisis de biodegradabilidad mostraron que todos los materiales evaluados poseen altas velocidades de reintegración al medio ambiente (figura 7). Estos resultados permiten inferir la potencialidad de utilizar almidón reforzado con fibra como polímeros orgánicos biodegradables de bajo costo. Disponibles en grandes volúmenes en la obtención de materiales biodegradables, termoplásticos para piezas de diversos tamaños y dimensiones se pueden utilizar con resultados favorables en varios sectores industriales incluyendo la industria de alimentos, agricultura, industrias papelera, textil, automovilística y otras. Los materiales formados, transparentes o translúcidos, que se obtienen, presentan características únicas de

biodegradabilidad. Se puede permitir, en caso de necesidad, que los artículos formados tengan cualquier equilibrio entre su resistencia al agua y su solubilidad en el agua mediante cambios en la formulación.

Perspectivas futuras

Los co-productos y residuos agrícolas no alimenticios y otros recursos renovables ofrecen una fuente casi ilimitada de materias primas renovables y potencialmente sostenibles para la producción de materiales biodegradables. Aunque apenas se están desarrollando, existe un mercado cada vez mayor para los productos biodegradables, de modo que, con los alcances hasta ahora logrados, puede ser prevista una completa gama de nuevos usos. Existe una escala enorme del potencial que representan los almidones y fibras, y opciones de proceso para asegurar su uso. No obstante, se necesita todavía inversión en investigación y desarrollo si se proyecta establecer una industria sostenible de los materiales biodegradables. Actualmente, los mercados principales para los materiales biodegradables están en la sustitución de derivados del petróleo. Con progresos y mejoras futuras en funcionamiento, las oportunidades significativas son probables a ocurrir en el ambiente actual, dado que las industrias generadoras de materiales no biodegradables están siendo sujetas a normas estrictas de control. ●

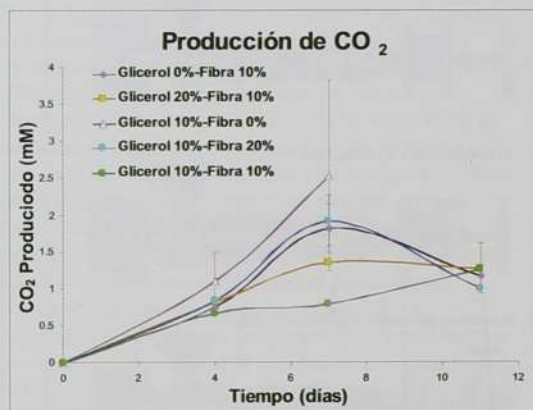


Figura 7. Cinética de producción de CO_2 para materiales moldeados a base de almidón-fibra con respecto a las variables de estudio.

Cuadro 1. Algunos polímeros biodegradables de uso comercial.

Producto	Compañía	Constituyentes
1. Basados en productos naturales		
AMIPOL [®]	Japan Cornstarch	Almidón (100%)
BIOFIL [®]	Samyang Genex Co.	Almidón, poliestireno
GREENPOL [®]	Yukong Ltd.	Almidón, policaprolactona
MATER-BI [®]	Novamont	Almidón (60%), alcohol polivinílico
NOVON [®]	Chisso Warner Lambert	Almidón (90-95%), aditivos.
2. Producido por microorganismos		
BIOPOL [®]	Monsato Co.	Poli(hidroxibutirato), poli(hidroxivalerato)
3. De naturaleza sintética		
BAK1095 [®]	Bayer	Ácido adipico, ε-caprolactona, butanodiol
BAK1195 [®]	Bayer	Ácido adipico, hexametilendiamina, butanodiol, etilenglicol
BIONOLLE [®]	Showa Highpolymer Co.	Ácido adipico, ácido succinico, etilenglicol, butanodiol
DEXON [®]	Davis & Geck, Inc.	Poliglicólico
MONOCRYL [®]	Ethicon, Inc.	Policaprolactona/poliglicólico
PDS [®]	Ethicon, Inc.	Poli(p-dioxanona)
PLA	Cargill Shimadzu	Poliláctico
ELVANOL [®]	DuPont	Alcohol polivinílico
VICRYL [®]	Ethicon, Inc.	Poliláctico/poliglicólico

Fuente: Armelin (2002) [2]

[Referencias]

- [1] Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental (CMIA). 2003. *La basura en el limbo: desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos*.
- [2] Armelin E. 2002. *Síntesis y caracterización de nuevas poliésteramidas: estudio de sus propiedades*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, España.
- [3] Cha D. S. y Chinnman M. 2004. Biopolymers-Based Antimicrobial packaging: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 223-237.
- [4] Lourdin, D., Della Valle, G. y Collona, P. 1995. Influence of amylose content on starch films and foams. *Carb. Pol.*, 27: 261-270.
- [5] Bader, H. G. y Goritz, D. 1994. Investigations on high amylose corn starch films. Parte I. Wide-angle X-ray scattering (WAXS). *Starch/Stärke*, 46: 229-232.
- [6] Larotonda, F. D. S., Matsui, K. N., Soldi, V. y Laurindo, J. B. 2004. Biodegradable films made from raw and acetylated cassava starch. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47(3): 477-484.
- [7] Najgebauer, D., Grega, T., Sady, M. y Tomasik, P. 2004. Polymeric complexes of cornstarch and waxy cornstarch phosphates with milk casein and their performance as biodegradable materials. *Molecules*, 9:550-567.
- [8] Gnanasambandam, R., Hettiarachchi, N. S. y Coleman, M. 1997. Mechanical and barrier properties of rice bran films. *J Food Sci.*, 62 (2): 395-398.
- [9] Tejinder, S. 2003. Preparation and characterization of films using barley and oat β-glucan extracts. *Cereal Chem.*, 80(6): 728-731.
- [10] Muñoz-Hernández, G. 2002. Mechanical Modeling of Agricultural Fibrous Materials with Applications to the densification Process. Paper 006095, ASAE Annual Meeting, Milwaukee, WI, EUA.
- [11] Pande, H. 1999. Fibras no tejidas. *Seminario mundial de fibras. Unasylva-FAO*. 49(143).
- [12] Ramkumar D., Bhattacharya M y Vaidya UR. 1997. Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends II. Evaluation of mechanical properties. *Eur. Polym. J.*, 33(5): 729-742.
- [13] Kester, J. J. y Fennemam O. R. 1986. Edible films and coatings: A Reviews. *Food Technology*, 40(12): 47-59.
- [14] Moraru, C. I., Lee, T. C., Karwe, M. V. y Kokini, J. L. 2002. Plasticizing and antiplasticizing Effects of water and polyols on Meat-starch extruded matrix. *J Food Sci.*, 67(9): 3396-3401.
- [15] Shaw, N. B., Monahan, F. J., O'Riordan, E. D. y O'Sullivan, M. 2002. Physical properties of wpi films plasticized with glycerol, xylitol o sorbitol. *J. Food Sci.*, 67(1): 164-167.
- [16] Lai, H. M., Padua, G. W. y Wei, L. S. 1997. Properties and microstructure of zein sheets plasticized with palmitic and stearic acids. *Cereal Chem.*, 74(1): 83-90.
- [17] Yu, J., Chen, S., Gao, J., Zheng, H., Zhang, J. y Lin, T. 1998. A study on properties of starch/glycerine blend. *Starch/Stärke*, 50(6): 246-250.
- [18] Carr, M. E. y Cunningham, R. L. 1989. Glicol glucosidea from starch by continuous twin-screw extruder processing. *Cereal Chem.*, 66(3): 238-243.
- [19] Oikku, J. y Linko, P. 1977. Effects of thermal processing on cereal based food systems. En: *Food quality and nutrition research priorities for thermal processing*. Dawney, EK. Eds. Londres. Applied Science Publishers. Pp. 352.
- [20] Stanley, D. W. 1986. Chemical and structure of determinants of texture of fabricated foods. *Food Technol.*, 40(3): 65-68, 76.
- [21] Della-Modesta, R. G. 1999. *Avaliação sensorial de produtos extrudados. Apoio do curso princípios teóricos e práticos na elaboração de "snacks" por extrusão termoplástica*. Embrapa, Agroindústria de Alimentos Rio de Janeiro, Brasil.
- [22] Isayev, A. E. 1987. Injection and Compression Molding Fundamentals. Ed. A. I. Isayev, Marcel Dekker, NewYork. Cap 3, pp. 227-328.
- [23] Gordillo, A. 2000. *Influencia de la inyección en el comportamiento mecánico de compuestos de polipropileno*. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña. España.
- [24] Ramkumar, D., Bhattacharya, M. y Vahadilla, U. R. 1997. Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends-II. Evaluation of mechanical properties. *Eur. Polym. J.*, 33(5): 729-742.
- [25] Mani, R. y Bhattacharya, M. 1998. Properties of injection moulded starch/synthetic polymer blends-IV. Thermal and morphological properties. *Eur. Polym. J.*, 34(10): 1477-1487.
- [26] Oteniente, J. P., Mezière, C., Abbès, B. y Haidar, L. 2000. Fully biodegradable lubricated thermoplastic wheat starch: mechanical and rheological properties of an injection grade. *Starch/Stärke*, 52(4): 112-117.
- [27] Mani R y Bhattacharya M. 2001. Properties of injection moulded blends of starch and modified biodegradable polyesters. *Eur. Polym. J.*, 37: 515-526.
- [28] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001. Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM D638. Philadelphia, ASTM. p. 59.
- [29] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-00. Philadelphia, ASTM. v. 08.01, p.9.
- [30] Calmon-Decriau, A., Bellon-Maurel, V. y Silvestre, F. 1998. Standard methods for testing the aerobic biodegradation of polymeric materials. Review and Perspectives. *Advances in Polymer Science*, 135:207-226.

Desarrollo de soluciones a bajo costo

TODO LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA REQUIERE DE EQUIPO, YA SEA BÁSICO, QUE INCLUYE DESDE MULTÍMETROS HASTA GENERADORES DE SEÑALES, O DE NIVEL MEDIO, QUE VA DESDE ANALIZADORES DE IMPEDANCIA DE ESPECTROS, Y QUÉ DECIR DEL EQUIPO DE ALTO NIVEL (PROBADORES DE PUNTAS Y EQUIPO DE MAYORES PRESTACIONES). EN LA UNIDAD GUADALAJARA DE CINVESTAV, LAS NECESIDADES SON AÚN MAYORES; DEMANDAN INFRAESTRUCTURA PARA LA VERIFICACIÓN Y PRUEBAS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS QUE DISEÑA SU PERSONAL (INVESTIGADORES Y ESTUDIANTES). A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN ALGUNAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS QUE PERMITEN REALIZAR ACTIVIDADES RELACIONADAS CON PRUEBAS Y CARACTERIZACIÓN POR MEDIO DE INSTRUMENTOS Y COMPONENTES COMERCIALES EXISTENTES.

E. Montoya-Suárez y F. Sandoval-Ibarra

En la actualidad, la ingeniería electrónica y la evaluación de sus productos demandan el uso de equipo para pruebas eléctricas, que incluye desde infraestructura básica hasta el sofisticado y complejo sistema de emulación. El equipo básico es económico, mientras que su contraparte alcanza costos sólo posibles para las grandes industrias de la electrónica. Sin embargo, para instituciones públicas de educación superior, orientadas a la instrucción y enseñanza de la ingeniería eléctrica y electrónica, aun el equipo básico puede resultar caro.

Descripción del problema

Las clases o clasificaciones asociadas al equipo de prueba y caracterización eléctrica presentan varios niveles de complejidad. Por ejemplo, la clase básica consta de equipo fundamental en todo laboratorio de ingeniería eléctrica y electrónica e incluye multimetros, fuentes de voltaje, osciloscopios, trazadores de curvas y generadores

de señales. La clase media, por otro lado, refiere a equipo de mayores prestaciones como analizadores de impedancia, analizadores de espectros, generador de señales de RF, analizadores lógicos y de redes, y al menos un probador de puntas para aquellas instituciones que educan en el ámbito de la microelectrónica. Finalmente, la clase de equipo avanzado incluye capacidades de prueba para propósitos industriales. En la práctica, si bien es cierto que no sólo el ramo industrial requiere equipo de pruebas, también es cierto que los laboratorios de diseño electrónico –como el de la Unidad Guadalajara de Cinvestav– demandan infraestructura para la verificación y pruebas de sus diseños. Esa demanda la impone tanto la complejidad de los circuitos integrados (CIs) que se diseñan como la caracterización de dispositivos, componentes pasivos/activos y circuitos de protección. Consecuentemente, la dinámica de un laboratorio es una actividad que permite educar en campo a los futuros ingenieros de diseño físico.

ENRIQUE MONTOYA-SUÁREZ recibió el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por Cinvestav, Unidad Guadalajara, en 2002. Desde 1994 es profesor asociado en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Nayarit. Actualmente, el M. en C. Montoya realiza estudios de doctorado en Ingeniería Eléctrica en la Unidad Guadalajara de Cinvestav. Sus áreas de interés incluyen el desarrollo de ambientes automáticos de prueba basados en dispositivos programables y el diseño de VCOs en tecnología CMOS. emontoya@gdl.cinvestav.mx

FEDERICO SANDOVAL-IBARRA nació en San Luis Potosí, México. Recibió el grado licenciado en Electrónica-Física por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 1988, y el doctorado en Electrónica por el INAOE en 1998.

De 1991 a 1996 fue investigador del Laboratorio de Microelectrónica de INAOE, donde desarrolló técnicas de grabado en silicio y fue diseñador de circuitos MOS para microsensores. En 1997 fue investigador visitante en el CNM-Barcelona (España), donde implementó técnicas de micromaquinado superficial para el desarrollo de un micrófono completamente integrado en silicio.

En 1999 se incorporó a la Unidad Guadalajara de Cinvestav. Sus áreas de interés incluyen el desarrollo de sensores compatibles con tecnología MOS, diseño de circuitos de bajo-voltaje/baja-potencia y de señal mezclada para aplicaciones multi-estándar y RFID. El Dr. Sandoval es investigador Cinvestav 3A y miembro del SNI (nivel 1). sandoval@cts-design.com

La Unidad Guadalajara de Cinvestav inició actividades en diseño de CIs en el año 2000. Cuenta con herramientas de diseño (Tanner Tools e ISE-TCAD) que permiten instruir a los futuros recursos humanos en el diseño de dispositivos y circuitos integrados en silicio. De igual manera, cuenta con facilidades tecnológicas (a través del programa académico MOSIS) que permiten la fabricación de circuitos y dispositivos en tecnología CMOS (1.5 μ m y 0.5 μ m). En consecuencia, la parte central de la instrucción es la comprensión de la física que gobierna la operación del elemento de red base del diseño: el transistor MOS. El entendimiento y la verificación del desempeño del transistor, usando metodologías adecuadas de caracterización, constituyen un lazo que permite al estudiante descubrir el gusto por el diseño electrónico. Ese lazo igual se presenta cuando las pruebas se refieren a caracterizar y/o evaluar el desempeño de circuitos de mayor complejidad, los cuales son en alto porcentaje la parte central de un trabajo de tesis. Ejemplos de ello son el diseño de DPLLs (del inglés, *Digital Phase Locked Loop*), convertidores analógico-digital (A/D), Circuitos analógicos basados en OTAs (del inglés, *Operational Transconductance Amplifier*), Moduladores $\Sigma\Delta$, y circuitos y componentes tanto para aplicaciones de RFID (del inglés, *RadioFrequency IDentification*) como para potencia inteligente. El DPLL, por ejemplo, consta de circuitos básicos cuya caracterización individual y, luego a nivel sistema, es posible con equipo clase básica y clase media. Sin embargo, para evaluar el desempeño de sistemas de mayor complejidad, como moduladores $\Sigma\Delta$ o convertidores A/D, por citar algunos, el equipo básico y de clase media no es suficiente porque aun cuando con esa infraestructura se desarrollan métodos alternativos de caracterización, éstos no son necesariamente la mejor opción, no sólo por la cantidad de inversión en tiempo que requiere sino por la pérdida de exactitud en las mediciones realizadas. Una variable adicional es importante mencionar: la calibración periódica del equipo existente no ocurre por carencia de recursos económicos; en todos los casos la captura de información experimental se captura *a mano*, lo que conlleva a admitir errores de medición por la variabilidad de los multimetros existentes (ver figura 1). La infraestructura, hoy día, se muestra en la tabla 1; los generadores de señales presentan un rango de trabajo no mayor a 15 MHz, mientras que 10 MHz es el rango en frecuencia del analizador de impedancia.

Por lo anterior, si el equipo existente fuera una limitación para desarrollar metodologías de caracterización eléctrica, entonces las aplicaciones se limitarían a aquéllas acotadas por el rango de 15 MHz. Sin embargo, porque los osciloscopios presentan un rango de trabajo desde niveles de CD hasta 100 MHz, ese rango debiera ser el límite para medición en frecuencia pero, en realidad, no limita la frecuencia máxima de



Figura 1. Captura a mano de la información experimental.

operación de los CIs a diseñar. Ejemplo de ello es el VCO (del inglés, *Voltage Controlled Oscillator*). Un VCO puede ser diseñado para operar a frecuencias de hasta 1.0GHz e, integrando divisores de frecuencia, es posible conocer la frecuencia de oscilación con el equipo existente. Este método también permitiría estimar el retardo intrínseco de la tecnología y determinar, en consecuencia, la dinámica de los futuros diseños digitales. Sin embargo, los VCOs requieren, además de una fuente de voltaje para polarización, otra fuente usada como el voltaje de control. Éste debe ser estable para asegurar la medición de la frecuencia de oscilación, es decir, para propósitos de caracterización, contar con fuentes de voltaje estables permite obtener de manera confiable la característica frecuencia-voltaje. Esa estabilidad en las fuentes de voltaje también es requerida para polarizar los circuitos bajo prueba y para su caracterización a nivel de CD. La figura 2 muestra, a manera de ejemplo, una práctica de laboratorio que ocupa 50% de los osciloscopios y generadores de funciones existentes.

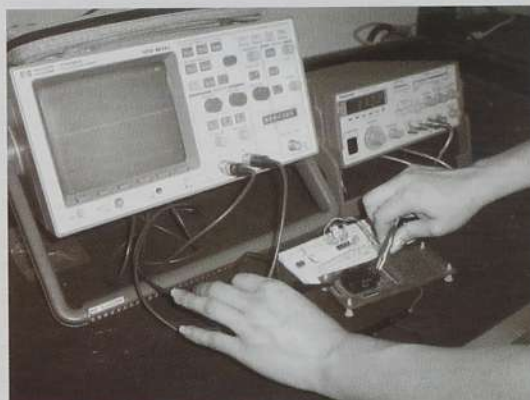


Figura 2. La imagen muestra 50% de osciloscopios y generadores de funciones disponibles.

Otra aplicación que demanda igual número de fuentes de voltaje es caracterizar transistores MOS para obtener su característica corriente-voltaje. Tal situación es insostenible cuando la población estudiantil demanda infraestructura y más cuando el equipo existente está en uso para la puesta en marcha y/o para la validación/verificación de circuitos y sistemas resultado de proyectos de investigación y/o trabajos de tesis.

¿Qué hacer?

Varias son las propuestas (metodologías y desarrollos tecnológicos) para sanar la carencia de infraestructura.

- Desarrollar *hardware* para caracterización eléctrica basado en un DSP (del inglés, *Digital Signal Processor*) o algún otro dispositivo programable, y CIs comerciales de propósito general.
- Usar laboratorios remotos a través de Internet.
- Acceder a facilidades industriales o a la de otras instituciones de educación.

La última propuesta se ha realizado, eventualmente, sin un convenio establecido entre las partes, en el que la *buena voluntad* permite, accede a facilidades de simulación, de pruebas y de caracterización eléctrica [1]. Sin embargo, el acceso a facilidades industriales es viable sólo cuando hay una colaboración o proyecto conjunto en marcha. Si es el caso, en cuanto el proyecto concluye, el acceso a facilidades también. Los laboratorios remotos, por otro lado, merecen una atención especial. Las arquitecturas *cliente-servidor* ofrecen instrumentos de propósitos generales. Éstos se controlan vía Internet y están conectados directamente a una PC o a través de una interfase vía un bus de control. Toda vez que las aplicaciones son definidas *on-line* se inicia un periodo de espera, es decir, el sistema espera por la solicitud o conexión del *cliente*. Cuando ésta ocurre, el servidor traduce la solicitud del *cliente* en un conjunto de instrucciones que pone en operación los instrumentos solicitados; posteriormente se envía al *cliente* un mensaje que incluye el resultado de las operaciones ejecutadas. En esta arquitectura el servidor actúa como una clase de instrumentos que el *cliente* accesa, aunque en realidad los instrumentos procesan e integran la información enviada por el *cliente*, es decir, no es una arquitectura para caracterización eléctrica (en el sentido estricto de la

palabra) de circuitos y dispositivos. Una variación de la arquitectura *servidor-cliente* es la denominada DCOM (del inglés, *Distributed Component Object Model*) en la cual es posible acceder a componentes remotos y obtener resultados adicionales. Como se describe en [2], el *software* comercialmente disponible para controlar remotamente sistemas de medición solicita aplicaciones específicas para ser instaladas en el equipo de cómputo del *cliente*. El *software* no es de distribución libre, y su costo es elevado para la economía de las instituciones de educación pública nacional. Finalmente, el desarrollo de *hardware* para diversas aplicaciones parece ser la opción más adecuada. Dos son los dispositivos programables usualmente utilizados: DSP y FPGA (del inglés, *Field Programmable Gate Array*). Por las capacidades propias de un DSP, su uso se orienta principalmente a aplicaciones multimedia y comunicaciones digitales. Sin embargo, otras aplicaciones no digitales también han sido reportadas para el control/supervisión de procesos, o para monitorear parámetros de interés en plantas industriales. La ventaja de usar dispositivos programables (DPs) es que cuenta con memoria (RAM y Flash) para almacenamiento, conexión serial a PC y posibilidades de incorporar otros dispositivos para aumentar las capacidades de la plataforma bajo desarrollo.

Solución propuesta

De lo anterior, es viable desarrollar una plataforma de caracterización basada en un DP, incorporar CIs comerciales para incrementar las capacidades del DP seleccionado, usar una PC e interfase estándar (RS232 o IEEE-488) de comunicación, y considerar el equipo existente para proponer arquitecturas maestro-esclavo de caracterización. Por ejemplo, las aplicaciones reportadas que basan su operación en un DSP aprovechan sus capacidades para desarrollar *software* e implementar sistemas de filtrado. Luego, incorporando dispositivos de memoria adicionales y convertidores A/D y D/A se han reportado aplicaciones generalmente en áreas del procesamiento de señales. Adicionalmente, es común usar MATLAB, Simulink, Visual-basic y/o programación en C para visualizar la información experimental.

Otro dispositivo es el FPAA (del inglés, *Field Programmable Analog Array*). Éste está orientado a pruebas

El entendimiento y la verificación del desempeño del transistor constituyen un lazo que permite al estudiante descubrir el gusto por el diseño electrónico. Ese lazo igual se presenta cuando las pruebas se refieren a caracterizar y/o evaluar el desempeño de circuitos de mayor complejidad, los cuales son en alto porcentaje la parte central de un trabajo de tesis.

de circuitos analógicos, es decir, se usa para validar y/o verificar arquitecturas propuestas de procesamiento de señales analógicas y también para implementar circuitos de acondicionamiento, etapas de filtrado, y otras funciones analógicas. El FPAA es un dispositivo que incluye bloques básicos embebidos (amplificadores operacionales, comparadores, etcétera), redes de conexión (principalmente, acopladores de impedancia), circuitos I/O, arreglos de capacitores, interruptores y memoria. Desafortunadamente, la capacidad de memoria es sólo para almacenar la información que define al circuito bajo estudio y no para guardar información experimental. Finalmente, un dispositivo SoC (del inglés, *System on Chip*) es otra opción a considerar por su programabilidad. Éstos, conocidos como PSoCs, incluyen un reloj que opera desde 2- a 24-MHz, cuentan con memoria RAM (de 512 a 2k), con memoria FLASH (de 16k a 32k), EEPROM (de 512 a 32k), convertidores A/D (de 8- a 14-b), convertidores D/A (de 4- a 12-b); algunos PSoCs son re-configurables. Estas características permiten incorporar sólo aquellos circuitos que justifiquen incrementar las capacidades de la plataforma de caracterización a desarrollar, denominada de aquí en adelante ATE (del inglés, *Automatic Test Environment*).

Considerando ventajas/desventajas de los dispositivos programables existentes en el mercado, la solución propuesta se muestra en la figura 3, en la que el



Figura 3. Diagrama a bloques del ATE propuesto.

Procesador es un dispositivo PSoC. *Adecuación* refiere CIs comerciales que acondicionan las señales que se envían y/o se reciben del CI bajo caracterización eléctrica. Esa característica es necesaria para aquellas situaciones en las que las variables de interés son de magnitud tan pequeña que, para conservar las capacidades del PSoC, se requiere aplicar una etapa de amplificación o, alternativamente, reducir la amplitud si ésta es de gran valor. Luego, para el bloque *Despliegue*, se propone un LCD (del inglés, *Liquid Crystal Display*) que permita al usuario dar seguimiento a la caracterización seleccionada, mientras que un teclado permite la interacción con el sistema, es decir, permite programar una prueba y/o visualizar resultados, entre otras capacidades. Para *Interfase* se usa una computadora personal incluyendo *software* de uso común para visualizar y procesar las mediciones realizadas. De esa forma, el usuario está en condiciones de hacer el análisis de datos que considere prudente usando las mediciones eléctricas realizadas y los programas de procesamiento adecuados. Finalmente, *Interfase* puede ser utilizado para comunicar los equipos de medición existentes y para realizar mediciones adicionales a las que provee el ATE, con lo cual habría una reducción en la cantidad de funciones a programar en el *Procesador* [3]. La figura 4 muestra la implementación física del ATE.

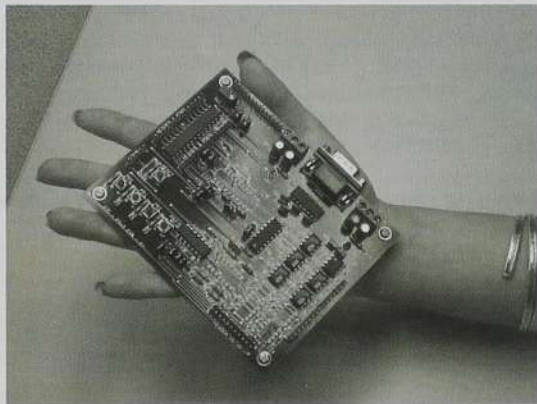


Figura 4. Omitiendo PC, DUT y equipo de laboratorio, el ATE ocupa un área aproximada de 10x12 cm².

Un VCO (del inglés, *Voltage Controlled Oscillator*) puede ser diseñado para operar a frecuencias de hasta 1.0GHz pero, integrando divisores de frecuencia, es posible conocer la frecuencia de oscilación con el equipo existente. Este método también permite estimar el retardo intrínseco de la tecnología y determinar, en consecuencia, la dinámica de los futuros diseños digitales.

En ocasiones, para sanar la carencia de infraestructura, los investigadores recurren a facilidades industriales, acceso sólo viable cuando hay una colaboración o proyecto conjunto en marcha. Otras veces usan laboratorios remotos a través de Internet.

Aplicaciones del ATE

Desde el inicio de este desarrollo (septiembre de 2004) a la fecha (noviembre de 2007) no ha sido incorporado a la infraestructura del Laboratorio de Diseño Electrónico equipo de laboratorio, excepto computadoras personales, por lo cual el ATE es un proyecto vigente. En la primera etapa de este desarrollo ha sido usado en tres importantes áreas: 1) como apoyo en el curso Diseño de Circuitos Analógicos I, que se impartió durante el primer cuatrimestre del 2007; 2) en la caracterización eléctrica de circuitos desarrollados como parte de diversos trabajos de tesis, y 3) apoyando tareas de investigación. En todos los casos, el componente, dispositivo, circuito o sistema bajo estudio es llamado genéricamente DUT (del inglés, *Device Under Test*).

En el citado curso, el ATE fue usado para mostrar, mediante la característica corriente-voltaje de un resistor, cómo se obtiene el valor real de resistencia, a fin de no usar –como parámetro de diseño– el valor nominal proporcionado por el fabricante. Calcular el valor real de resistencia es importante para diseñar etapas de ganancia basadas en transistores MOS. De éstos también es importante obtener su característica corriente-voltaje (I_D - V_{DS} para diversos valores de V_{GS}) porque de ello se define el punto de operación de la etapa de ganancia bajo diseño (ver figura 5). Luego, usando las etapas de ganancia es posible sintetizar etapas de filtrado analógico de señales. La importancia del trabajo experimental radica, además de la verificación del cumplimiento de especificaciones, en

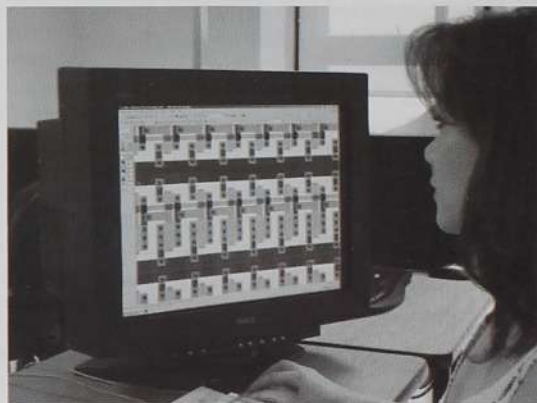


Figura 6. El diseño a nivel layout se realiza con ayuda de Ledit.

superar los niveles clásicos del proceso enseñanza-aprendizaje que concluían con diseños a nivel simulación eléctrica post layout (ver figura 6).

Como apoyo en el desarrollo de tesis el ATE se usó en la obtención de la característica I_D - V_{DS} para caracterizar, primeramente a niveles de CD, un sensor de campo magnético (MAGFET) basado en un transistor MOS de dos drenajes [4]. Porque la detección de campo magnético (B) basa su operación en la medición del desbalance de corrientes de drenaje (ΔI); la correcta medición de este parámetro para $B=0$ permite seleccionar adecuadamente el punto de operación y obtener, en consecuencia, características de desempeño del sensor [5]. Por otro lado, porque las capacidades del ATE se limitan a operaciones no mayores a 24 MHz, el uso de equipo periférico –en configuración maestro-esclavo– permite incrementar el rango de caracterización en frecuencia hasta 100 MHz. Con ese procedimiento es posible validar el concepto de operación (a moderada frecuencia) de diversos circuitos orientados a aplicaciones de identificación por radio-frecuencia o RFID [6]. De igual manera es posible caracterizar las transiciones alto-bajo y bajo-alto en circuitos digitales como función de una carga capacitiva (C_L). Ese estudio en el dominio del tiempo permite al estudiante comprender la importancia de los efectos parásitos en la respuesta de los circuitos y sistemas, permitiéndole estimar las características de diseño de un circuito con

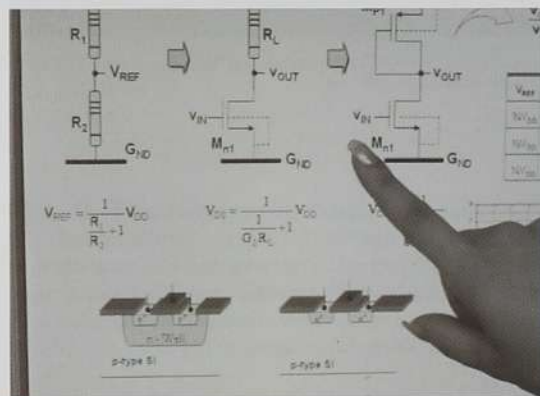


Figura 5. Etapa simple de ganancia.

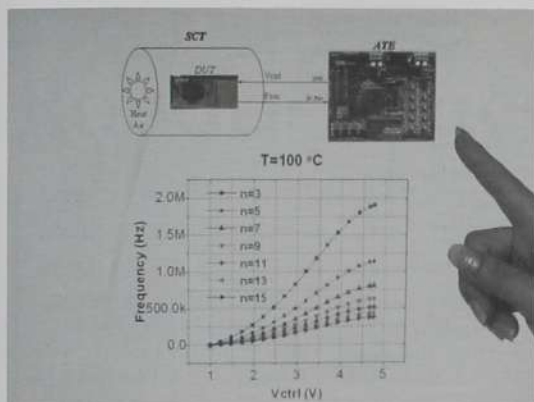


Figura 7. Estimación de desempeño para un VCOs a 100 °C en función del voltaje de control y del número de etapas.

capacidades para manejar cargas de capacidad de gran valor; ese circuito es llamado *buffer* [7].

Apoyando actividades de investigación los recursos del ATE han sido usados para obtener la característica frecuencia-voltaje de control (f_0 - V_{ctrl}) en osciladores controlados por voltaje o VCOs (por sus siglas en inglés). Esa característica, además de ser obtenida para diferente número de etapas (n), se obtiene para diferentes temperaturas de operación (T).

Obtener información experimental como función de la temperatura no sólo es útil para estimar el desempeño de los VCOs ante variaciones térmicas, sino para desarrollar modelos de diseño basados en parámetros bajo el control del diseñador (ver figura 7). Uno de estos modelos está dado por

$$f_{VCO} = \left(\frac{310.407 \times 10^3}{n} \right) \left[0.0038 T - 1.1005 + (-0.084 T + 21.874) \exp(-[0.426 V_{ctrl} - 2.138]^2) \right]$$

el cual es válido en el rango $1.5V \leq V_{ctrl} \leq 5.0V$ y no complicado su uso para trabajo *a mano* [8]. El límite superior corresponde al valor de la alimentación del VCO, mientras que el límite inferior corresponde, aproximadamente, a la suma algebraica de los voltajes

de encendido de los transistores NMOS y PMOS usados para el desarrollo de la etapa básica de retardo, es decir $V_{Tn} + |V_{Tp}| \approx 1.5V$. En el rango descrito, el error relativo entre el modelo de diseño y la información experimental es $\pm 2\%$.

Evaluación del ATE

Como apoyo a la docencia, fundamentalmente en prácticas de laboratorio, el ATE minimiza los errores que suele introducir el usuario, elimina las inestabilidades del equipo básico y evita el uso de metodologías de caracterización no adecuadas que algunos usuarios –por su formación primera– conservan como válidos. Con el ATE, la programación de funciones es rápida al igual que la captura de datos experimentales. Esta última puede ser incluso debida a varios ciclos de caracterización para generar curvas estadísticamente representativas; incluyendo su representación gráfica, el proceso de captura y desplegado no consume más de un minuto.

Usando información de desempeño eléctrico que proporcionan los fabricantes de circuitos y dispositivos comerciales de propósito general (por ejemplo, dispositivos MOS de potencia), con el ATE se han reproducido las curvas de desempeño reportadas. Se han generado además curvas de desempeño (por ejemplo VCOs embebidos en PLLs) no reportados por los fabricantes. Del punto de vista estudiantil, el ATE resulta una herramienta útil de caracterización, la captura de información experimental es rápida y confiable, y contar con una interfase para descargar datos de memoria a una PC hace que la representación gráfica sea inmediata, finalmente, contar con un proceso de captura confiable de datos experimentales permite aplicar los métodos de análisis que se presentan en cursos orientados al procesamiento digital de señales. Esta característica hace del procesamiento de señales superar el nivel tradicional de análisis, es decir, de un tópico puramente matemático que concluía con simulación (*spice*), a una etapa en la que los alumnos entienden y ponen en práctica el conocimiento capturado en el aula con análisis, simulación y procesamiento de señales reales.

Los investigadores del Cinvestav-Guadalajara trabajan en el desarrollo de un *hardware* para diversas aplicaciones. Buscan conformar una plataforma de caracterización basada en un dispositivo programable, incorporar circuitos integrados comerciales para incrementar las capacidades del dispositivo programable, usar una PC e interfase estándar de comunicación y, finalmente, utilizar el equipo existente para proponer arquitecturas maestro-esclavo de caracterización.

El propósito final es desarrollar una tarjeta completa de caracterización, de bajo costo, que pueda ser usada en cursos de formación básica en instituciones de educación superior.

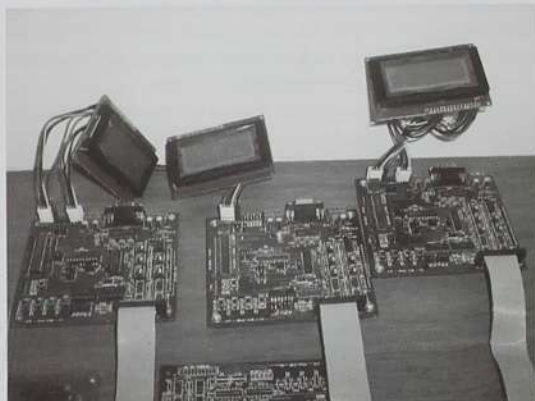


Figura 8. Algunas de las muestras del ATE para ser usado, en esta primera etapa, en el ámbito doméstico.

Hoy día, las capacidades del ATE siguen siendo usadas en el desarrollo de trabajos de tesis (generación 2005-2007) y se incorporará su aplicación en el curso Diseño de Circuitos Analógicos II (1^{er} cuatrimestre de 2008). La figura 8 muestra varias de las tarjetas de caracterización eléctrica, o ATEs, utilizadas en la actividad diaria de la Unidad Guadalajara.

Conclusiones

Esta primera etapa sólo corresponde a la puesta en marcha de un ATE que deberá incluir mayores prestaciones. De éstas, la segunda etapa incluye incorporar técnicas de verificación y operación bajo condiciones extremas orientado a convertidores

analógico-digital (A/D), por citar una aplicación. El propósito final es desarrollar una tarjeta completa de caracterización, de bajo costo, que pueda ser usada en cursos de formación básica, como son los que corresponden a la educación universitaria o de ingeniería que ofrecen las instituciones de educación superior nacionales.

Finalmente, es importante mencionar que este desarrollo es una solución parcial al equipamiento que debe tener el laboratorio de diseño. La adquisición de equipo para medición *on-wafer* y/o para medir corrientes del orden de pA o menores sigue siendo una necesidad que no es sustituida en modo alguno con el desarrollo del ATE. La búsqueda de fondos para ese equipamiento continúa. ●

Clase básica	Clase media	Equipo cómputo
3 Multímetros	1 Analizador de impedancia	28 PCs
2 Fuentes de voltaje	1 Analizador de espectros	
2 Generadores de señales		
2 Osciloscopios		
1 Milivoltímetro		

[Referencias]

- [1] Aldrete-Vidrio H., Santana-Corte J. y Del Valle J. L., Stored Charge Control of P-N Diodes: A Simulation Approach, en *Proc. of the International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems*, Oranjestad, Aruba, abril 2002.
- [2] De Capitani S., Ferrero A. y Lazzaroni M., Mobile Agent Technology for Remote Measurements, en *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurements*, vol. 55, núm. 5, pp. 1559-1565, octubre 2006.
- [3] Montoya-Suárez E. y Sandoval-Ibarra F., Desarrollo de un sistema automático de pruebas para circuitos integrados, en *Proc. of the XI Workshop Iberchip*, Salvador de Bahia, Brazil, marzo 2005.
- [4] Dávalos-Santana M. A., Diseño de un MAGFET en Tecnología CMOS, tesis de maestría, Cinvestav-Unidad Guadalajara, diciembre 2006.
- [5] Dávalos-Santana M. A., Sandoval-Ibarra F. y Montoya-Suárez E., A 540 mT⁻¹ Silicon-based MAGFET, *Revista Mexicana de Física* (aceptado para publicación).
- [6] Regalado-Silva G., Circuito Mezclador CMOS para Conversión de Frecuencia en tecnología CMOS 0.5µm, tesis de maestría, CINVESTAV-Unidad Guadalajara, diciembre 2006.
- [7] Vargas-Calderón E., Sandoval-Ibarra F., Montoya-Suárez E. y Corona-Murguía O., A 2Y Voltage Generator Analytical Model, *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 5, núm. 1, pp. 49-57, abril 2007.
- [8] Montoya-Suárez E. y Sandoval-Ibarra F., Development of an Automatic Test Environment for Testing/Modeling CMOS-based VCOs, *Memoria Técnica CAIP International Conference*, julio 2007, Asunción, Paraguay.

Robótica médica

CON EL PROPÓSITO DE ESTABLECER SOLUCIONES TECNOLÓGICAS PROPIAS Y LLEVARLAS A LOS QUIRÓFANOS DE SEGURIDAD SOCIAL, EN LA SECCIÓN DE BIOELECTRÓNICA DEL CINVESTAV SE REALIZÓ UNA INVESTIGACIÓN QUE CULMINÓ EN 2002 CON LA FABRICACIÓN DE UN ASISTENTE ROBÓTICO. EL LLAMADO TONATIUH CUENTA CON DISEÑO ORIGINAL, FUNCIONALMENTE SIMILAR Y EN ALGUNOS PUNTOS SUPERIOR A LOS ROBOTS QUIRÚRGICOS COMERCIALES. HA SIDO PRUEBADO EXITOSAMENTE.



Cirugía experimental en perro.

Arturo Minor Martínez

La robótica médica tiene sus inicios en los años noventa del siglo pasado [1, 2, 3, 4, 5]. Una vez que la cirugía laparoscópica estableció sus parámetros de aplicación, se validó su utilidad y se enfrentaron cada vez más retos quirúrgicos en las diversas subespecialidades médicas, se contempló la idea de ingresar un robot al escenario quirúrgico. Y lo que empezó como un sueño se convirtió en una realidad con el advenimiento del primer robot quirúrgico comercial [1, 2], que en realidad es un robot manipulador controlado a distancia. Sin embargo, estos robots difieren de los robots industriales porque, además de los parámetros formales para navegar en el espacio de trabajo, se requieren parámetros tecnológicos específicos para su aplicación en cirugía, que realmente son impresionantes. Comenzando por la seguridad mecánica, la seguridad eléctrica, los materiales de fabricación para garantizar esterilización y los accesorios de adaptación instrumental para que el asistente robótico sea funcional dentro del quirófano. Este punto es crucial porque no se dispone de un tiempo indefinido para la cirugía; la anestesia prolongada y la exposición de los tejidos también prolongada producen problemas a largo plazo en el paciente y, en el corto plazo, aumentan el costo del procedimiento.

Un punto adicional es la interfase hombre-máquina, necesaria para establecer la relación directa del cirujano con el manipulador. En un inicio se utilizaron pedales, mini joystick, sistemas de activación cefálica y, finalmente, sistemas con reconocimiento de comandos

verbales. En todos los casos, la precisión intrínseca del reconocimiento es crucial, además del costo temporal asociado, que también produce una latencia acumulable en el procedimiento. Pero ¿qué es lo que realmente hace este robot y por qué es necesaria su aplicación en un quirófano?

La cirugía laparoscópica es considerada la cirugía del presente milenio. Este método tiene las siguientes ventajas: cicatrices imperceptibles, que estéticamente es importante, corta permanencia hospitalaria, que en términos de costo es significativo para el paciente y, por último, una recuperación más rápida, lo cual implica que en un menor tiempo regresa al trabajo, que para un país económicamente es deseable. Esta cirugía no es abierta, el cirujano aborda el procedimiento a través de puertos de un centímetro, medio centímetro o tres milímetros. Para asistir visualmente utiliza una cámara de alta resolución con una fibra óptica rígida con luz blanca conocida como laparoscopia, que puede tener una óptica de cero grados o de 30 grados, según sea el procedimiento.

Ergonómicamente, el espacio de trabajo del cirujano es casi frente a él, por lo que el laparoscopia también está frente al cirujano. Para que realice el procedimiento, requiere de perspectivas ópticas que le da el laparoscopia. En el tercer mundo, un asistente humano asiste visualmente al cirujano moviendo el laparoscopia; sin embargo, esta asistencia –exteriormente sobre la mesa quirúrgica– es incómoda para el cirujano. Además, las perspectivas visuales que necesita cambian por el temblor

ARTURO MINOR MARTÍNEZ En 1999 se doctoró en Ingeniería Eléctrica en el Cinvestav. Es investigador 3B del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Selección de Bioelectrónica. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores desde 1996 (nivel I). Ha publicado más de 75 artículos en revistas nacionales, congresos internacionales y nacionales y en revistas de arbitraje estricto.

Tiene más de cinco patentes nacionales en trámite y algunos de sus diseños han sido adquiridos por hospitales de primer nivel para el entrenamiento de nuevos cirujanos. Actualmente tiene diversos proyectos con el ISSSTE, el IMSS, el Hospital Inglés ABC, el Hospital Infantil Federico Gómez y el Hospital Santa Fe. aminor@cinvestav.mx

El robot quirúrgico es un robot manipulador controlado a distancia. Se utiliza en cirugías laparoscópicas y su función es mantener el laparoscopio (cámara de alta resolución con fibra óptica rígida de luz blanca) en la posición deseada, sin temblor y con la aproximación visual necesaria.



Colectomía laparoscópica realizada en el IMSS.



Prueba experimental en la Escuela Superior ESM-IPN.



Microcirugía laparoscópica en rata.



Cirugía laparoscópica en infante.



Entrenamiento laparoscópico con asistente mecatrónico.

involuntario del asistente, provocado principalmente por cansancio, los tiempos aumentan y la calidad quirúrgica disminuye con esta asistencia. El robot asistente lo que hace, en principio, es mantener al laparoscopio en la posición deseada, sin temblor y con la aproximación visual necesaria. Las ventajas de utilizar esta tecnología son inmediatas para el cirujano, pues dispone de un mejor espacio de trabajo visual, así como un mejor espacio de trabajo sobre la mesa quirúrgica. Esta herramienta permite que el procedimiento utilice, en general, un menor tiempo y se realice con mejor espacio ergonómico de trabajo.

En la Sección de Bioelectrónica del Cinvestav, bajo mi dirección, se inició el desarrollo de una investigación para establecer nuestra propia solución tecnológica y

llevar a los quirófanos de seguridad social un robot con capacidades similares a los robots comerciales. La intención jamás fue desarrollar ingeniería de reversa, más bien se buscó afrontar este reto tecnológico para establecer nuestras propias soluciones y proponer ideas nuevas. Dejar de resolver este tipo de retos evita una consecución de la cadena tecnológica, perdiendo la posibilidad de hacer nuevas propuestas internacionales. El robot Tonatiuh surgió en 2002, a nueve años del primer robot comercial. La evolución [6] de su desarrollo pasó por un proceso de modificación y corrección de cada una de sus partes. La solución formal y el diseño electrónico fue desarrollado por alumnos de maestría; la fabricación de cada parte mecánica del robot se

realizó en el taller de la Sección de Bioelectrónica con nuestras propias consideraciones de diseño y, para acelerar el proceso, se modeló cada parte y se probó en quirófano realizando cirugías experimentales. El Conacyt ayudó sustancialmente a la finalización del proyecto. Se concluyó con un diseño original en su totalidad, funcionalmente similar y en algunos puntos superior a los robots comerciales. El asistente robótico ha sido probado exitosamente, primero en perros y puerquitos y posteriormente en humanos, considerando el protocolo de Helsinki y con la aprobación de los cirujanos de cada unidad hospitalaria. Durante la asistencia del robot no se han tenido problemas ni trans ni post operatorios. La diversidad de cirugías asistidas ha confirmado su utilidad [7, 8, 9, 10, 11]; también se realizaron protocolos de esterilización y de montaje. A su vez se ha diversificado la cuasística utilizando el robot, asistiendo a diversos cirujanos, diversos procedimientos y diversos espacios geométricos (adultos y niños). Asimismo, el robot ha sido probado exitosamente asistiendo al entrenamiento en microcirugía.

El proyecto ha derramado diversos productos académicos. Los más importantes han sido la formación de recursos humanos, la creación de grupos de trabajo con cirujanos expertos de la especialidad, artículos originales en los ámbitos nacional e internacional, la creación de nuevas propuestas mecatrónicas internacionales para la especialidad [12], la invitación a diversos conferencias, la experiencia de afrontar este reto y, la más importante, la asistencia quirúrgica especializada a nuestra población. Esta última redonda directamente en nuestro país como un derecho a la atención hospitalaria de calidad. Actualmente, el robot sigue asistiendo regularmente cirugías de la especialidad, aunque todavía falta que se integren voluntades para que esta herramienta especializada forme parte de los hospitales de primer nivel del país.

El futuro de esta tecnología está en la puerta del primer mundo a través de la cirugía a distancia para aplicaciones espaciales o militares y, prácticamente, nos sigue llevando más de diez años de distancia. Sin

embargo, es posible, a través del esfuerzo comprometido con las instituciones que apoyan la investigación, llegar a soluciones innovadoras para nuestra sociedad científica y útiles para la población, como podría ser la teleasistencia a comunidades rurales.

Un punto que merece la atención es el aprendizaje quirúrgico con esta nueva tecnología. El robot ha asistido diversos cursos de la especialidad para que residentes, cirujanos generales y cirujanos veterinarios conozcan y manejen esta tecnología contribuyendo a su formación.

El autor agradece la participación de las siguientes instituciones para llevar a cabo este proyecto: Hospital Infantil Federico Gómez, ISSSTE, IMSS (México-Chiapas), Hospital ABC y Escuela Superior de Medicina IPN. ●



Cirugía laparoscópica en el Hospital Federico Gómez.



Cirugía laparoscópica de entrenamiento en puerto.

[Referencias]

- [1] Sackier J. M. y Wang Y. Robotically Assisted Laparoscopic Surgery. *Surgery Endosc* 1994; 8: 63-66.
- [2] Dagan J. y Bat L. Endoassist, a mechanical device to support an endoscope. *Gastrointest Endosc*. 1982 mayo; 28 (2): 97-98.
- [3] Aiono S., Gilbert J. M., Soin B., Finlay P.A. y Gordan A. Controlled trial of the introduction of a robotic camera assistant (EndoAssist) for laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc*. 2002; 16 (9): 1267-70.
- [4] Taylor R., Funda J., Eldridge B., Gomory S., Gruben K., LaRose D., Kavussi I. y Andersen J. A telerobotic Assistant for laparoscopic surgery. *IEEE Eng. Med.*, vol. 14, núm. 3, pp. 279-288, 1995.
- [5] Funda J., Gruben K., Eldridge B., Gomory S. y Taylor R. Control and evaluation of a 7-axis surgical robot for laparoscopy. *IEEE International Conference on Robotics and Automation Proceedings* 1995, vol.2, pp. 1477-1484.
- [6] Minor A., Mosso J. L., Domínguez A., Martínez R. C., Muñoz R. y Lara V. Robot para cirugía laparoscópica. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. XXIII, núm. 1, pp. 27-32, marzo 2002.
- [7] Minor-Martínez A., Mosso-Vázquez J. L. y Lara-Vaca V. *Robótica Médica, Longevidad*, año II, núm. 16, diciembre 2001.
- [8] Mosso-Vázquez J. L., Minor-Martínez A., Lara-Vaca V. y Maya E. Brazo robótico para sujetar y posicionar laparoscopios. Primer diseño y construcción en México. *Cirugía y Cirujanos*, vol. 69, núm. 6, pp. 27-31, noviembre-diciembre 2001.
- [9] Mosso-Vázquez J. L., Minor-Martínez A., Lara-Vaca V., García-Palacios R. y Nava-Pineda C. Histerectomía vaginal video asistida a través de un brazo robótico. Reporte de un caso. *Cirugía y Cirujanos*, vol. 70, núm. 2, pp. 295-299, marzo-abril 2002.
- [10] Mosso-Vázquez J. L., Minor-Martínez A., Lara-Vaca V. y Padilla Díaz I. M. Navegación endoscópica asistida por un robot en animal de experimentación. *Cirugía y Cirujanos*, vol. 70, núm. 5, pp. 105-108, septiembre-octubre 2002.
- [11] Mosso-Vázquez J. L., Minor-Martínez A., Gómez-González A., Padilla Sánchez L., De la Torre-Gutiérrez A. y Lara-Vaca V. Colectomías laparoscópicas asistidas por un robot y teleguidadas vía satélite en México. *Cirugía y Cirujanos*, vol. 70, núm. 6, pp. 449-454, noviembre-diciembre 2002.
- [12] Minor-Martínez A., Muñoz Guerrero R., Nieto J. y Ordóñez Flores R. Postural mechatronic assistant for laparoscopic training. *Minimally invasive therapy and Allied Technologies*, vol. 14, núm. 6, pp. 357-359, 2005.

Nicolás Cusa: con la matemática por delante

EN EL SIGLO XV, EL CARDENAL NICOLÁS CUSA ESCRIBIÓ UN LIBRO LLAMADO *DE DOCTA IGNORANTIA*. EL AUTOR PRESENTA ALGUNOS MOMENTOS CLAVE DE ESTE TRATADO DE TEOLOGÍA CATÓLICA AVANZADA PARA DEMOSTRAR QUE LA “ESPIRITUALIZACIÓN MATEMATIZANTE” Y “NUESTRA TOTAL CONFIANZA EN LA INFALIBILIDAD DE TODO LO MATEMÁTICO” SIEMPRE HAN ESTADO VIGENTES.



Figura 1. Nicolás Cusa en fragmento de la pintura *Crucifixion* del artista conocido bajo el seudónimo de Meister des Marienlebens (Maestro de la vida de María) en la capilla del St. Nikolaus Hospital en Bernkastel-Kues, Alemania.

Carlos Ímaz Jahnke

Hace ya muchos años se me acercó un tesista, de alguna carrera del área biológica, con el problema y, consecuente preocupación, de que sus cultivos de cierta bacteria no concordaban, en lo referente a las variantes cuantitativas, con las predicciones que emanaban de un modelo matemático que le había proporcionado su asesor de tesis para que lo validara. Después de que comprobamos que la manipulación del modelo no tenía errores, le dije que la única salida, a menos que quisiera utilizar “cuchara”, era tirar el modelo a la basura. Mi asombro fue darme cuenta que todo esto no resultó del agrado del tesista; él habría preferido encontrar un error matemático que justificase las discrepancias o bien, continuar con la hipótesis, que ya traía rumiando en su cerebro, de que su trabajo de laboratorio era el culpable de las incoherencias. Aquel joven aprendiz de científico quería movilizarse “con la matemática por delante”.

Este comportamiento intelectual, dados el éxito espectacular de las ciencias y el papel que en ello han jugado las matemáticas, sobre todo a partir del siglo XVII, no tiene por qué llamarnos la atención, como tampoco el hecho de que se produzca actualmente, inclusive de manera espontánea. En principio, no es extraño que se manifestase durante el periodo clásico de la cultura griega y sus zonas y épocas de influencia, dada la espiritualización matematizante que caracteriza a esa época. Bástenos con recordar la escuela de los pitagóricos y sus múltiples secuelas, alguna tan aparentemente banal, pero muy viva, como aquello de “si Pitágoras no miente”, dicho con un dejo de sorna y como expresión de nuestra total confianza en la infalibilidad de todo lo matemático. Donde sí esperaríamos no encontrármelo es inmerso en el escolasticismo de fines de la edad media, hijo natural y adulto, dicho

CARLOS ÍMAZ JAHNKE, Doctorado en matemáticas (UNAM, 1961), es actualmente investigador emérito del Cinvestav (1998) y su interés principal está en estudiar el papel del infinito en matemáticas, por esta razón (no por

interés en teología) se acercó, entre muchas otras, a la obra de Nicolás Cusa. El presente artículo es una simple cuestión episódica personal.
cimaz@cinvestav.mx

"[...] si deseamos alcanzar el Máximo Absoluto a través de lo finito, debemos, en primer lugar, analizar figuras matemáticas finitas tal y como son, esto es una mezcla de potencia y ser."

Nicolás Cusa



Figura 2. Hoja del libro *De Docta Ignorantia*.

escolasticismo, del maridaje entre el aristotelismo y los dogmas intocables de la Iglesia católica. Pero, como veremos, incluso en ese medio hace su aparición con inusitada vitalidad y relativo buen protagonismo, dando pie a mi hipótesis de que ese comportamiento es natural y verdaderamente universal.

En muchos escritos relacionados con la historia de las matemáticas aparece brevemente mencionado un personaje de nombre Nicolás Cusa (1401-1464), hijo, se dice, de un pescador pobre, que llegó a ser cardenal, que tuvo algunas contribuciones (nada claras en las referencias que pude consultar) a las matemáticas y escribió, entre otros, un libro llamado *De Docta Ignorantia*. Durante muchos años, cuando me acordaba de él, esto era lo que sabía de Nicolás Cusa, hasta que, por razones que no vienen al caso, quise conocer más de cerca la obra de tan santo y preclaro varón. Pude entonces saber que ese libro había sido traducido al inglés y publicado en Londres (Routledge & Kegan Paul) el año de 1954, a más de quinientos años de su primera aparición. Apparently, esta edición está fuera de circulación desde hace décadas, pero puede ahora conseguirse reproducida por la librería Sacred Science Institute, especializada en proveer copias de libros antiguos sobre temas como: metafísica, cosmología científica, astrología, astroeconomía, geometría sagrada, predicción de mercados financieros, etcétera, según reza el texto de su página de Internet. En lo que sigue haré algunas observaciones respecto al contenido de ese libro, basado en lo que parece ser una fotocopia de la mencionada edición inglesa.

El texto de Cusa es, en términos muy generales, un tratado básico de teología católica avanzada, y se encuentra dividido en tres grandes secciones, que el autor denominó libros primero, segundo y tercero, respectivamente, cada uno subdividido en varios capítulos cortos. El libro primero está dedicado al análisis del ámbito divino a partir, principalmente, de las nociones (matemáticas) de infinito y de supremo, para poder alcanzar la convicción de la existencia, necesidad y unicidad de Dios y de la Santísima Trinidad. El segundo trata sobre el ámbito de nuestros sentidos, del universo que nos es revelado. Finalmente, el tercero

analiza el papel de Jesús como único intermediario autorizado entre esos dos ámbitos. Ahora, para tener alguna idea de la estructura y método dialéctico del libro reproduciremos algunos párrafos, advirtiendo que he seleccionado aquellos que me parecen "claros" ya que, por lo general, el libro es bastante abstruso y de muy difícil lectura. Dice Cusa (p. 26), tratando de justificar sus procedimientos de análisis:

¿Qué no es cierto, de acuerdo con el primer filósofo Pitágoras, que la llave de toda verdad se encuentra en los números? [...] nuestros principales filósofos, como [San] Agustín y Boecio, no dudaron en asegurar que el número era el objeto principal en la mente del Creador.

Y, más adelante, nos asegura:

Siguiendo las huellas de los antiguos, estamos en total acuerdo con ellos al decir que, ya que los símbolos son la mejor manera de acceder al conocimiento de lo divino, lo mejor que podemos hacer es usar los signos matemáticos dada su indestructible certeza.

En la frase anterior, donde hemos puesto "signos matemáticos", la edición inglesa dice "*mathematical signs*", pero creo que Cusa tenía en mente, más bien, objetos matemáticos o, más precisamente, figuras geométricas, como parecen sugerir los párrafos siguientes (pp. 27-28), que citaré completos, pues nos proporcionan una buena noción de la forma como Cusa argumenta en su libro:

Es evidente, por lo que hemos dicho, que ningún objeto que conozcamos o del que tengamos una idea, puede ser el Máximo Absoluto; pero como su búsqueda la queremos hacer por símbolos, debemos, por lo tanto, buscar algo más que simples comparaciones. En matemáticas, de hecho, siempre tratamos con cosas finitas, pues si no lo fueran no podríamos tener idea alguna de ellas. Así que si deseamos alcanzar el Máximo Absoluto a través de lo finito, debemos, en primer lugar, analizar figuras matemáticas finitas tal y como son, esto es una mezcla de potencia y ser; y entonces podremos atribuir las perfecciones respectivas a las correspondientes figuras infinitas, finalmente debemos, en forma más sublime, atribuir las perfecciones de las figuras infinitas al simple Infinito, el cual no puede expresarse por medio de una figura. De esta manera, tropicando en la oscuridad, nuestra ignorancia nos iluminará de manera incomprensible para que nos formemos una noción más correcta y verdadera del Absoluto.

“Algunos estudiosos han comparado la Santísima Trinidad con un triángulo cuyos tres ángulos son rectos, tal triángulo debe considerarse como infinito pues sus lados, como veremos, deben ser infinitos. Otros, tratando de describir la unidad infinita, han dicho que Dios es un círculo infinito; y hay quienes han comparado a Dios con una esfera infinita por Su perfección existencial. Vamos a demostrar que todos estos puntos de vista son correctos y forman una sola opinión.”

Nicolás Cusa



Figura 6. Pitágoras en la Escuela de Atenas, fragmento de la pintura homónima de Rafael Sanzio.

Por este método, guiados por la Verdad Infinita, entendemos expresiones usadas por hombres santos e intelectos brillantes que se dedicaron al estudio de figuras, San Anselmo, por ejemplo, comparó la Verdad Absoluta con la rectitud infinita, siguiéndolo tomaremos la línea recta como nuestra representación de rectitud. Algunos estudiosos han comparado la Santísima Trinidad con un triángulo cuyos tres ángulos son rectos, tal triángulo debe considerarse como infinito pues sus lados, como veremos, deben ser infinitos. Otros, tratando de describir la unidad infinita, han dicho que Dios es un círculo infinito; y hay



Figura 3. La línea recta ab será el arco del máximo círculo.

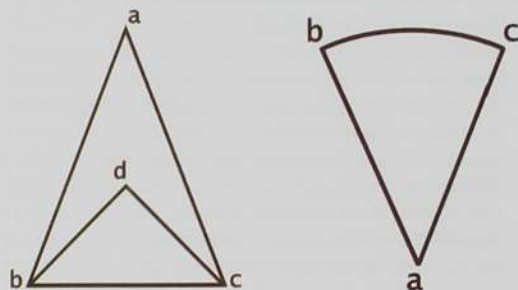


Figura 4. Si el ángulo es de 180° , el triángulo se reduce a una línea.
Figura 5. Concluimos, por necesidad, que el triángulo abc es el círculo infinito.

quienes han comparado a Dios con una esfera infinita por Su perfección existencial. Vamos a demostrar que todos estos puntos de vista son correctos y forman una sola opinión.

El primero de los párrafos antes citados da una buena descripción del método de la “Docta Ignorantia”; el segundo es la introducción que motiva el “teorema” siguiente:

Si existe una línea infinita, sostengo que ésta será simultáneamente una línea recta, un triángulo, un círculo, una esfera; análogamente, si existe una esfera infinita ésta sería simultáneamente [...].

La demostración de este “teorema” es, desde luego, la parte medular del libro primero y la base para otras argumentaciones en el resto de la obra. Para finalizar esta disquisición sobre Nicolás Cusa, citaré parte de una argumentación que aparece en el libro segundo (p. 108), cuya conclusión no es para nada menor, dada la época en que se hizo. Escribió Cusa:

La Tierra, que no puede ser el centro [del Universo], debe por consecuencia estar en movimiento; de hecho, su movimiento debe ser tal que siempre es susceptible de disminuir. Tal como la Tierra no es el centro del Universo, así la circunferencia del Universo no es la esfera de las estrellas fijas. [...] La Tierra, entonces, no es el centro de la octava esfera, o de cualquier otra esfera [...].

En pocas palabras, adiós a Tolomeo *et al.* La Inquisición parece que no pestañeó, quizá debido a que todavía no tenía ni el poder ni las malas mañas que alcanzó posteriormente; quizá debido a que Cusa era un alto miembro del clero y cercano a los papas, o bien, que con astucia supo protegerse llevando “la matemática por delante”. ●

[Referencias]

Cusa, Nicolás: *Of learned ignorance*, Routledge & Kegan Paul Ltd., Londres, 1954 (facsimilar, Sacred Science Institute, 2002).

Fabricación de películas para elaboración de bolsas desechables biodegradables con el uso de almidón y fibra de bagazo de caña

SEA DE PLÁSTICO O DE PAPEL, POR SU VERSATILIDAD Y BAJO COSTO DE PRODUCCIÓN LA BOLSA ES EL EMPAQUE MÁS POPULAR DEL MUNDO, A LA VEZ QUE UNO DE LOS PRODUCTOS QUE GENERA MAYORES PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN DE NUESTRO PLANETA. EN ALGUNOS PAÍSES DE EUROPA YA EXISTEN REGULACIONES PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL GENERADA POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS, Y EN ESTADOS UNIDOS, SAN FRANCISCO SE HA CONVERTIDO EN LA PRIMERA CIUDAD QUE PROHIBE EL EMPLEO DE BOLSAS DE PLÁSTICO EN LOS SUPERMERCADOS Y FARMACIAS.

Fernando Martínez Bustos, Tomás Galicia García, Ernesto Aguilar Palazuelos y Omar A. Jiménez Arévalo

Introducción

Cada año se fabrican en el mundo entre 500 y 900 mil millones de bolsas a partir de derivados del petróleo. Sin lugar a dudas, la bolsa es el empaque más usado debido a su versatilidad y economía; actualmente se consumen 60 mil bolsas de plástico cada cinco segundos; en cuanto a las de papel, se consumen 1.14 millones cada hora. A pesar de que comúnmente son reutilizadas para una variedad de propósitos en el hogar y en algunos establecimientos [1], las bolsas de comercio representan uno de los productos que genera mayores problemas de contaminación. Se utilizan sólo por un

corto tiempo, luego se desechan e incorporan en rellenos sanitarios, en donde pueden tardar en degradarse y reincorporarse al medio ambiente incluso más de 150 años [2]. Aunado a ello, durante su incineración, los residuos sólidos de los polímeros usados en la fabricación de bolsas emiten gases contaminantes a la atmósfera. En cuanto a las bolsas de papel, la energía utilizada para transformar la celulosa, así como la pasta de papel y los productos químicos usados en su fabricación requieren de indiscriminadas tallas de árboles. Las bolsas de celofán y el papel de aluminio, por su parte, no pueden reciclarse.

FERNANDO MARTÍNEZ BUSTOS Profesor titular del Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero químico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. Es maestro y doctor en Ciencias por la Universidad Estadual de Campinas São Paulo (Brasil). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III).
fmartinez@qro.cinvestav.mx.

TOMÁS GALICIA GARCÍA Estudiante del Programa de doctorado del Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo. Maestro en Ciencia y Tecnologías por la Universidad de Sonora. El tema de su tesis de doctorado es "Obtención y caracterización de películas para bolsas biodegradables, utilizando la tecnología de extrusión termoplástica".
rgalicia@qro.cinvestav.mx.

ERNESTO AGUILAR PALAZUELOS Egresado del Programa de doctorado del Cinvestav, Unidad Querétaro. Ingeniero bioquímico y maestro en Ciencias por la Universidad Autónoma de Sinaloa. Obtuvo el grado de doctor con la tesis titulada "Obtención y caracterización de materiales biodegradables utilizando las tecnologías de extrusión termoplástica y moldeado por inyección".
eaguilar10@gmail.com

OMAR ACONELTZIN JIMÉNEZ ARÉVALO Investigador titular B, CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro. Ingeniero mecánico eléctrico de la UNAM. Doctor en Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Especialidad en Propiedades Mecánicas de Materiales Poliméricos reforzados en la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (España). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (candidato a investigador).
omar.jimenez@ciateq.mx

Los problemas originados por la acumulación de desechos sólidos no biodegradables en condiciones ambientales normales crece día con día. En México, únicamente algunas grandes ciudades cuentan con un sistema eficaz de recolección y reciclado de residuos sólidos no biodegradables, lo que dificulta el manejo de casi 40 millones de toneladas de basura; de éstas, alrededor de 6% son plásticos, 2.5 millones de toneladas, aproximadamente [3], lo cual genera enormes problemas sociales, económicos, ambientales y de salud pública [4]. En países de la Unión Europea, las regulaciones son cada vez más estrictas para un manejo eficiente de los residuos sólidos, principalmente de los polímeros sintéticos. Como una medida para reducir la contaminación ambiental generada por estos residuos, recientemente, San Francisco se convirtió en la primera ciudad de Estados Unidos de Norteamérica en prohibir el empleo de bolsas de plástico en los supermercados y farmacias.

La industria del embalaje ha convertido las bolsas en la panacea: se fabrican de diferentes tamaños, formas y materiales, transparentes, de colores, impresas, embobinadas y en muchas otras variantes. Aun cuando su uso origina serios problemas de contaminación, ésta no ha sido una preocupación para los fabricantes, ya que son amplios los beneficios económicos generados por la comercialización de estos productos. Las materias primas se obtienen con facilidad, son relativamente económicas, al igual que la maquinaria utilizada para su producción. Adicionalmente, la facilidad de impresión de anuncios publicitarios en las bolsas lo hace un negocio rentable. En los últimos 60 años, los polímeros sintéticos han experimentado un crecimiento progresivo hasta constituir una importante área en la ciencia de los polímeros e invadir casi todas las actividades humanas. Este hecho es atribuido a su bajo costo, repetibilidad a alta velocidad de producción, durabilidad, alta resistencia al envejecimiento físico y ataques bacteriológicos.

Los polímeros son macromoléculas que se caracterizan por su tamaño, estructura química, interacciones intra e intermoleculares; además, por la naturaleza química y física de sus unidades repetitivas en las cadenas, aunque presentan ciertas características que los hace que difieran entre ellos [5]. Los principales polímeros utilizados en la elaboración de bolsas para uso en establecimientos comerciales son el polietileno

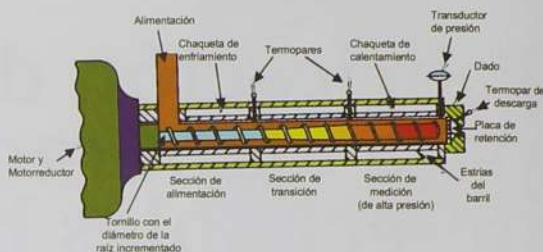


Figura 1. Componentes principales de un extrusor de tornillo simple.

de alta y baja densidad (PEAD, PEBD) y el polipropileno (PP) [6]. Básicamente, los procesos más importantes en la fabricación de bolsas son: extrusión, estirado y soplado, con la adición de ingredientes (plastificantes, estabilizantes y otros aditivos) para que el material pueda asumir la forma deseada [7]. La tecnología más simple es la de laminado por extrusión (figura 1). Mediante calentamiento y cizalla, el material es primeramente plastificado en el interior del extrusor; posteriormente es forzado a pasar a través de un dado o matriz rectangular, el cual le confiere la forma de lámina al polímero plastificado. Luego, esta lámina es pasada a través de un tren de estirado y enfriamiento, el cual le da el acabado final, hasta obtener la película del espesor deseado. Finalmente la película es cortada y sellada en la forma y el tamaño requerido de la bolsa [5].

Actualmente existe un enorme interés en reemplazar los plásticos comerciales con diversos polímeros naturales. En la fabricación de materiales biodegradables con características funcionales similares y menos agresivos al medio ambiente, estos polímeros naturales constituyen un campo emergente de la ciencia y la tecnología para la sustitución de plásticos sintéticos. Son definidos como materiales orgánicos que sufren una degradación molecular, generalmente en un medio acuoso, resultado de acciones complejas de organismos [8]. Su alto potencial radica en el bajo costo, alta disponibilidad y en el hecho de provenir de fuentes renovables, entre las cuales destacan el almidón, fibras, proteínas y sus componentes mayoritarios. Estas macromoléculas son sintetizadas biológicamente o elaboradas mediante procesos químicos o biotecnológicos a partir de fuentes naturales o de monómeros idénticos [9] y también pueden ser

Los residuos sólidos de los polímeros usados en la fabricación de bolsas de plástico emiten gases contaminantes a la atmósfera durante su incineración. En cuanto a las bolsas de papel, la energía utilizada para transformar la celulosa, así como la pasta de papel y los productos químicos usados en su fabricación, requieren de indiscriminadas talas de árboles. Las bolsas de celofán y el papel de aluminio, por su parte, no pueden reciclarse.

En México, únicamente algunas grandes ciudades cuentan con un sistema eficaz de recolección y reciclado de residuos sólidos no biodegradables, lo que dificulta el manejo de casi 40 millones de toneladas de basura; de éstas, alrededor de 6% son plásticos, 2.5 millones de toneladas, aproximadamente, lo cual genera enormes problemas sociales, económicos, ambientales y de salud pública.

modificadas para aumentar su funcionalidad. El almidón es un polímero termoplástico de carácter fuertemente hidrofílico que ha emergido como un material que posee características apropiadas para ser empleado como matriz en la elaboración de diversos materiales biodegradables para necesidades específicas de mercado y es totalmente biodegradable en una amplia variedad de medios [10]. Se han producido mediante procesos de fermentación biopolímeros biodegradables de aplicación comercial: el biopol (PHB), el pululano, ácido poliláctico (PLA) derivado del maíz, etcétera [11], sin embargo, estos materiales son biodegradables en condiciones fisicoquímicas adecuadas de humedad, temperatura, pH, inoculación de microorganismos, mezclado, entre otras [1]. El comportamiento mecánico de un material termoplástico a base de almidón está relacionado con la humedad del material del que forma parte, ya que el contenido de agua ejerce un efecto plastificante, lo que permite reducir la temperatura de transición vítrea (T_g) y su punto de fusión; así permite trabajar a menores temperaturas que la de degradación del almidón. Las propiedades mecánicas de las películas obtenidas a través de almidones generalmente son inferiores comparadas con las de los polímeros sintéticos, sin embargo, cuando a éstas se les agrega un plastificante, como el agua, exhiben una mejora en sus propiedades mecánicas [12].

Recientemente, el interés por encontrar nuevos usos para las fibras naturales ha ido en aumento debido a la sobreproducción de residuos agrícolas y co-productos generados en diversas industrias. En México existe una diversidad de fuentes de fibras naturales, entre las que se incluyen el salvado de trigo, fibra de bagazo, diversos agaves, yute, coco, henequén y residuos de piña. En el periodo de enero a agosto de 2004 se produjeron poco más de 45 millones de toneladas de caña de azúcar, generando una producción de aproximadamente 7 millones de toneladas de fibra, únicamente de esta fuente vegetal [13].

Las fibras funcionales como materiales de refuerzo en materiales biodegradables son las que presentan un alto grado de cristalinidad y fuerte interacción de cadenas adyacentes; esta orientación incrementa la fuerza de tensión. Las fibras presentan una longitud muy superior a su diámetro, están orientadas a lo largo

de un solo eje; además, tienen gran cohesión molecular, lo que las hace más fuertes con relación a los plásticos convencionales [14]. La arquitectura de la fibra es también un factor de suma importancia y que fundamentalmente incluye la geometría, orientación, arreglo de empaque y fracción del volumen de la fibra. Estas características controlan diversas propiedades de los materiales, particularmente las mecánicas. La geometría de las fibras naturales es controlada, en última instancia, por la morfología del tejido de la fibra. La geometría de la fibra puede ser a un cierto grado influenciada por los procesos de extracción y procesamiento de las mismas. La hemicelulosa es el componente mayoritario de la fibra y presenta un carácter hidrofílico, atribuido principalmente a los enlaces que contiene y puede ser utilizada en mezclas con almidón [15]. Diversos estudios [16, 17, 18] han mostrado que el uso de fibras de celulosa incrementa la fuerza de tensión como material de refuerzo en matrices de almidones termoplásticos. En sistemas almidón-agua, la fibra en concentraciones mayores a 50% retarda la fase de transición vítrea, la cual aparece nuevamente conforme se incorpora al sistema más agua y calor [19].

Los plastificantes son aditivos comúnmente empleados en algunos sistemas poliméricos, con el objetivo de mejorar su procesamiento y aumentar la flexibilidad y extensibilidad, provocando cambios en sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas. Son compuestos de baja volatilidad, que pueden ser sólidos o en su mayoría líquidos de alto peso molecular [20]. Los requisitos básicos para un plastificante son: a) compatibilidad con los componentes en la formulación del material polimérico, indicando que existen fuerzas intermoleculares similares entre los dos componentes, y b) nula volatilidad. El mecanismo de acción de los plastificantes consiste en una disminución en las fuerzas intermoleculares entre cadenas poliméricas adyacentes; esto hace que el plastificante incremente la movilidad molecular permitiendo que las macromoléculas se deslicen libremente unas sobre otras. Los plastificantes pueden afectar las propiedades mecánicas ya que conducen a un decremento de la fuerza de cohesión, fuerza de tensión, temperatura de transición vítrea y de fusión, aunque no alteran la naturaleza química de las macromoléculas [21]. El glicerol es un excelente plastificante para el almidón y

En los últimos 60 años, los polímeros sintéticos han experimentado un crecimiento progresivo hasta llegar a constituir una importante área en la ciencia de los polímeros e invadir casi todas las actividades humanas. Este hecho es atribuido a su bajo costo, repetibilidad a alta velocidad de producción, durabilidad, alta resistencia al envejecimiento físico y ataques bacteriológicos.



Figura 2. Equipo de extrusión y el tren de estiramiento utilizados para la obtención de las películas flexibles.

mejora, en gran medida, las propiedades técnicas de nuevos plásticos biodegradables [22]. La aplicación de estos materiales biodegradables está en función de sus propiedades mecánicas y de biodegradabilidad. En general, las propiedades mecánicas comprenden la totalidad de propiedades que determinan una respuesta del material a la aplicación de un trabajo mecánico externo. Se manifiestan por la capacidad de los materiales de desarrollar deformaciones, ya sean reversibles o irreversibles, y se evalúan mediante ensayos técnicos a través de respuestas de los materiales cuando son sometidos a mediciones que indiquen diversas dependencias de la tensión-deformación. Dentro de las propiedades mecánicas de materiales poliméricos, las utilizadas en los ensayos técnicos son las propiedades de tracción, útiles para la identificación y caracterización con aplicación en desarrollo, así como en la especificación y evaluación de la calidad de los

materiales. Entre éstas se pueden citar [23]: a) máxima resistencia a la tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$): es la resistencia máxima ofrecida por el material cuando es sometido a tracción; b) elongación a la fractura (ϵ_f): representa la relación porcentual entre el alargamiento del cuerpo de prueba y su cuerpo inicial, y c) módulo de elasticidad (E): es la relación entre la tensión de tracción y la deformación dentro del límite elástico (donde la deformación es totalmente reversible y proporcional a la tensión).

Obtención de películas biodegradables por medio de la tecnología de extrusión termoplástica

Uno de los procesos que ha presentado enormes ventajas para la manufacturación de diversos materiales a base de polímeros es la tecnología de extrusión termoplástica. El proceso de extrusión puede ser empleado con buenos resultados para la elaboración de empaques y películas

Los polímeros naturales constituyen un campo emergente de la ciencia y la tecnología para la sustitución de plásticos sintéticos. Su alto potencial radica en su bajo costo, alta disponibilidad, así como en el hecho de provenir de fuentes renovables, entre las cuales destacan el almidón, fibras, proteínas y sus componentes mayoritarios.

biodegradables a partir de fuentes renovables con características mecánicas que cumplan con las normas establecidas [24,25]. El principio fundamental del proceso de extrusión es convertir el material sólido en un fluido mediante la aplicación de calor y trabajo mecánico, promoviendo así la termoplastificación del mismo. Mediante este proceso pueden producirse películas con buenas propiedades funcionales. En el diseño de dados para la producción de hojas o películas se requiere modificar la forma fundamentalmente cilíndrica del material fundido a medida que entra a la zona del dado o matriz hasta lograr una forma delgada, más ancha, así como mantener de manera uniforme el calor existente, y los perfiles de presión y temperatura [5]. Resultados experimentales obtenidos en el Cinvestav, Unidad Querétaro, mostraron el gran potencial que representa la utilización del proceso de extrusión termoplástica en la obtención de películas biodegradables, que posteriormente pueden ser cortadas y selladas para la fabricación de bolsas. La figura 2 muestra los equipos de extrusión y el tren de estiramiento utilizados para la obtención de las películas flexibles. Se evaluaron los efectos de las variables de extrusión (humedad y temperatura de extrusión) y concentración de fibra de bagazo de caña en mezclas con almidón nativo de maíz y glicerol como agente plastificante en las propiedades mecánicas de tracción de películas para la fabricación de bolsas desechables. Las muestras fueron procesadas en un extrusor experimental. Los materiales obtenidos presentaron buena apariencia (figura 3) y propiedades mecánicas (tabla 1). Los



Figura 3. Películas flexibles biodegradables.

resultados obtenidos de las propiedades de máxima resistencia a la tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$), elongación a la fractura (ϵ_f) y módulo de elasticidad (E) (figuras 4, 5, 6 y 7) mostraron que altos contenidos de plastificante (>30%) disminuyeron la resistencia mecánica a la tracción (RMT), así como contenidos de fibra (no >15%) incrementaron la RMT inclusive a menores temperaturas. Temperaturas altas de extrusión (130°C) y contenidos de fibra intermedios (< o =15%) favorecieron el alargamiento a la ruptura y, por lo tanto, la obtención de una película más delgada; además, bajas concentraciones de plastificante (18%) dificultaron el estiramiento del material. Altas concentraciones de fibra (>15%) y bajas concentraciones de humedad (18.25%)

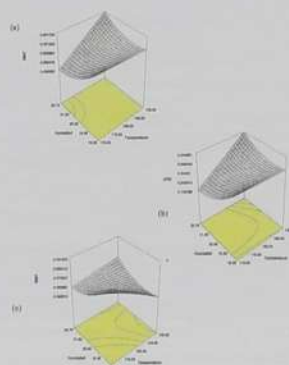


Figura 4. Efecto de la interacción temperatura-humedad en la variable de respuesta de máxima resistencia a la tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$). a) G-F (bajas concentraciones), b) incremento, G, c) incremento de F.

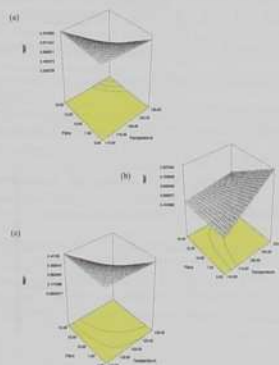


Figura 5. Efecto de la interacción temperatura-fibra en la variable de respuesta de máxima resistencia a la tracción ($\sigma_{m\acute{a}x}$). a) H-G (bajas concentraciones), b) incremento de humedad, H, c) incremento de plastificante, G.

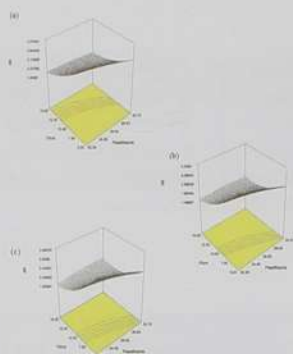


Figura 6. Efecto plastificante-fibra en la variable de respuesta elongación a la fractura (E_f). a) interacción humedad-temperatura, H-T; b) decremento de temperatura, T y c) decremento de humedad, H.

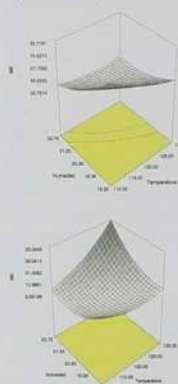


Figura 7. Efecto de la interacción temperatura-humedad en la variable de respuesta módulo de elasticidad (E).

disminuyeron los valores del módulo de elasticidad. A 20% de contenido de fibra se dificultó la salida del material durante el proceso y originó la separación de la fibra de las películas obtenidas. Se obtuvieron películas con buenas propiedades mecánicas para la elaboración de bolsas en una etapa posterior. Las mejores condiciones de extrusión para la obtención de películas fueron: temperaturas de extrusión de 110 a 130 °C, contenidos de humedad de 20.5 a 22.75%, contenidos de fibra de 5 a

15%, glicerol de 22 a 30%). Estos resultados permiten inferir la potencialidad de utilizar almidón reforzado con fibra en la obtención de películas biodegradables para ser utilizados en la fabricación de bolsas.

Perspectivas futuras

Siempre existirá la necesidad del uso de bolsas en tiendas, farmacias, almacenes y supermercados. En México se generan grandes volúmenes de polímeros naturales, como co-productos de diversas industrias, que pueden ser empleados eficientemente en la obtención de películas biodegradables para la fabricación de bolsas que suplan los artículos de plástico convencionales. Para ello, es necesario tomar medidas urgentes, prohibir el uso de bolsas de plástico convencionales o impulsar incentivos para los que usen la alternativa más amigable con el medio ambiente. Las bolsas elaboradas de materiales biodegradables por su naturaleza no afectan ningún proceso de compostaje ni actividad en las que sean introducidos y son capaces de llevar a cabo descomposición física, química, térmica, microbiológica o biológica, de manera que los productos finales del compostaje serán bióxido de carbono, biomasa y agua. En los hogares, restaurantes, hospitales, etcétera, los desperdicios orgánicos pueden colocarse en bolsas biodegradables e ir directamente a compostarse o a plantas productoras de biogás, reduciendo eficientemente el riesgo de transmisión de enfermedades a humanos por vectores como moscas, ratas, etcétera. Las bolsas biodegradables no necesitan ser enviadas a vertederos, pueden compostarse, reciclarse o incinerarse con recuperación de energía. Las legislaciones siempre tendrán que preocuparse con lo que ocurre con los desechos de plástico que no sean dispuestos de la manera indicada y terminen en algún lugar como basura. Es imposible asegurar, tanto para el sector industrial como para el gobierno, que todos los desechos de plástico que se producen y deseen desechar serán reciclados o incinerados; por tanto, todos deberían ser fabricados de polímeros biodegradables, a menos que se desee fabricar con ellos artículos cuya vida útil sea realmente larga. ●

Las bolsas elaboradas de materiales biodegradables por su naturaleza no afectan ningún proceso de compostaje ni actividad en las que sean introducidos y son capaces de llevar a cabo descomposición física, química, térmica, microbiológica o biológica, de manera que los productos finales del compostaje serán bióxido de carbono, biomasa y agua.

Tabla 1. Diseño experimental utilizado y variables de respuesta obtenidas

	Ensayo		Variables de proceso ^a		Variables de respuesta ^b		
	T (X1)	H (X2)	G (X3)	F (X4)	σ_{max}	ϵ_f	E
1	110	18.25	22.25	5.00	0.904	3.538	46.17
2	130	18.25	22.25	5.00	1.027	4.003	46.56
3	110	22.75	22.25	5.00	0.760	3.818	31.20
4	130	22.75	22.25	5.00	1.224	5.233	43.16
5	110	18.25	30.75	5.00	0.358	2.744	18.62
6	130	18.25	30.75	5.00	0.424	3.016	17.38
7	110	22.75	30.75	5.00	0.344	2.699	16.88
8	130	22.75	30.75	5.00	0.515	3.393	21.14
9	110	18.25	22.25	15.00	1.258	1.872	115.07
10	130	18.25	22.25	15.00	0.429	1.581	42.72
11	110	22.75	22.25	15.00	0.253	1.336	34.99
12	130	22.75	22.25	15.00	0.528	1.944	52.04
13	110	18.25	30.75	15.00	0.386	1.454	40.21
14	130	18.25	30.75	15.00	0.321	1.328	38.80
15	110	22.75	30.75	15.00	0.263	1.519	27.04
16	130	22.75	30.75	15.00	0.375	1.657	37.24
17	100	20.50	26.50	10.00	0.323	1.474	34.71
18	140	20.50	26.50	10.00	0.283	1.758	24.37
19	120	16.00	26.50	10.00	0.476	1.521	48.42
20	120	25.00	26.50	10.00	0.425	2.263	29.49
21	120	20.50	18.00	10.00	0.437	1.939	37.10
22	120	20.50	35.00	10.00	0.181	1.224	20.14
23	120	20.50	26.50	0.00	0.285	4.261	8.74
24	120	20.50	26.50	20.00	0.228	2.330	23.53
25	120	20.50	26.50	10.00	0.272	1.962	21.81
26	120	20.50	26.50	10.00	0.304	1.966	24.73
27	120	20.50	26.50	10.00	0.294	2.299	16.63
28	120	20.50	26.50	10.00	0.251	2.454	17.04
29	120	20.50	26.50	10.00	0.279	2.424	19.57
30	120	20.50	26.50	10.00	0.236	1.899	21.64

^aT: Temperatura de extrusión (°C), H: humedad de la muestra acondicionada (%), G: plastificante (glicerol, %), F: fibra (%); valores entre paréntesis hacen referencia a los niveles codificados. ^b σ_{max} : máxima resistencia a la tracción (MPa), ϵ_f : elongación a la fractura (%), E: módulo de elasticidad (MPa).

Referencias

- [1] INIT-Plásticos. 2005. Informe N° 20-13495 del 26.
- [2] Agustí, A. 2004. Actuaciones ambientales. Manual del profesor. Forum Barcelona 2004.
- [3] INEGI. 2006. Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de basura. Información estadística. México.
- [4] Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental (CMIA). 2003. La basura en el limbo: Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos.
- [5] Morton-Jones. 2006. Procesamiento de plásticos. Ed Limusa-Noriega Editores. México.
- [6] Rubin, I. Irvin. 1998. Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. Ed Limusa-Noriega. México.
- [7] Brown W. E. 1981. Handbook of plastics test methods, George Godwin. Londres (pp. 423).
- [8] International Standard Organization (ISO). 1995. Sheet materials. Determination of water vapour transmission rate, dish method. ISO 2528. Génova, Italia.
- [9] Guilbert S. 1992. Emballages consommables et biodégradables. En: Conditionnement alimentaire: innovation et environnement. Ed. Iseca (pp. 219-248).
- [10] Fábio, D. S., Laroitonda, K. N., Matsui, V. S. y Laurindo, J. 2004. Biodegradable films made from raw and acetylated cassava starch. Brazilian Arch. Biol. Tech. Int. J. 47:477-484.
- [11] Centro de Información Técnica (CIT). 2005. Consideraciones ambientales de las bolsas de comercio de polietileno. Boletín Técnico Informativo, núm. 20. Argentina.
- [12] Cha D. S. y Chinnam M. 2004. Biopolymers-Based Antimicrobial packaging: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44:223-237.
- [13] Barba P. C. 2002. Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales. Tesis doctoral. Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona. España.
- [14] Stevens M. P. 1990. Principles basics. En: Polymer chemistry. Ed. Oxford University Press. N.Y. Cap. I, pp. 33.
- [15] Gáspár, M., Benko, Z., Dogossy, G., Réczey, K. y Czifáry, T. 2005. Reducing water absorption in compostable starch-based plastics. Poly. Degrad. and Stab. 90:563-569.
- [16] Bledzki, A. K. y Gassan, J. 1999. Composites reinforced with cellulose based fibres. Prog. Polym. Sci. 24:221-74.
- [17] Amash, A. y Zugenmaier, P. 2000. Morphology and properties of isotropic and oriented samples of cellulose fibre-polypropylene composites. Polymer. 41:1589-96.
- [18] Funke, U., Berghaller, W. y Lindhauer, M. G. 1998. Processing and characterization of biodegradable products based on starch. Polym. Degrad. Stab. 59(1-3):293-6.
- [19] Stanislaw, L. R., Flis-Kabulska, I. y Jean-Pierre E. 2003. Grolier, Influence of Fiber on the Phase Transformations in the Starch-Water System. Biomacromolecules, 4: 937-943.
- [20] Kester, J. J. y Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings: A Review. Food Technology. 40:47-59.
- [21] Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible protective films. En: Food packaging and preservation. Mathlouthi M. ed. Elsevier Applied Science Publishers. New York, pp. 371-394.
- [22] Yu, J., Chen, S., Gao, J., Zheng, H., Zhang, J. y Lin, T. 1998. A study on properties of starch/glycerine blend. Starch/Stärke. 50:246-250.
- [23] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2001. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-00. Philadelphia, ASTM.08.01 9p.
- [24] Averoos L., Fringant C. y Moro L. 2001. Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites. Polymer. 42:6565-6572.
- [25] Sebio L. 2003. Desenvolvimento de plástico biodegradável a base de amido de milho e gelatina pelo processo de extrusão: avaliação das propriedades mecânicas, térmicas e de barreira. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Unicamp. Campinas. Brasil.

Observando al pasado del Universo: el fondo de microondas y el premio Nobel de Física 2006

EN 1989, NASA LANZÓ AL ESPACIO EL SATÉLITE CIENTÍFICO COBE (COSMIC BACKGROUND EXPLORER), DISEÑADO PARA ESTUDIAR EN DETALLE LA RADIACIÓN CÓSMICA DE FONDO, UNA FORMA DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN LA FRECUENCIA DE MICROONDAS QUE LLENA EL UNIVERSO ENTERO. CON SUS MEDICIONES, COBE TENÍA QUE RESOLVER, ENTRE OTRAS INTERROGANTES, CUÁL DE LAS DOS TEORÍAS SOBRE EL ORIGEN DEL UNIVERSO ERA LA CORRECTA: LA DEL ESTADO ESTACIONARIO O LA DE LA GRAN EXPLOSIÓN.

Tonatiuh Matos Chassin y Abdel Pérez Lorenzana

En noviembre de 1989, NASA lanzó al espacio el satélite científico COBE (*Cosmic Background Explorer*), cuyos instrumentos se diseñaron para una tarea única: estudiar en detalle la llamada radiación cósmica de fondo. Esta es una forma de radiación electromagnética en la frecuencia de microondas que llena el Universo entero, y que fue registrada por primera vez por Arno Allan Penzias y Robert Woodrow Wilson en 1964, por lo que recibieron el premio Nobel de Física en 1978.

El 3 de octubre del año pasado, diecisiete años después del lanzamiento del COBE, la Real Academia Sueca de Ciencias anunció su decisión de otorgar el premio Nobel de Física 2006 a los dos investigadores estadounidenses que fueron los líderes de dicho proyecto: John Cromwell Mather, del Centro Espacial Goddard de la NASA, y George Fitzgerald Smoot, de la Universidad de California en Berkeley, "por sus

descubrimientos sobre la distribución de cuerpo negro y la anisotropía de la radiación de fondo de microondas".

Para muchos especialistas este reconocimiento no fue una sorpresa. Mather, responsable primario del proyecto COBE, cuyo costo alcanzó los 160 millones de dólares, coordinó los esfuerzos de los más de mil investigadores involucrados y tuvo bajo su responsabilidad el experimento que determinaría la forma del espectro de la radiación de fondo. Smoot, por su parte, fue el responsable principal de medir las pequeñas variaciones en la temperatura de ésta. En conjunto, los resultados científicos del proyecto COBE impulsarían a la cosmología para convertirla en una ciencia precisa.

De un ruido molesto al sonido del Universo

A principios de los años sesenta, Arno Penzias y Robert Wilson trabajaban en los Laboratorios Bell de Holmdel,

TONATIUH MATOS CHASSIN Terminó la licenciatura en Física y Matemáticas y luego la maestría en Física en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN. Se doctoró en Física Teórica en 1987 en la Universidad Friedrich-Schiller de Jena (Alemania) y se habilitó en Astrofísica en 1998 en la misma Universidad. Hizo estancias posdoctorales en la Universidad de Viena y en la Universidad Técnica de esta ciudad. Fue vicepresidente fundador de la División de Gravitación y Física Matemática de la Sociedad Mexicana de Física (SMF) en 1992 y luego presidente de la misma en 1995. También ha sido cofundador y coorganizador de la Escuela Mexicana de Astrofísica (EMA) desde 1998 y secretario general fundador del Instituto Avanzado de Cosmología en 2007. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 1993, de la Sigma Xi, The Scientific Research Society desde 2004 y del Sistema Nacional de Investigadores (nivel III) y es premio de Investigación 2007 de la SMF. Es investigador titular del Departamento de Física de Cinvestav. tmatos@fis.cinvestav.mx

ABDEL PÉREZ LORENZANA Obtuvo la licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Doctorado en Ciencias con la especialidad de Física por Cinvestav en 1998, realizó estancias posdoctorales en el Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Maryland, en College Park (EUA), y en el Centro Internacional de Física Teórica Abdus Salam, de Trieste (Italia), entre 1998 y 2002. Actualmente es investigador titular en el Departamento de Física de Cinvestav, y es, además, miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 2006, del Instituto Avanzado de Cosmología y del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II). Se especializa en el estudio de la física de partículas y la cosmología. aplorenz@fis.cinvestav.mx

Los estadounidenses John Cromwell Mather y George Fitzgerald Smoot lideraron el proyecto del satélite científico COBE. El primero fue el responsable primario del proyecto; coordinó los esfuerzos de los más de mil investigadores involucrados y tuvo bajo su responsabilidad el experimento que determinaría la forma del espectro de la radiación de fondo. El segundo fue el responsable principal de medir las pequeñas variaciones en la temperatura de ésta. Por los resultados obtenidos recibieron el premio Nobel de Física en 2006.



George Fitzgerald Smoot



John Cromwell Mather

Nueva Jersey, en Estados Unidos, en el desarrollo de sistemas criogénicos receptores de microondas de alta sensibilidad, originalmente pensados para su uso en observaciones astronómicas y en algunos experimentos de comunicaciones vía satélite. En 1964, cuando probaban la antena más sensible que habían construido, encontraron un ruido persistente en señal de radio, continuo y difuso, que no podían explicar y que, al principio, consideraron irrelevante, pero que sin embargo imposibilitaba el trabajo experimental. El ruido llegaba de todas las direcciones del cielo, día y noche, en todas las estaciones del año. Era más energético que la radiación producida por la Vía Láctea, por lo que los jóvenes astrónomos supusieron que el molesto ruido era algún tipo de interferencia producida en sus instrumentos por alguna fuente de origen terrestre. Durante un año revisaron todo el sistema para descartar fallas en el diseño. Desmontaron y volvieron a montar los instrumentos, teniendo cuidado de eliminar cualquier fuente potencial de interferencia. Descartaron la posibilidad de que ésta fuese producto de señales de radio provenientes de la ciudad de Nueva York. Limpiaron cuidadosamente la antena de lo que denominaron "material blanco dieléctrico", depositado por los pichones que anidaban por el lugar, a los cuales también eliminaron. Todos sus esfuerzos fueron en vano, el ruido siguió ahí.

Al mismo tiempo, a sólo 50 kilómetros de Holmdel, en la Universidad de Princeton, el grupo de Robert Dicke trabajaba en la búsqueda de una señal electromagnética especial que debería provenir del espacio exterior. Una señal predicha, al menos cualitativamente, por el modelo de la Gran Explosión, originalmente sugerido por el sacerdote católico Georges-Henri Lemaître en 1927 y desarrollado en los años cuarenta por George Gamow. Según este modelo, el Universo debió originarse de la "explosión" de un "átomo primigenio", por lo que el Universo debe estar actualmente en expansión. El primer indicio de la expansión del Universo surgió a principios de los años veinte y provino de la observación de Vesto Slipher de que el espectro de ciertas nebulosas espirales estaba corrido al rojo, lo que parecía indicar que se movían alejándose de la Tierra. Sin embargo, debido a la dificultad técnica de determinar su distancia, Slipher no se percató de que dichas nebulosas eran en realidad galaxias fuera de la Vía Láctea, y mucho menos de las implicaciones cosmológicas. Lemaître basó su propuesta en una solución a las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, originalmente obtenida por Alexander Friedman cinco años antes, pero que Lemaître redescubrió e interpretó en el sentido de que el Universo estaba en expansión, contradiciendo la idea defendida por el mismo Einstein de un Universo estático.



George Smoot en México durante la inauguración del Instituto Avanzado de Cosmología (<http://www.iac.edu.mx>) en 2007.

A finales de los años veinte, las observaciones de Edwin Hubble le dieron sustento a la teoría de Lemaitre al mostrar que las nebulosas espirales eran en realidad galaxias. Hubble, observando las estrellas Cefeidas variables, cuyo palpitir es muy regular, pudo determinar sus distancias y descubrir la relación entre el corrimiento al rojo y la luminosidad de una galaxia. Sus datos evidenciaron que las galaxias lejanas se alejan a una velocidad proporcional a su distancia de la Tierra. Dado el principio copernicano de que la Tierra, y por extensión nuestra galaxia, no son el centro del Universo, las observaciones de Hubble sugieren que todas las galaxias se alejan unas de otras, esto es, que el Universo esta efectivamente en expansión.

En realidad, las observaciones de Hubble admitían dos explicaciones opuestas. Estaba claro que el Universo se expandía, pero el escenario completo de cómo lo hacia no lo era. Por un lado estaba, por supuesto, la teoría de Lemaitre; por el otro, un modelo propuesto por Fred Hoyle, llamado del estado estacionario, según el cual nueva materia se creaba conforme las galaxias se alejaban unas de otras. Con el tiempo nuevas galaxias surgirían de esta materia, de modo que el Universo se vería prácticamente igual en todo momento. Fue precisamente Hoyle quien le diera el nombre de "Gran Explosión" a la teoría de Lemaitre en una referencia con fines de sarcasmo. De hecho, muchos científicos notables consideraron la teoría de la explosión cósmica "demasiado religiosa", para ser "físicamente plausible". A pesar de todo, ambas teorías mantuvieron partidarios por algunos años. Las observaciones del Universo tendrían que resolver la disputa.

Considerando la expansión del Universo, extrapolando el fenómeno hacia atrás en el tiempo, como una película corrida en reversa, no es difícil llegar a la conclusión de que, en algún momento en el pasado, toda la materia que observamos en nuestra parte visible del Universo debió de haber estado muy cerca entre sí, quizás no en el átomo primigenio de Lemaitre, pero sí al menos en una pequeña región de espacio muy caliente, probablemente en un estado de plasma. En realidad, no hay aún una teoría bien establecida de este estado primordial del Universo, pero lo que ocurrió a partir de que el medio se encontraba a una temperatura de unos cuantos millones de grados Kelvin, puede describirse cualitativamente sin muchos problemas. (Los físicos suelen usar el grado Kelvin para medir la temperatura, su equivalencia es la siguiente: 0 grados centígrados o Celsius es igual a 273.15 grados Kelvin. El cero absoluto de temperatura es 0 grados Kelvin, o sea 273.15 grados centígrados bajo cero.) El plasma, formado de electrones, bariones (protones y neutrones principalmente), además de radiación electromagnética, se mantenía en equilibrio térmico debido a los procesos de absorción y emisión de radiación. Así, debido a la dispersión de Thompson, es decir, al choque de fotones con electrones y, a su vez, vía interacción electromagnética, del choque de los electrones con los protones y luego estos con los neutrones, etcétera, todo el Universo se mantenía en equilibrio termodinámico. Al expandirse el Universo, el plasma se enfrió, eventualmente, por debajo de los tres mil grados Kelvin, correspondientes a una energía de unos 2.5 eV, suficientemente baja para permitir la recombinación de electrones y protones en átomos neutros. El plasma transitó entonces a un estado de gas del cual se formaron los objetos astronómicos. Con solo átomos neutros, la radiación (fotones) quedó prácticamente libre de propagarse en el Universo. Esta continuó enfriándose adiabáticamente conforme el Universo se expandió, pero manteniendo una distribución relativamente homogénea e isotrópica.

La conclusión inmediata es que el espacio interestelar debería aún conservar parte de la temperatura del estado inicial, en forma de una radiación fría de fondo. Este vestigio es el testigo de que el Universo alguna vez alcanzó altas temperaturas, y por tanto la firma del modelo de la Gran Explosión. Sin embargo, aún conociendo la velocidad de expansión, es

Originalmente, el modelo de la Gran Explosión fue sugerido por el sacerdote católico Georges-Henri Lemaitre en 1927 y desarrollado en los años cuarenta por George Gamow. Según este modelo, el Universo debió originarse de la "explosión" de un "átomo primigenio", por lo que el Universo debe estar actualmente en expansión.

El espacio interestelar debería aún conservar parte de la temperatura del estado inicial en forma de una radiación fría de fondo. Este vestigio es el testigo de que el Universo alguna vez alcanzó altas temperaturas y, por tanto, la firma del modelo de la Gran Explosión.

difícil estimar esta temperatura sin saber la edad del Universo. Las primeras estimaciones fueron realizadas por Dicke en 1946, entonces en MIT. Utilizando un equipo capaz de medir radiación cósmica en la región de microondas, él estimó $T < 20^{\circ}\text{K}$, pero sin referirse a la radiación de fondo como tal, sino más bien a la temperatura efectiva del espacio. En 1948, Gamow,

Ralph Alpher y Robert Herman sugirieron que la radiación de fondo debería tener el espectro característico de una distribución planckiana, la cual es la radiación característica de un cuerpo caliente, también llamado radiación de cuerpo negro. Gamow estimó que esta temperatura debería ser de unos 50°K , suponiendo que la edad del Universo sería de unos 3 mil

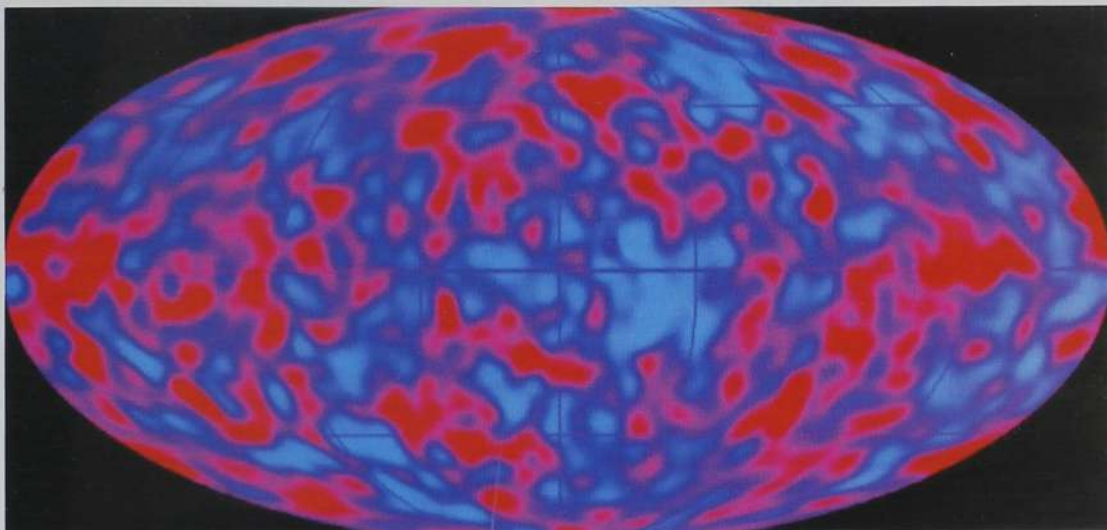


Imagen de las fluctuaciones de temperatura en el fondo de microondas generada con los datos tomados por COBE (NASA).

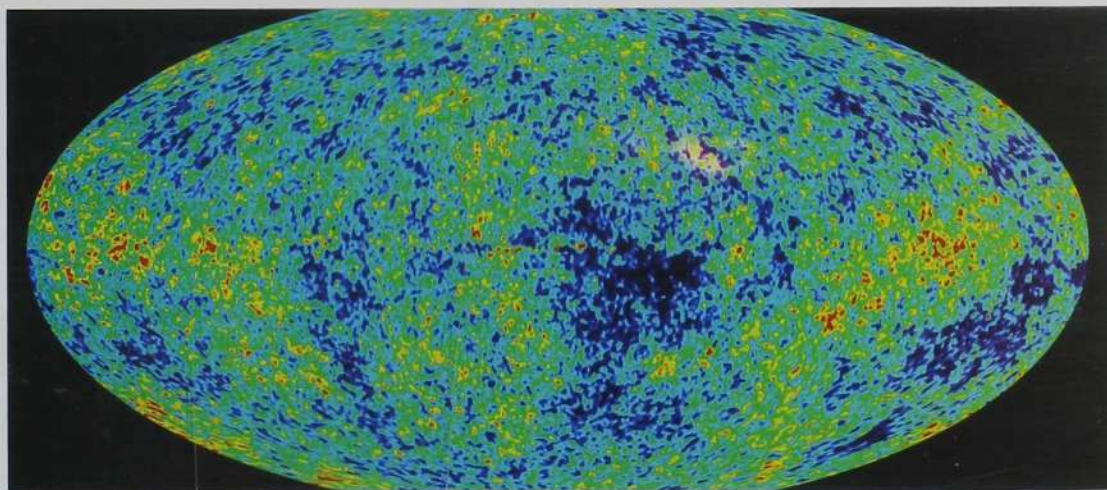
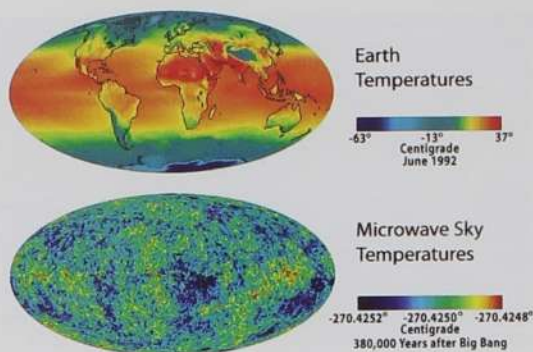


Imagen de las fluctuaciones de temperatura en el fondo de microondas generada con los datos tomados por el satélite WMAP, 10 años después (NASA)



Una comparación esquemática de la fotografía del COBE y luego del WMAP con el mapa de temperaturas de la Tierra. La foto de arriba muestra las diferencias de temperatura en la Tierra, el equivalente a la foto del WMAP para las fluctuaciones de temperatura de la radiación de fondo del Universo (abajo). Las diferencias de temperatura en la Tierra son de 100 °C, mientras que las de la radiación de fondo del Universo son de 1/100 000 °C (NASA).

millones de años. Por su parte, Alpher y Herman estimaron el máximo a unos 5°K, dato que reestimaron dos años después y elevaron a 28°K. Posteriormente, Gamow redujo su estimación a seis o siete grados Kelvin. Estos resultados pasaron desapercibidos por un tiempo y fueron redescubiertos por Dicke y Yakov Zeldovich al inicio de los años sesenta. Dicke estimó la radiación de fondo entonces en unos 40°K. En realidad, en ese entonces se sabía ya la forma cualitativa de la radiación de fondo, y que se encontraría en la región de microondas, pero no había forma de predecir con certeza su temperatura. En 1964, el grupo de Princeton inició la construcción de un radiómetro de Dicke para medir el fondo cósmico de microondas; el mismo tipo de aparato que se estaba empleando en Holmdel.

Ante lo infructuoso de sus esfuerzos por eliminar el incomodo ruido de su antena, Penzias y Wilson resolvieron consultarlo con Dicke. Éste se percató de inmediato que aquellos habían encontrado lo que él buscaba, una radiación de origen cósmico, isotrópica y consistente con un espectro de radiación térmica de cuerpo negro a una temperatura por debajo de 3 grados Kelvin. Se le habían adelantado. Finalmente, Penzias y Wilson comunicaron su descubrimiento a la comunidad científica en un artículo publicado poco después en *Astrophysical Journal* en 1965. En el mismo número de la revista, Dicke y su grupo publicaron un artículo donde

identificaron la radiación detectada por Penzias y Wilson con la firma de la Gran Explosión.

La historia del Universo en el fondo de microondas

Por la forma en que se genera, la radiación de fondo contiene información de cómo era el Universo en el momento de la formación de los primeros átomos, cuando éste se volvió transparente a los fotones y estos pudieron propagarse por el Universo. Así, el fondo de microondas puede pensarse como una imagen mantenida en el tiempo (como una fotografía) del pasado remoto del Universo, tomada hace unos 13.7 mil millones de años. Los fotones que lo conforman pueden verse como provenientes de los confines del Universo visible, de una superficie esférica, llamada la superficie de la última dispersión. La radiación contenida en el fondo representa la mayor parte de energía de radiación en el Universo, pero sólo un 0.0005% de su densidad total de materia.

Conforme se expande, el fondo de radiación es corrido al rojo, reduciendo la energía de los fotones, aumentando sus longitudes de onda y enfriando su espectro, de modo que su temperatura debería ser inversamente proporcional a la longitud de escala del Universo. Esto permite determinar tanto la constante de Hubble como la edad del Universo.

Las condiciones iniciales en la densidad del plasma primordial eran (casi) perfectamente homogéneas, formando un campo aleatorio gaussiano, prácticamente invariante de escala. La radiación de fondo refleja este hecho en un espectro que corresponde al de un cuerpo caliente, llamada radiación de cuerpo negro; el espectro detectado es casi perfecto e isotrópico. Las variaciones espaciales presentes en la densidad son las semillas que posteriormente permitirían la formación de estructura, como las galaxias, que se observa en el Universo al día de hoy, al permitir la agregación de materia en las regiones de mayor densidad debido a la atracción gravitacional. Sin ellas, el Universo hubiese mantenido su homogeneidad, simplemente diluyendo la densidad inicial conforme se expandía. Las galaxias y sus cúmulos rodeados de las grandes regiones vacías, las mismas estrellas, y eventualmente la vida, hubieran sido imposibles. El Universo hubiese sido simplemente un lugar extenso, vacío y frío. Estas desviaciones de la homogeneidad quedaron también impresas en el fondo de microondas, generando pequeñas anisotropías.

En el Universo temprano, la presión de la radiación tiende a borrar las anisotropías, mientras que la atracción gravitacional de los bariones moviéndose a baja velocidad tiende a producir zonas de alta densidad. La competencia entre ambos efectos crea oscilaciones acústicas en la densidad primigenia, generando picos característicos en el fondo de microondas, asociados a los modos resonantes de las oscilaciones. Estos picos contienen información física importante.

(primarias), como arrugas en un lienzo. Anisotropías secundarias pueden ser producidas por perturbaciones locales en el fondo en su trayecto de la superficie de la última dispersión a la Tierra. En general, las anisotropías pueden ser estudiadas estadísticamente de acuerdo a la escala angular de observación. Así, a gran apertura angular corresponden variaciones promediadas en regiones más grandes sobre el fondo. Los picos a gran escala en la distribución angular de las anisotropías, contienen información relacionada con los parámetros de la teoría de la Gran Explosión. Por ello, medir las variaciones de temperatura se convirtió en un objetivo importante para poder hacer comparaciones precisas entre teoría y experimento.

La estructura de las anisotropías está determinada, principalmente, por efectos de la oscilación acústica y por efectos de amortiguamiento en la difusión de la materia. En el Universo temprano, la presión de la radiación tiende a borrar las anisotropías, mientras que la atracción gravitacional de los bariones moviéndose a baja velocidad tiende a producir zonas de alta densidad. La competencia entre ambos efectos crea oscilaciones acústicas en la densidad primigenia, generando picos característicos en el fondo de microondas, asociados a los modos resonantes de las oscilaciones. Estos picos contienen información física importante. El primer pico determina la curvatura del Universo, pero no su topología, esto es, nos dice que tan plano es, pero no si la expansión se detendrá en algún futuro lejano. El segundo pico está determinado por la densidad de bariones en el Universo, y el tercero puede ser usado para extraer información acerca de la densidad de materia oscura.

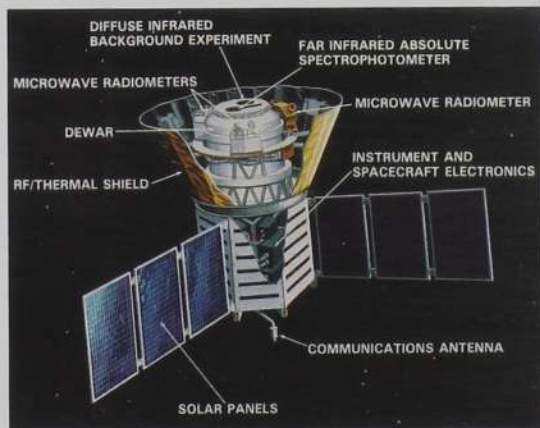
El amortiguamiento por difusión se genera, principalmente, cuando el plasma comienza a dejar de comportarse como un fluido (cerca de su transición de fase a gas). Entonces, el camino libre medio de los fotones se incrementa a medida que el plasma primordial se hace menos denso, provocando que algunos fotones se desacoplen y escapen, cuando todavía algunas dispersiones de Compton están teniendo lugar en el plasma, generando así un ancho finito para la superficie de la última dispersión. Este efecto contribuye en el mismo orden que las oscilaciones acústicas a suprimir las anisotropías a pequeñas escalas angulares. Ello da lugar a un perfil característico de supresión exponencial en el espectro de potencias de las anisotropías a muy pequeñas escalas. En otras palabras, los picos característicos del espectro de la radiación de fondo son una mezcla de las contribuciones debidas a oscilaciones acústicas del plasma primordial y de los choques de los fotones con los electrones, y a su vez de estos últimos con el resto de las partículas elementales.

La nucleosíntesis primordial

En alguna etapa antigua, el Universo estuvo en un estado de plasma que reproducía condiciones similares a las

que se encuentran hoy en día en el corazón de las estrellas. Debieron ocurrir entonces esencialmente los mismos procesos físicos que son responsables de la longevidad, el calor y la luminosidad de las estrellas. Una serie de procesos nucleares fusionan principalmente hidrógeno, produciendo helio, y liberando energía en forma de radiación electromagnética (y neutrinos). Esta es la fuente primaria de energía de nuestro Sol, y ocurre a una temperatura mínima de unos tres millones de grados Kelvin. La idea fue propuesta por Eddington en 1920, y desarrollada después por Gamow, Teller, Atkinson y Houtermans, quienes, en la década siguiente, derivaron la velocidad con la cual estas reacciones nucleares tendrían lugar a altas temperaturas. Finalmente, Hans Bethe, en 1939, presentó un detallado análisis cuantitativo de las diferentes reacciones posibles, mediante las cuales el hidrógeno sería convertido en helio, y sentó las bases para comprender cómo las estrellas, mediante procesos nucleares de fusión y fisión, producen núcleos más pesados en un proceso referido como nucleosíntesis. Por ello recibiría el premio Nobel de Física en 1967. Algunos detalles a la teoría serían añadidos posteriormente por el mismo Bethe, y por Burbidge, Fowler y Hoyle.

Poco después de la Gran Explosión el Universo sintetizó, a través de la cadena protón-protón, sólo núcleos ligeros, pues la expansión produjo un enfriamiento tan rápido, que el proceso de nucleosíntesis completo tomó sólo unos tres minutos, después de lo cual la abundancia de cada especie de núcleo primordial quedó bien determinada por una sola condición inicial, además de la velocidad de expansión. La predicción precisa de las abundancias depende de la proporción de bariones por fotón, lo cual es una medida de cuánta materia (bariones) existía en exceso sobre la antimateria relativa a la radiación (fotones) en el Universo temprano: una parte en diez mil millones. Por lo demás, las leyes físicas y las constantes que gobiernan



Diseño del satélite COBE (NASA).



Visión artística de la Gran Explosión. Cortesía de "Windows to the Universe" (<http://www.windows.ucar.edu>).

El satélite WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*), sucesor de COBE lanzado en 2001, aportó datos importantes sobre el Universo. Su edad: 13.7 mil millones (± 200 millones) de años. Su composición: contiene apenas 4% de la materia bariónica; 22% pertenece a algún tipo de materia desconocida que no emite luz, por ello denominada materia oscura; su componente mayor, 74%, es una misteriosa densidad energética, cuyo origen desconocemos, llamada energía oscura; su efecto principal es acelerar la expansión del Universo.

el comportamiento de la materia a las energías a las que se dio el proceso están bien entendidas, de modo que la nucleosíntesis de la teoría de la Gran Explosión está libre de las incertidumbres que típicamente rodean los periodos tempranos en la vida del Universo.

La nucleosíntesis primordial resultó en cerca de 75% de la masa total de materia en ^1H , 25% de ^4He , 0.01% de D, y algunas trazas de Li y Be sin ningún elemento pesado. Las abundancias observadas en el Universo son consistentes con estas predicciones, fortaleciendo la evidencia a favor de la teoría de la Gran Explosión. Sin embargo, la densidad de materia en el Universo, que se calcula a partir de la nucleosíntesis de la Gran Explosión, resulta mucho menor que la masa requerida para comprender la velocidad de expansión. Esto ha sugerido, desde su descubrimiento en los años setenta, la existencia de una hipotética materia oscura, esto es, de materia no luminosa, y no formada de las partículas elementales conocidas (no bariónica). Comparando el espectro de perturbaciones de la radiación de fondo a diferentes ángulos es posible determinar la relación entre las densidades de materia visible y materia oscura.

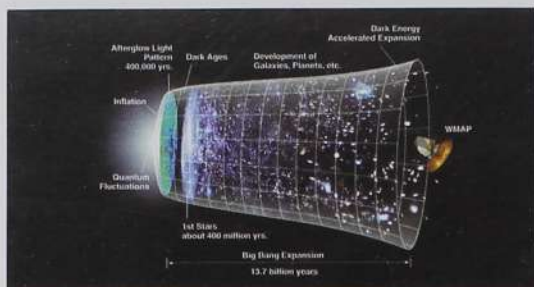
COBE

Como respuesta a un llamado que la NASA hiciera en 1974 a la comunidad científica, para proponer posibles misiones astronómicas que pudieran incluirse en el programa Explorer, al menos tres de las 121 propuestas se referían a la radiación de fondo, mismas que serían después integradas en la concepción de un único experimento satelital que podría ser lanzado por un cohete de la serie Delta o por el trasbordador espacial, llamado COBE. El costo inicial estimado de este proyecto científico, cuya única meta era incrementar nuestro conocimiento sobre el fondo de microondas y la información codificada en él, se fijó en los 30 millones de dólares, excluyendo los costos de lanzamiento y análisis de datos. El satélite portaría consigo tres instrumentos principales: el primero era el DMR (radiómetro diferencial de microondas), cuyo diseño y operación estaba a cargo de George Smoot y su grupo, y que tenía el objetivo de realizar un mapa de las variaciones de temperatura (o anisotropías) del fondo de microondas. El segundo sería FIRAS (espectrómetro absoluto de infrarrojo lejano), a cargo del grupo liderado por John Matter y diseñado para medir el espectro del fondo de microondas. La resolución angular de estos

instrumentos sería de unos siete grados. El tercer instrumento sería DIRBE, un detector multilongitud de onda, diseñado para medir el fondo de radiación difusa en el infrarrojo, atribuible a emisiones de polvo cósmico, que estuviera a cargo del grupo dirigido por Mike Hauser. La cobertura común en frecuencia de los tres instrumentos permitiría realizar chequeos de consistencia en las mediciones, así como discriminar entre las señales provenientes de nuestra galaxia, el sistema solar y las provenientes del fondo de microondas.

El trabajo de construcción de COBE se inició en el centro de vuelo espacial Goddard hasta 1981. Inicialmente, su lanzamiento se programaría para 1988, empleando el trasbordador espacial, pero la tragedia del Challenger y la subsiguiente suspensión temporal de las misiones de los trasbordadores no permitieron el lanzamiento sino hasta el 18 de noviembre de 1989. COBE se colocaría a 900 km de altitud y 99° de inclinación en una órbita circular sincrónica con el Sol, esto es, una órbita geocéntrica cuya altitud e inclinación aseguraran que pasaría por un punto dado de la Tierra siempre a la misma hora solar. COBE ascendería en el horizonte a las 6:00 p.m. La órbita combinada con el eje de rotación del satélite permitirían mantener al Sol y a la Tierra por debajo del plano de su escudo térmico y de radiofrecuencias, de modo que se pudiesen reducir substancialmente las perturbaciones de radiofrecuencia provenientes de la Tierra y de las antenas de comunicación del mismo COBE y de otros satélites, así como de la radiación proveniente del Sol, la Tierra y la Luna. COBE sería capaz de realizar un mapeo completo del cielo cada seis meses. Un sistema de enfriamiento, a base de 650 litros de helio líquido, debió ser diseñado para mantener los instrumentos FIRAS y DIRBE enfriados continuamente y garantizar su eficiencia, además de tener control sobre los errores sistemáticos. La toma de datos de FIRAS duraría diez meses. DMR, al no requerir del sistema criogénico, extendería su toma de datos por cuatro años.

Desde la concepción de COBE hasta su lanzamiento hubo al menos un par de eventos, en relación al estudio del fondo de microondas, que harían más importante su desarrollo. En 1981, los grupos de David Wilkinson en Princeton, y de Francesco Melchiorri de la Universidad de Florencia, anunciaron simultáneamente que, usando instrumentos colocados en balones aerostáticos, habían detectado una distribución



Representación artística de las observaciones del COBE y del WMAP. La superficie en azul claro es la zona donde los fotones (la luz) se desprenden de la interacción de los electrones e inician su viaje libre por el Universo. En el extremo, el satélite WMAP toma una foto de esta radiación (NASA).

cuadrupolar en el fondo de microondas. Ésta bien pudo haber sido la primera medición de la distribución de cuerpo negro del espectro pero el resultado no pudo ser reproducido por un número de otros experimentos.

Detectar el fondo cósmico de radiación y sus fluctuaciones es una tarea en realidad difícil. Requiere el uso de detectores capaces de observar diferencias de temperatura de unas cuantas millonésimas de grado Kelvin (mK), sobre una señal de 2.76 °K. Se ha tenido que desarrollar tecnología específica para la detección de microondas; entre los instrumentos que se desarrollaron para este fin se encuentran los HEMT (*High Electron Mobility Transistors*), los MMIC's (*Monolithic Micro wave Integrated Circuits*), los sistemas SIS (*Superconductor-Insulator-Superconductor*), aunque el uso de detectores de radiación electromagnética (bolómetros) es también común. Normalmente, estos sistemas requieren de sistemas criogénicos para funcionar de manera óptima y no están totalmente libres de ruido, el cual debe ser bien controlado y entendido.

Debido a la alta capacidad de absorción de microondas por el agua (por lo cual se usa en los modernos hornos caseros), es difícil observar el fondo de radiación desde instrumentos terrestres. Aun así, la señal de ruido de una televisión común se debe en buena parte al fondo cósmico. Pero esto no es suficiente para reunir datos experimentales de calidad. Por ello, los experimentos deben realizarse de preferencia en el aire o en el espacio o, en su caso, en la superficie terrestre pero en regiones suficientemente secas, a gran altitud, como los Andes chilenos o el Polo sur.

En 1987, un grupo americano-japonés, liderado por Andrew Lange y Paul Richardson de la Universidad de California en Berkeley y por Toshio Matsumoto de la Universidad de Nagoya, anunció que sus mediciones indicaban un brillo excesivo en la radiación de fondo en las longitudes de onda entre los 0.5 y 0.7 mm, implicando que el fondo de microondas no tenía un espectro de cuerpo negro perfecto. Estos datos sugerían que el origen del fondo de microondas podría no estar en

la Gran Explosión, sino que por el contrario favorecían la teoría del estado estacionario, dándole nueva vida. En estas circunstancias COBE se presentaba como el experimento que debía resolver la disputa de una vez por todas, convirtiendo a FIRAS en el instrumento cuyos resultados serían de los más esperados por la comunidad científica. COBE llenaría las expectativas con creces.

De la especulación a la precisión

Los primeros resultados de FIRAS arribaron después de sólo nueve minutos de observación, anunciando preliminarmente el éxito de la misión. Después de más de dos años de observación y análisis, el grupo de investigación del proyecto COBE anunció, en abril de 1992, que DMR y FIRAS, tras sustraer las contribuciones de nuestra galaxia y la bipolar debida a nuestro movimiento relativo sobre el "fondo fijo" de la radiación cósmica, habían detectado pequeñas fluctuaciones en el fondo de microondas. Una decena de partes por millón sobre un perfecto espectro térmico de cuerpo negro a una temperatura de 2.73 grados Kelvin, equivalentes a 270.42 °C bajo cero. Esta fue una observación tan fundamental que no sólo ayudó a cimentar la teoría de la Gran Explosión, sino que además sentó las bases para transformar la cosmología en una ciencia de precisión. Actualmente, cualquier desviación no detectada de la forma de cuerpo negro del fondo de radiación cósmica en el rango de frecuencias entre 0.5 y 5 mm no rebasa las cincuenta partes por millón (0.005%) del brillo del máximo del fondo. Esto hace de la radiación de fondo el espectro de cuerpo negro más precisamente medido por el hombre en la naturaleza.

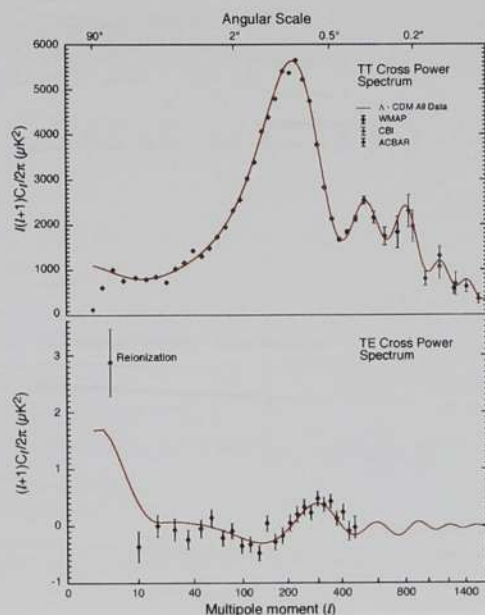
Además de la detallada información recabada, COBE planteó numerosas preguntas nuevas, relacionadas con la historia cosmológica de la formación de estructura, la producción de metales y polvo, y la conversión de luz estelar en emisiones infrarrojas debida al polvo. Después de COBE se pudo establecer que el fondo luminoso extragaláctico, en la región entre los 140 y los 5000 micrómetros de longitud de onda, es consistente con la energía liberada durante la nucleosíntesis y constituye entre 20 y 50% de la energía total liberada en la formación de helio y metales a través de la historia del Universo, indicando que más de 5 a 15% de la masa bariónica implicada por la nucleosíntesis en la época de la Gran Explosión, ha sido procesada en helio y elementos pesados por las estrellas. La razón de formación de estrellas está restringida por las observaciones de COBE, sin embargo, la historia exacta del proceso de formación estelar no puede ser contada sin ambigüedades con sólo los resultados de COBE. Más observaciones deberán ser realizadas en el futuro para completar este capítulo en la historia del Universo.

A COBE siguieron otros experimentos diseñados para estudiar con más precisión las fluctuaciones de temperatura en el fondo de radiación cósmica.

Colocados tanto en laboratorios terrestres como en globos aerostáticos, su tarea principal fue medir la escala de los primeros picos acústicos de las anisotropías a pequeña escala angular. Una empresa equivalente a determinar la amplitud de los primeros armónicos sonoros producidos por la cuerda de una guitarra al producir una nota libre, sólo que la "nota" respectiva de la radiación cósmica "resuena" a una frecuencia casi inaudible, en el fondo de ruido que sería el equivalente a toda la radiación electromagnética que nos llega del espacio junto a la producida en la Tierra. En sentido práctico, esto es similar a tratar de escuchar con claridad la nota de la guitarra en medio del tráfico.

Durante la siguiente década, diversos experimentos, entre ellos Toco, BOOMERanG y MAXIMA, determinaron la amplitud del primer pico acústico, el cual aparece a escalas del orden de un grado, equivalente a regiones del tamaño de la Luna en el cielo, y demostraron que el Universo es, efectivamente, plano. Los datos más precisos a esta escala en la medición del espectro y las fluctuaciones del fondo de microondas provienen del satélite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), el sucesor de COBE, lanzado en julio del 2001 por la NASA, el cual también ha aportado algunos datos preelminares sobre el tercer pico acústico.

Con los datos colectados hasta hoy por WMAP, los cuales extienden sustantivamente los obtenidos con anterioridad por COBE, se ha logrado determinar diversos datos importantes sobre el Universo. Su edad: 13.7 mil millones (± 200 millones) de años. Su composición: el Universo está hecho de apenas un 4% de la materia bariónica. Un asombroso 22% de su composición es algún tipo de materia desconocida, la cual no emite luz, por ello denominada materia oscura. Su componente mayor, 74%, es una misteriosa densidad energética, cuyo origen desconocemos, la cual llamamos energía oscura, cuyo efecto principal es acelerar la expansión del Universo. La constante de Hubble, determinada de los datos de WMAP, es de 70 (km/s)/Mpc, ± 2.4 -3.2. Los datos son consistentes con un Universo plano, y junto con los resultados de las mediciones de la polarización, proveen un firme soporte a la teoría inflacionaria. WMAP, sin embargo, no tiene suficiente resolución angular para medir las fluctuaciones a pequeña escala, observadas por interferómetros terrestres previos.



Resultados del estudio estadístico obtenidos por un modelo con 25% de materia oscura, 73% de energía oscura y 4% de átomos. Los puntos fueron obtenidos por las observaciones del satélite WMAP. Los puntos más a la izquierda fueron logrados diez años antes por el satélite COBE (NASA).

Al menos un par de nuevos experimentos, Clover y el Planck Surveyor, diseñados para mejorar la precisión en los datos, seguirán a WMAP. Clover consistirá de un arreglo de telescopios independientes operando en los 95, 150 y 225 Ghz, localizados en el desierto de Atacama en Chile. Aprobado recientemente, iniciará operación completa en 2008 e intentará bajar al límite de precisión que permite el efecto de contaminación producida por lentes gravitacionales, permitiendo la posible detección de ondas gravitacionales en el Universo. Planck es un satélite científico que se desarrolla en colaboración entre la NASA y la Agencia Espacial Europea, que será lanzado en 2008 a bordo de un cohete Ariane de la serie cinco. Está diseñado para obtener la imagen de las anisotropías del fondo de radiación cósmica con una sensibilidad y resolución angular sin precedentes. Se espera que provea información relevante que permita probar las diversas teorías del Universo temprano y el origen de las condiciones iniciales que generaron la estructura cósmica a gran escala. ●

[Bibliografía]

- Bethe, H. A., 1939. Energy Production in Stars. *Physical Review*, vol. 55, p. 103.
 Bennett, C. L., et al., 1996. Four year COBE DMR cosmic microwave background observations: maps and basic results. *Astrophysical Journal*, vol. 464L1.
 Bennett, C. L., et al., WMAP Collaboration, 2003. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Preliminary Maps and Basic Results. *Astrophysics Journal Supplement*, vol. 148, p. 1.
 Dicke, R. H., Peebles, P. J. E., Roll, P. G. y Wilkinson, D. T., 1965. Cosmic Black-Body Radiation. *Astrophysical Journal*, vol. 142, p. 414.
 Lemaitre, G., 1927. Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques. *Annals of the Scientific Society of Brussels*, vol. 47A, p. 41.

- Matos, T., 2005. ¿De qué está hecho el Universo? Serie "La ciencia para todos", núm. 2004, Fondo de Cultura Económica.
 Penzias, A. A. y Wilson, R. W., 1965. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*, vol. 142, p. 419.
 Smoot, G. F., et al., 1992. Structure in the COBE DMR first year maps. *Astrophysical Journal*, vol. 396L1.
 Spergel, D. N., et al., WMAP Collaboration, 2003. First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Determination of Cosmic Parameters. *Astrophysics Journal Supplement*, vol. 148, p. 175.

El futuro de la generación de conocimiento en México

PARA QUE UN PAÍS SEA CONSIDERADO COMPETITIVO EN MATERIA DE GENERACIÓN DE CONOCIMIENTOS DEBE PRODUCIR UN NÚMERO MAYOR DE PATENTES POR AÑO. EN MÉXICO, TAL COMPETITIVIDAD NO HA SIDO ALCANZADA, YA SEA PORQUE LA EDUCACIÓN NO IMPULSA LA CREATIVIDAD O PORQUE LAS AUTORIDADES Y LOS EMPRESARIOS NO QUIEREN ENFRENTAR LOS RIESGOS DE INVERSIÓN IMPLICADOS EN TODA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.

Horacio de la Cueva

Es casi una obviedad decir que China y la India lograron su desarrollo extraordinario de los últimos diez años porque invirtieron, que no es lo mismo que gastaron aunque los dos impliquen un desembolso, en la generación de conocimiento. Apoyados en ello, han tratado de superar su pobreza, sus problemas de legalidad y su baja competitividad en el mercado global. Hay otra forma de describir ese conocimiento: ciencia y tecnología, pero es mucho mejor referirse a estas dos actividades, divididas por una frontera difusa, como a la generación de conocimiento, la cual trae como consecuencia un desarrollo seguro e independiente. Ejemplo de ello es que ambos países tienen la capacidad de colocar satélites en el espacio desde sus plataformas de lanzamiento y que, hace poco, China lanzó una sonda propia a la Luna.

¿Puede la inversión en generación de conocimiento impulsar el desarrollo de México? La respuesta, viendo a estos dos países o a nuestros compañeros del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, es un rotundo sí. Canadá y los Estados Unidos (EUA) invierten una parte importante de su Producto Interno Bruto (PIB) en la generación de conocimiento, el cual se convierte en riqueza para la nación.

Una forma de ver reflejada la inversión en la generación de conocimiento es analizar la cantidad de productos originales de un país en un año. La oficina de

patentes de EUA lleva un registro detallado de las ideas originales de uso práctico. En el Cuadro 1 presento una muestra de la producción de patentes en diez países y dos estados de la unión americana entre los años 2002 y 2006.

Pese a lo arbitrario de la selección, es claro que en México no se crean suficientes patentes por año como para considerarse competitivo en la generación de conocimiento. ¿Qué influye en la producción de patentes? Del cuadro podemos concluir que no es el tamaño de la población; Canadá tiene aproximadamente el mismo número de habitantes que el Distrito Federal y genera más de 3 500 patentes por año. Tampoco es un tratado de libre comercio el que impone limitaciones, pues Canadá y los EUA son nuestros socios más antiguos y siempre se ha visto que la cantidad de patentes que generan supera en magnitud a la nuestra. Del mismo modo, no influyen el idioma, la localización geográfica, la ideología dominante o el nivel económico. En el caso de este último, la causalidad es incluso inversa: el número de patentes se ve reflejado en el nivel económico. California es la séptima potencia económica del mundo y esto parece reflejarse en el número de patentes registradas que tiene; Nuevo México, un estado pobre y con pocas universidades, no genera igual número de patentes aunque sí más que Brasil, Chile o México, España, que ha dado un salto en la ciencia, posterior a la formación del Consejo Nacional para la

HORACIO DE LA CUEVA. Doctor en Filosofía por la University of British Columbia (1991). Es investigador titular B y jefe del Departamento de Biología de la Conservación del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. cuevas@cicese.mx

BEATRIZ CHÁZARO MONTAÑE. Nació en el puerto de Veracruz. Aunque pudiera ejercer su carrera de abogada, reconoce que la pasión y amor de su vida es pintar. Su pintura es personal y sabe que está sujeta a la interpretación de cada persona que se acerque a su pintura. Para Beatriz, la pintura es una comunicación íntima, un diálogo entre amigos, pero un diálogo sin palabras; a través de sensaciones y colores. b_chazaro@hotmail.com



Ilustraciones: Beatriz Chazaro Montane

Despedida de los amorosos.

Ciencia y la Tecnología (Conacyt) en México, genera ya unas 350 patentes al año.

¿Por qué no es así en nuestro país? Podemos preguntarnos si influye en eso el nivel de educación medio de la población, el número de universidades, centros de investigación e industrias activos en la generación de conocimiento nuevo; el financiamiento que reciben, la educación, que no tenemos, de impulsar la creatividad y enfrentar los riesgos de inversión, o es la carga burocrática la que dificulta el registro de las patentes y hace que -mientras se organice el papeleo, se cumplan los requisitos de registro y se inicie el proceso de comercialización de la idea- nuestras ideas se vuelven obsoletas.

Hay dos lugares dentro del gobierno mexicano donde se pueden fraguar las políticas de generación de conocimiento: el Conacyt y la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LX Legislatura de la Cámara de Diputados.

Política de generación de conocimientos en Conacyt

El miércoles 28 de febrero de 2007, durante la visita del Maestro Juan Carlos Romero Hicks, Director General del Conacyt, al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, este le pidió al Dr. Alejandro Mungaray Lagarda, Director Adjunto de grupos y centros de Investigación en el Conacyt y exrector de la Universidad Autónoma de Baja California, que presentara lo que podemos presumir, por su fuente, es la posición de Conacyt ante la generación de conocimiento. Dos cosas quedan claras: el Conacyt no tiene una idea clara de cómo funcionan la generación

de conocimiento y no sabe cómo aprovechar esta actividad como catalizador para resolver la pobreza, la competitividad y la legalidad, problemas mayores en México, como explicó el Dr. Mungaray.

Me tomo la libertad resaltar algunas oraciones y frases, que pongo en cursivas y de omitir repeticiones de una transcripción de la plática para demostrar esta pobreza de entendimiento.

...Estamos frente a una situación en que frente a otros retos sociales que la gente considera más importante como los temas de pobreza en el país o competitividad [y legalidad]...nos plantea la necesidad de tener un efecto demostrativo... A pesar de la gran fe de nuestros gobernantes, ni la pobreza desaparece ni la competitividad aparece cual milagros de la noche a la mañana. Tampoco la ilegalidad se combate por decreto o el uso irrestricto de la fuerza. Estos tres grandes problemas nacionales se pueden remediar con gasto o solucionar con inversión.

El gasto sería subsidiar la pobreza, lo que hace, discriminatoriamente, nuestro gobierno a través de la Secretaría de Desarrollo Social; aumentar la competitividad subsidiando industrias que vendan productos baratos y seguir contando con procuradurías sin las herramientas necesarias para poder llevar exitosamente los casos criminales ante los juzgados.

La inversión es la solución inteligente y con miras a largo plazo. ¿Cómo invertimos en la reducción de la pobreza, en la competitividad o en la legalidad? Se puede y debe invertir en infraestructura, en centros de salud, en energía limpia, en tecnología forense y criminalística, etcétera, pero detrás de todas esas inversiones hay conocimiento nuevo. Una generación de conocimiento de calidad, no exclusivamente planeado



Danzando con la lluvia.



Dulce seducción.

con fines de lucro o de uso directo en la vida diaria. El conocimiento en genética y sus aplicaciones en las ciencias de la salud, de los alimentos y agricultura se debe a que por varias décadas hubo científicos dedicados a cultivar, contar e identificar diferencias tanto en moscas de la fruta como en hongos microscópicos. Hoy en día las industrias farmacéutica y de alimentos están generando grandes ganancias a partir del conocimiento del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la síntesis de proteínas.

En México hoy gastamos, no invertimos, en ciencias y tecnologías importadas, generalmente provenientes de economías con una moneda más fuerte que la nuestra. ¿Es necesario invertir en generación de conocimiento? Tal vez, quien mejor nos pueda dar la respuesta sea la Casa Blanca. Cuando el general Colin Powell era secretario de Estado promovió, a través de sus voceros, que la comunidad latina de los EUA empezara a ahorrar para que sus hijos estudien ciencias e ingenierías en las universidades, sabiendo que, sin esta inversión, el país puede llegar a tener un déficit de generadores de conocimiento en la próxima generación. ¿De qué tamaño es y seguirá siendo nuestro déficit de recursos humanos capaces de generar conocimiento? Grande e irreversible, si no invertimos hoy y en el futuro para afrontar y resolver de manera autóctona los grandes problemas nacionales.

...la demostración de la importancia de la Ciencia y la Tecnología en la solución de problemas de las comunidades y sus satisfactores, algo que nos coloquemos en la misma importancia o similar al de un subsidio a la tortilla, a la leche o a los

energéticos para gente con mucha necesidad... Los subsidios no son una solución a largo plazo. La tortilla, un ícono de nuestra idiosincrasia, no debería necesitar subsidio; lo que necesitamos son ingresos que permitan la vida digna de los mexicanos. ¿Pueden los mandos del Conacyt convencer al gabinete y a las cámaras legislativas, comerciales e industriales que el quehacer científico no es un subsidio, ni un gasto, sino una inversión, con poco riesgo, en el futuro de México? ¿Que esta inversión puede solventar el poder adquisitivo de la mayoría de los mexicanos? La generación de conocimiento no empezó hace 10, 20 30, 40 ó 50 años. ¿Por qué esperar un sexenio más a aceptar esta actividad como uno de los principales motores del desarrollo?

¿Un efecto demostrativo? ¿Por qué? Si la dirigencia del Conacyt no tiene la visión y los medios para demostrar al gobierno y pueblo mexicanos el papel de la generación de conocimientos en la vida diaria, no entiende su trabajo. El alimento que ingerimos, la ropa que usamos, nuestros medios de transporte, el dinero que gastamos son resultado, directo o indirecto de la generación de conocimientos. Pedir que los científicos e ingenieros logren un efecto demostrativo es una posición apática de parte de la dirigencia del Conacyt.

...[la ciencia] que sea percibida, que sea vista, de tal forma que podamos tener aliados sociales para la gestión de recursos, a la hora de la repartición de asignaciones, y sobre todo tener un lenguaje muy claro sobre cómo vamos a compensar a otros actores políticos y sociales con los recursos fiscales que estamos recibiendo y por los cuales debemos competir. ...no vamos a

Hay dos lugares dentro del gobierno mexicano donde se pueden fraguar las políticas de generación de conocimiento: el Conacyt y la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LX Legislatura de la Cámara de Diputados.

¿Pueden los mandos del Conacyt convencer al gabinete y a las cámaras legislativas, comerciales e industriales que el quehacer científico no es un subsidio ni un gasto sino una inversión, con poco riesgo, en el futuro de México?

poder competir jamás con otros clientes que social y políticamente pudieran ser más relevantes que nosotros.... ¿Por qué la generación de conocimiento tiene que competir con otras prioridades de México? Me parece que el rol principal del Conacyt puede y debe ser establecer alianzas con todos los elementos de la sociedad mexicana en cuanto a las prioridades de investigación y la forma de promover éstas y sus resultados entre la sociedad. El Conacyt puede y debe demostrar que no hay y no debe haber una competencia por recursos, sino una complementariedad entre los sectores interesados. La relevancia social de la generación de conocimientos debe ser una de los paradigmas centrales en la política de Conacyt.

Ya hay muchos investigadores trabajando en soluciones a problemas nacionales e internacionales de salud, clima, sismología, acuicultura, conservación de recursos naturales, agronomía, educación matemática, etcétera. La compensación fiscal está dada, tal vez no esté bien cacareada.

El mensaje más claro que hemos recibido los generadores de conocimiento de los gobiernos del cambio y del continuismo es el de desdén hacia nuestro quehacer. Hemos sido llamados socialmente inútiles por las huestes de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Entonces ¿por qué el Conacyt insiste en formar maestros en ciencia y doctores tanto en México como en el extranjero? ¿Dónde piensa que todas estas personas altamente capacitadas van a trabajar? No aumentan los presupuestos de universidades y centros de investigación, y la industria mexicana no tiene una tradición de investigación ni parece estar interesada; las motivaciones fiscales no parecen satisfacer a los industriales como recompensa a corto plazo de la promoción de la generación de conocimiento. Los directivos del Conacyt deben una explicación y una solución que justifique su trabajo ante sus empleadores, el pueblo mexicano.

Durante sus presentaciones los funcionarios nos hicieron entender que debemos agradecerles que hayan encontrado dinero dentro de la burocracia del Conacyt para poder superar los recortes en la operación de las ciencias que habían sido aprobados en la Cámara de Diputados para el año 2007. ¿Y el año 2008 y el otro y en 20 años, qué va pasar? Nuestros presupuestos de trabajo se ven amenazados, los científicos no podemos ni debemos pensar a corto plazo o en términos sexenales.

El Conacyt, que debiera abogar por un país productor de conocimiento, no parece entender el papel que este conocimiento genera en el desarrollo independiente de México. Ya que se trata de un organismo alejado del proceso electoral, será muy difícil cambiar su política.

Si la política real del ejecutivo federal, expresada a través del Conacyt, no impulsa la generación de conocimiento en México, debemos buscar alternativas para estimular políticas de estado orientadas a ese fin.

Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Diputados

Las políticas de estado y los presupuestos federales son producto de las interacciones entre los poderes ejecutivo y legislativo de nuestro país. Sin una política de estado que refleje la realidad o las necesidades de nuestro país e impulse la generación de conocimiento que pueda enfrentar estos retos no podemos esperar que la condición mexicana de importadores de conocimiento cambie.

En la LX legislatura de la Cámara de Diputados existe una Comisión de Ciencia y Tecnología; es allí donde se deben generar políticas y presupuestos que representen los intereses nacionales en la generación de conocimiento a través de la ciencia y la tecnología.

Las comisiones de la Cámara de Diputados están compuestas en la misma proporción que los partidos, de modo que el número de miembros del partido en una comisión tiene que ver más con la popularidad de su partido que por el interés del partido o sus representantes en cualquiera de las comisiones.

La Comisión de Ciencia y Tecnología de la LX legislatura está formada por 28 diputados. Tres de ellos tienen doctorado, once maestría posgrado o especialidad, siete una licenciatura, uno no acabo estos estudios, dos tienen carreras cortas y uno acabo la educación media superior. Veinte llegaron a la cámara por mayoría y ocho por representación proporcional. Cinco tienen experiencia en investigación y trece han dado clases cuando menos a nivel medio superior. Cada uno de ellos tiene una página electrónica en el sitio de la Cámara de Diputados (http://www3.diputados.gob.mx/camara/001_diputados/03_comisioneslx/001_ordinarias/004_ciencia_y_tecnologia/002_presentacion).

De los cinco miembros de la mesa directiva dos son investigadores, la minoría de la mesa ha hecho investigación. Para saber si están familiarizados con la generación e impartición de conocimiento podemos asumir que su experiencia en docencia a nivel medio superior o más alto es un buen indicador; la mesa cuenta con tres docentes.

La composición general de la Comisión, es decir los que no son miembros del comité directivo, tiene la misma tendencia, de los 23 miembros restantes cuatro han hecho investigación y doce han impartido clases.

La Comisión de Ciencia y Tecnología no parece ser

Mientras no exista una política de estado con respecto a la generación de conocimientos, los científicos estaremos reinventándonos cada seis años, en una tarea que sólo Sísifo merece.

de alta prioridad para la política pública mexicana; esto lo interpreto por la composición de su mesa directiva. La presidenta es miembro del partido Nueva Alianza, uno de los partidos minoritarios dentro de la Cámara. No fue elegida directamente, sino por representación proporcional. Las comisiones de baja prioridad y poca importancia política se pueden otorgar a partidos con pocos seguidores, pero con peso político.

Una de las características de esta Comisión es que diez de sus miembros forman parte de la mesa directiva de otras comisiones. Las de salud y de asuntos indígenas están representadas por sus respectivos presidentes y secretarios.

Las comisiones de asuntos indígenas, cultura, desarrollo social, juventud y deporte y salud implican gasto e inversión en el sector social, pero los subsidios otorgados no sólo sirven para resolver problemas de pobreza de las capas más vulnerables de la sociedad, también se utilizan para conseguir votos. No podemos descartar la posibilidad de que algunos miembros de estas comisiones, al no considerar prioritario un presupuesto para la generación de conocimientos, busquen canalizar parte de los recursos propuestos por la mesa directiva de la Comisión de Ciencia y Tecnología a su favor.

¿Qué podemos esperar de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Diputados? Hay cuando menos dos respuestas. Como ciudadanos, nos interesa que el dinero asignado a la generación de conocimiento no se desperdicie y que rinda frutos que beneficien a México; como generadores de conocimiento, nos interesa que el presupuesto que la Comisión de Ciencia y Tecnología logre dentro del presupuesto de gastos (1% del PIB) llegue a los investigadores y no se pierda en la burocracia que acompaña a la generación de conocimientos; asimismo, que ese dinero nos dé la libertad de usar nuestros conocimientos, creatividad e ingenio en la creación de nuevo conocimiento, y así contribuir a un desarrollo pleno e independiente del país.

Al momento, las decisiones que tomará la LX legislatura y en especial de la Comisión de Ciencia y Tecnología sobre el presupuesto para la generación de conocimientos en 2008 son una gran incógnita. Hay propuestas de un aumento cercano a 20% pero para que esta asignación presupuestal se realice, la dirección del Conacyt tiene que defenderla. Por su parte, la Comisión de Ciencia y Tecnología no debe ceder a la presión de otras comisiones, con prioridades más urgentes, o de los partidos mismos.

Según un cabildero de las Cámaras, la toma de decisiones en la Cámara de Diputados no se da en el pleno. Las decisiones son tomadas o por los líderes de

cada partido dentro de la Cámara o por la directiva de las comisiones, aunque muchas veces sólo por el presidente en consulta con el secretario técnico. Así que cuando los diputados confiesan que no han leído un proyecto de ley, es verdad; confían en que las decisiones, ya sea de la Comisión o del líder del partido, sean buenas. En nuestras legislaturas no hay la costumbre de los votos independientes; los partidos votan en bloque siguiendo las instrucciones de sus líderes. El resultado ya lo conocemos; ni nuestras leyes ni nuestros presupuestos funcionan como deberían.

Algunas soluciones al problema de generación de conocimientos

La generación de conocimientos parece que se enfrenta, primero que nada, a quienes deberían ser sus dos mejores promotores: el Conacyt y la Comisión de Ciencia y Tecnología. ¿Cómo convertir estas dos instituciones en aliados? ¿Cómo podemos presionarlos a que ayuden a México a superar su dependencia de conocimiento?

Los generadores de conocimiento no nos caracterizamos por nuestra militancia y manifestación pública. No hemos podido convertir nuestros requerimientos de inversión y gasto corriente en una causa popular. Mientras no exista una política de estado con respecto a la generación de conocimientos, estaremos reinventándonos cada seis años, en una tarea que sólo Sísifo merece.

Como individuos, está fuera de nuestro alcance apelar a la dirección del Conacyt. Muchos científicos y directores de centros han intentado dialogar con ellos; parece que la jerarquía de la institución se siente más responsable hacia el ejecutivo federal y su ideología que hacia la generación de conocimientos. Necesitamos tomarnos el tiempo y usar nuestra creatividad para convencer al Conacyt y al ejecutivo de que la generación de conocimientos es rentable.

La Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Diputados puede ser un mejor lugar para trabajar, pues existen mecanismos que nos permiten acercarnos a ellos. El problema más grande es que sus periodos duran tres años. El esfuerzo debe repetirse de manera no muy diferente a la repetición de un curso. Otra ventaja que hay al platicar con esta Comisión es que algunos de sus miembros, como lo pudimos ver en el , están legítimamente interesados en la generación de conocimiento y al resto se le puede interesar. Como representantes populares, es su deber atender a la ciudadanía; a nosotros nos corresponde educarlos sobre las ventajas del conocimiento independiente y no sólo

quejarnos de la falta de visión y apoyo. Los diputados necesitan saber en qué y cómo trabajamos, ya que nuestra labor posiblemente sea algo ajeno a su realidad. Darles a conocer lo que hacemos nos ayudará a que entiendan el porqué de nuestras necesidades económicas en investigación. Podemos sospechar que no seríamos los únicos cabildeando a la Comisión, pues también las compañías que buscan importar tecnología tienen que hacer su trabajo para convencer a los diputados que es mejor importar que crear.

Si queremos que nuestra labor sea entendida y que impulse el desarrollo en México, tenemos una gran tarea por delante: convencer a nuestros conciudadanos y al gobierno que nuestra labor es importante. La tarea es grande porque, hasta ahora, no lo hemos hecho en la medida que se requiere. Por ejemplo, los medios electrónicos tienen en sus programas más populares una sección de dietas, otra de horóscopos, pero jamás una de descubrimientos mexicanos. Para lograr el cambio hay que empezar por educar a los productores de estos programas y también a los editores para que las colaboraciones en revistas de difusión no se enfoquen únicamente en una porción limitada de ciudadanos; presentar nuestros logros ante el gran público no sólo enaltecería nuestra labor, también enorgullecería a nuestros lectores en todo el país.

Para convencer a nuestros gobernantes de la importancia de la generación autóctona de conocimiento necesitamos una presencia más generalizada, a través de grupos de agremiados, tanto en el Conacyt como en la Cámara de Diputados. La Academia Mexicana de Ciencia y el Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología se ejercen como nuestras voces principales, pero no deben ser los únicos. Las asociaciones profesionales y nuevos grupos de científicos e ingenieros con intereses comunes deben darse a conocer y ejercer su opinión. Sin una presencia real y constante en los corredores del poder, la

generación de conocimiento en México seguirá siendo relegada a segundo plano y nuestra independencia económica desaparecerá tras el horizonte. ●

Cuadro 1. Número de patentes de 2001 a 2006 en 10 países y dos estados de EUA.

PAÍS	AÑO 2002	2003	2004	2005	2006
Alemania	11,957	12,140	11,367	9,575	10,899
Brasil	112	180	161	198	148
Canadá	3,857	3,894	3,781	3,177	4,094
Corea del Sur	4,109	4,132	4,671	4,591	6,509
Chile	13	15	18	12	14
R. P. China	390	424	597	565	970
España	358	358	312	318	381
India	267	356	376	403	506
Japón	36,339	37,248	37,032	31,834	39,411
México	105	93	102	95	88
Estado EUA					
California	21,235	22,074	21,602	19,662	25,043
Nuevo México	388	405	383	273	354

Fuente: Patent Counts by Country/State and Year. All patents all types. 2007. U.S. Patent and Trademark Office.
Los números corresponden a las patentes registradas en la Oficina de Patentes de Estados Unidos; el origen de la patente se determina por la residencia del primer inventor. Tanto los diferentes países como los estados de los EUA están ordenados alfabéticamente.



Flautista.



Encuentro nocturno.

ALICE: recreando el origen del Universo

EL ACELERADOR DE PARTÍCULAS MÁS GRANDE DEL MUNDO, LLAMADO EL GRAN COLISIONADOR DE HADRONES, ESTARÁ LISTO PARA ARRANCAR A MEDIADOS DE ESTE AÑO. PARA SU CONSTRUCCIÓN, EN GINEBRA, SE HAN REUNIDO CIENTÍFICOS DE TODAS LAS NACIONALES. EL DOCTOR HERRERA CORRAL, MIEMBRO DE LA COMUNIDAD ACADÉMICA DEL CINVESTAV Y COPARTÍCIPE DEL EXPERIMENTO ALICE, NOS OFRECE UN RELATO ACERCA DE ESTE APASIONANTE PROYECTO CIENTÍFICO —EL MÁS AMBICIOSO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD— Y DE LAS APORTACIONES QUE LAS DISTINTAS UNIVERSIDADES E INSTITUTOS DE NUESTRO PAÍS HAN TENIDO EN ÉL.

Gerardo Herrera Corral

En el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN, por sus siglas en francés) se construye el Gran Colisionador de Hadrones, el acelerador más grande del mundo y el proyecto científico más ambicioso en la historia de la humanidad.

Ubicado en Ginebra (Suiza), el acelerador llevará protones a chocar contra protones a una energía de 14 tera-electrón-voltios, la más alta jamás lograda. También acelerará iones pesados y los hará colisionar para llevar a la materia a condiciones extremas de temperatura, densidad y presión.

Actualmente sabemos que la materia que nos rodea está formada de protones neutrones y electrones. Sabemos que estos protones y neutrones están a su vez formados por quarks, que por alguna razón permanecen siempre confinados en grupos de dos o tres quarks.

Existen razones para pensar que a una cierta temperatura los quarks no formaran más agregados. A la temperatura, que debe ser del orden de 2.4 billones de grados Kelvin, los hadrones se fundirán formando un plasma de quarks y gluones. Esta enorme temperatura es 100 mil veces mayor que la existente en el centro del Sol.

El experimento ALICE hará uso del Gran Colisionador de Hadrones para lograr en el laboratorio temperaturas como ésta y aún mayores, que permitan estudiar al plasma. Para esto se acelerarán iones de plomo a velocidades cercanas a la de la luz hasta alcanzar una energía de 1 150 tera-electrón-voltios en el centro de masa. Entonces ALICE registrará lo que ocurra en cada una de estas "pequeñas grandes explosiones".

ALICE y el origen del Universo

En su origen, y sólo por millonésimas de segundo, el Universo fue una densa sopa de quarks y gluones, que luego se expandió y enfrió formando agregados de materia cada vez más complejos hasta llegar a la estructura que hoy vemos a nuestro alrededor.

De acuerdo con nuestra actual concepción del Universo, éste se originó hace 13 700 millones de años, cuando una gran explosión generó el espacio y el tiempo. La materia estaba comprimida en un pequeño punto extremadamente denso y caliente. Este punto creció rápidamente dando origen a las componentes elementales del Universo. Unas millonésimas de



Estructura de acero de ALICE. En su interior está el magneto superconductor y en la parte superior se encuentra el detector de rayos cósmicos.

segundo más tarde, estas partículas elementales se agruparon formando agregados compuestos como el protón y el neutrón, que a su vez se agruparon para formar núcleos atómicos tres minutos más tarde.

El Universo siguió creciendo y se fue enfriando hasta que 380 mil años después los electrones comenzaron a quedar atrapados en los núcleos para formar átomos, principalmente de hidrógeno y helio, que siguen siendo los elementos más abundantes en la naturaleza.

Un millón y medio de años más tarde, la gravitación entró en acción formando estrellas, galaxias y otros objetos. Desde entonces, otros elementos como el carbón, el oxígeno y el hierro, de los que estamos hechos, se fueron produciendo en el centro de las estrellas. El proceso de producción de elementos pesados aún continúa en el corazón de estos objetos luminosos, que admiramos en el firmamento.

El experimento ALICE estudiará lo que ocurra cuando dos iones de plomo colisionen, después de haber ganado una enorme cantidad de energía durante su viaje a través de una cadena de aceleradores. Cuando los iones alcanzan velocidades cercanas a la de la luz se comprimen formando una tortilla de un espesor de 1 fermi (es decir, metros) y 14 fermi de diámetro. En el momento de la colisión los dos iones interactúan y, en este proceso, la energía que se libera calienta y comprime

la materia nuclear, al grado que la interacción fuerte que une a los quarks y gluones dentro de los protones, puede ser rebasada. Como resultado, los quarks y los gluones quedan libres, y por una mil millonésima de nanosegundo se los podrá observar fuera de sus prisiones. Uno puede decir que la materia se vaporiza en un plasma de quarks y gluones. ALICE podrá reconocer el fenómeno midiendo la producción de ciertas partículas y siguiendo la evolución del plasma, que imprimirá su huella en los productos de la reacción. Finalmente, la materia se expandirá y se enfriará hasta que la interacción fuerte lleve a los quarks a agregarse de nuevo en la forma de partículas compuestas. De esta forma ALICE verá la repetición del gran estallido, que hace 13 700 millones de años dio origen al Universo.

El experimento

El Gran Colisionador de Hadrones es la última etapa de aceleración de los iones pesados. Es un anillo con 27 kilómetros de perímetro, que se encuentra entre 50 y 170 metros por debajo del nivel del suelo. Iones viajan por una cámara al alto vacío en direcciones opuestas. El vacío que se tendrá en el Gran Colisionador de Hadrones es comparable al del espacio exterior, es decir, en ese ambiente no se encuentra más de un protón por metro cúbico. Los haces son guiados por miles de magnetos

El acelerador llevará protones a chocar contra protones a una energía de 14 tera-electrón-voltios, la más alta jamás lograda. También acelerará iones pesados a velocidades cercanas a la de la luz, y los hará colisionar para llevar la materia a condiciones extremas de temperatura, densidad y presión. Así, el detector ALICE verá la repetición del gran estallido, que hace 13 700 millones de años dio origen al Universo.



Descenso de equipos a la caverna.



Diferentes vistas del detector de rayos cósmicos.



Dos grupos de científicos mexicanos están colaborando en la creación del Gran Colisionador de Hadrones. Uno está encargado de construir los paneles sensibles para un detector de rayos cósmicos; otro, del diseño y la construcción del detector V0, aparato que contribuirá al análisis y la definición del tipo de reacción que se producirá en el experimento ALICE.

superconductores que operan a -271°C . El Gran Colisionador de Hadrones es el punto más frío del Universo entero. Aun en el espacio exterior, el Universo mantiene una temperatura de -270°C , que es un poco más calida que la del acelerador.

El detector ALICE consiste de 16 subdetectores. Cada uno de ellos tiene alguna función particular y, ya en conjunto, todos los dispositivos permitirán conocer con precisión lo que ocurra en la reacción.

De los 16 sistemas que conforman el detector ALICE, dos fueron diseñados y construidos en México.

La participación mexicana se realizó en dos grupos cada uno de los cuales tuvo la responsabilidad de diseñar un dispositivo. Uno de los grupos está formado por investigadores del Departamento de Física del Cinvestav, del Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla y de la Universidad de Sinaloa. Este grupo construyó el detector de rayos cósmicos, que ya está funcionando en la parte

superior del magneto de ALICE. El papel del detector es la de generar señales de disparo, cuando un muón cósmico lo atraviese. Esto le permitirá a varios dispositivos de ALICE calibrar su funcionamiento. Además, enviará una señal cuando reciba una cantidad de muones cósmicos, abundante para que los eventos puedan ser registrados. Posteriormente, estos eventos serán objeto de estudio. Los paneles sensibles que forman el detector de rayos cósmicos están formados por paletas de plástico centellador, sensibles a la radiación. Los paneles fueron enviados al CERN en diciembre de 2005 para su instalación en la posición final.

Otro grupo está formado por investigadores del Departamento de Física y del Departamento de Física Aplicada del Cinvestav, así como del Instituto de Física y del Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México. Este grupo trabajó por más de seis años en el diseño y construcción del detector V0.

El sistema V0 es el dispositivo más rápido con mayor cobertura geométrica del experimento ALICE. Consiste

Actualmente, la ciencia exige trabajo colectivo de grupos grandes y diversos. México, que aún conserva la naturaleza individual de la investigación científica, poco a poco se está adaptando a esa realidad. Prueba de ello es el trabajo orquestado que han ido realizando los investigadores mexicanos involucrados en el proyecto internacional ALICE, del que se espera contribuya al entendimiento del gran enigma universal: ¿cómo empezó todo?

de un disco formado de 32 celdas de plástico centellador, que son leídas de manera individual con fibras ópticas. Opera en conjunto con un disco más pequeño, localizado en el lado opuesto del punto de interacción, construido en Francia. De manera coordinada el sistema deberá analizar cada evento y tomar la decisión sobre el tipo de reacción que está observando para comunicarlo rápidamente al resto de los detectores.

Cuando una partícula atraviesa el plástico, produce luz por centelleo. Esta luz viaja por la celda hasta quedar atrapada en las fibras que la conducen hasta un tubo foto multiplicador que convierte la luz en una señal eléctrica.

El detector está listo para su instalación definitiva en el detector ALICE.

Big science, nueva forma de hacer ciencia

En los años sesenta, la física de partículas basada en aceleradores y, en buena medida, los experimentos de rayos cósmicos habían alcanzado un alto grado de madurez. Los experimentos salieron, entonces, de las mesas de los laboratorios para ocupar áreas experimentales gigantescas.

Este crecimiento y la complejidad asociada no fueron exclusivos de la física de partículas. Alrededor de laboratorios de luz de Sincrotrón se aglutinaron biólogos, geólogos y médicos para hacer investigación en grupos grandes y diversos. Otras áreas del conocimiento han presenciado un fenómeno similar a lo que se ha dado a llamar *big science*.

Una nueva forma de hacer ciencia surgió y, con ello, nuevas dificultades y el malestar de una sociedad acostumbrada y establecida. El desconcierto de la comunidad científica del mundo se puede percibir en la reflexión de Lévi Strauss (*Tristes trópicos*):

¿Seremos nosotros en este punto prisioneros de una perspectiva científica heredada del siglo XIX, cuando cada campo de pensamiento estaba lo suficientemente restringida para que un hombre con cultura general, vivacidad y claridad, espíritu lógico y talento literario llegase a abarcarlo por entero y, trabajando de manera aislada consiguiese repensarlo todo por cuenta propia y presentar una síntesis?

Nos alegremos o lo deploramos, la ciencia moderna ya no permite esa exploración artesanal. Ahí donde bastaba un especialista para ilustrar a su país, es necesario un ejército que

nos hace falta; las bibliotecas personales se transformaron en curiosidades museográficas; pero nuestras bibliotecas públicas, sin locales, sin crédito, sin personal documentalista e incluso sin número suficiente de sillas para los lectores, desaniman a los investigadores en lugar de servirlos. En fin, la creación científica representa hoy una realización colectiva y ampliamente anónima para la que estamos lo menos preparados posible, habiéndonos ocupado demasiado en prolongar más allá de su tiempo los hechos fáciles de nuestros viejos virtuosos. Estos, ¿continuarán creyendo por mucho tiempo que un estilo a toda prueba puede remediar la falta de partitura?

México conserva, en gran medida, la naturaleza individual de la investigación científica. La visión de muchos de nuestros colegas sigue anclada en esta manera de hacer investigación. Seguimos mirando el desempeño individual como el único digno y apreciamos poco o nada las virtudes del trabajo orquestado, en el que se suman más habilidades para jugar un papel importante en el resultado final.

Los sistemas de evaluación de las instituciones mexicanas caminan también en la dirección contraria a la de la cooperación y trabajo colectivo. Tenemos un esquema en el que nuestras instituciones deben lucir como centros de enseñanza de calidad, y por eso deben aspirar a protagonismos que inhiben el trabajo en conjunto.

Es por eso importante señalar que el trabajo de las instituciones y de los investigadores alrededor del proyecto ALICE ha sido el éxito de la cooperación de muchos años. Varias instituciones han compartido el talento y los recursos, y ahí esta su verdadero brillo y su grandeza.



Time Projection Chamber (TPC).

El sistema inmune como blanco de los efectos de contaminantes ambientales

LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES DE TODO TIPO MODIFICAN LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL SISTEMA INMUNE Y MERMAN NUESTRA CALIDAD DE VIDA AL VOLVERNOS MÁS SUSCEPTIBLES A PADECER CIERTAS ENFERMEDADES QUE, DE OTRA MANERA, SERÍAMOS CAPACES DE MANTENER BAJO CONTROL.

Libia Vega Loyo

La **inmunotoxicología** emergió formalmente como una disciplina diferente al relacionarse los efectos de sustancias de procedencia no biológica (xenobióticos) con el incremento en la incidencia de algunas enfermedades oportunistas dentro de algunos estudios epidemiológicos. La exposición a xenobióticos es causa de preocupación sobre todo ante el descubrimiento de sus efectos a largo plazo. En el monitoreo biológico de individuos expuestos a xenobióticos se ha propuesto el uso de "marcadores biológicos", que son indicadores de eventos ocurridos en el organismo o en un grupo celular particular. El efecto de los xenobióticos sobre el sistema inmune puede producir varios tipos de respuestas o cambios perceptibles a diferentes niveles, que pueden ser utilizados como marcadores específicos, tanto de exposición como de efecto, o incluso de susceptibilidad hacia ciertos xenobióticos.

Marcadores biológicos

Si la exposición a xenobióticos produce cambios o alteraciones tempranas o iniciales en los individuos antes del desarrollo del impedimento o la enfermedad, estos cambios podrían convertirse en señales o "marcadores", que pueden ser evaluados mediante estrategias adecuadas y correlacionarse con los efectos observados a largo plazo en modelos experimentales o en grupos humanos expuestos (figura 1).

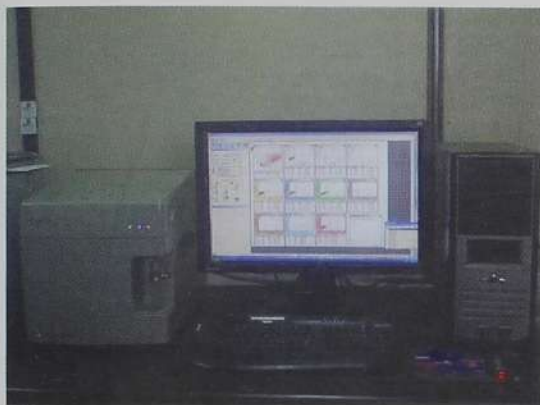
La detección de un xenobiótico en fluidos o tejidos es una señal de que el organismo tuvo, o ha estado en contacto con éste, por lo que puede constituir un marcador de exposición. Cuando la exposición ha causado cambios en los organismos, es posible caracterizarlos cualitativa o cuantitativamente mediante diferentes estrategias. Estas mediciones constituyen indicadores o marcadores biológicos de efecto, que son las alteraciones bioquímicas, fisiológicas, genéticas o de otro tipo y que pueden ser reconocidas como un daño potencial o efectivo a la salud. Finalmente, un marcador biológico de susceptibilidad es aquel indicador de una limitación heredada o adquirida de la capacidad de un organismo para responder al reto de la exposición a un xenobiótico específico.

Exposición. Este tipo de marcadores normalmente se limita a la detección del xenobiótico o a alguno de sus metabolitos, aunque pueden encontrarse respuestas inmediatas a la exposición, tales como reacciones de hipersensibilidad o anticuerpos antígeno-específicos. La mayoría de las sustancias que desencadenan estas respuestas forman haptenos y provocan reacciones inflamatorias evidentes.

Efecto. Es alguna alteración celular o bioquímica en cualquiera de los compartimentos del sistema inmune que pueda ser detectable. Los biomarcadores de efecto son tan variados como funciones tienen las células

LIBIA VEGA LOYO Bióloga por la Facultad de Ciencias de la UNAM (1991), maestra y doctora en Investigación Biomédica Básica, UNAM (1995 y 1998, respectivamente). Realizó su estancia posdoctoral en el National Institute of Environmental Health Sciences, Laboratorio de Inmunotoxicología (Carolina del Norte, EUA). Actualmente es investigadora titular 3B en la Sección Externa de Toxicología y profesora de posgrado en Toxicología en el Cinvestav. Es autora de numerosos artículos internacionales en revistas indexadas, ha publicado artículos en extenso y capítulos en libros, y tiene múltiples participaciones en congresos nacionales e internacionales con

presentaciones y conferencias. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1996 (nivel II) y pertenece a diferentes sociedades especializadas, tales como Environmental Mutagenesis Society, Federal Association of Societies of Experimental Biology, Society of Toxicology, Society of Immunology, Association of Research on Vision and Ophthalmology, Asociación Mexicana de Genética Humana, Sociedad Mexicana de Toxicología, Sociedad Mexicana de Inmunología, Sociedad Mexicana de Bioquímica. lvega@cinvestav.mx



Citómetro.



Contaminación.



Contador de centelleo.



Ratón AhR.

La inmunotoxicología emergió formalmente como una disciplina diferente al relacionarse los efectos de sustancias de procedencia no biológica (xenobióticos) con el incremento en la incidencia de algunas enfermedades oportunistas dentro de algunos estudios epidemiológicos.

inmunes, y pueden ser tan específicos como la alteración en el estado basal de una sola proteína o tan generales como la alteración en un tipo de manifestación clínica ante un reto antigénico, ya sea químico (haptenos, alergias) o biológico (infecciones virales, bacterianas, parasitarias, etcétera).

Susceptibilidad. En el caso específico del sistema inmune, los marcadores de susceptibilidad generalmente están dirigidos hacia la detección en los organismos de limitaciones, tanto heredadas como adquiridas, que les impiden responder a los retos antigénicos. Estos factores son independientes de la ocurrencia de la exposición. La clasificación y determinación de los marcadores de susceptibilidad es controversial dada su naturaleza, y en la mayoría de los casos pasan inadvertidos aun en estudios epidemiológicos muy precisos. Algunas de las más importantes fuentes de variación en la susceptibilidad entre los individuos son los factores

genéticos particulares, tales como la presencia de ciertos polimorfismos o la activación específica de algunos oncogenes (Badenhoop y Boehm, 2004); los factores ambientales que rodean a la persona, como el lugar de residencia, ocupación, etcétera (Johnson *et al.*, 2003); factores fisiológicos particulares como estrés, embarazo, envejecimiento, ejercicio, etcétera (Friedman y Lawrence, 2002; Holsapple *et al.*, 2004; Nielsen, 2003; Plowden *et al.*, 2004), y algunos hábitos como el fumar, el alcoholismo, una mala nutrición o el desarrollo de cáncer.

Efecto de los xenobióticos sobre el sistema inmune

La interacción de ciertos xenobióticos con los tejidos linfoides puede alterar el delicado balance del sistema inmune y puede producir cinco tipos de efectos adversos: 1) inmunosupresión; 2) proliferación descontrolada; 3) alteraciones de los mecanismos de defensa contra

La interacción de ciertos xenobióticos con los tejidos linfoides puede alterar el delicado balance del sistema inmune y puede producir efectos adversos tales como inmunosupresión, proliferación descontrolada, alteraciones de los mecanismos de defensa contra patógenos y neoplasias, alergias y autoinmunidad.

patógenos y neoplasias; 4) alergias y 5) autoinmunidad, actuando en varios puntos dentro de la compleja red de la respuesta inmune (figura 2). Se sabe que algunos xenobióticos son capaces de inducir autoinmunidad pero existe poca evidencia que relacione la aparición de estas enfermedades con exposiciones ambientales (Thomas, 1998). Un estado de inmunosupresión puede representar un riesgo potencial, puesto que la habilidad del individuo para combatir enfermedades, tanto naturales como adquiridas, se ve disminuida. Existe poca información que sugiera que los individuos expuestos a contaminantes ambientales tengan una mayor incidencia de enfermedades infecciosas o que se encuentren inmunológicamente comprometidos (tabla 1). Sin embargo, ya se ha demostrado que los plaguicidas organofosforados y sus metabolitos son capaces de producir alteraciones en la activación de linfocitos e inhibición en la secreción de citocinas (Lima y Vega, 2005), entre otros efectos (tabla 2). Adicionalmente, se ha reportado inmunomodulación por fármacos tales como el metronidazol (Elizondo *et al.*, 1994) y el meloxicam (Cruz *et al.*, 2008). Los metales también han estado implicados en varias respuestas de hipersensibilidad o baja de respuestas específicas, como en el caso del selenio (Vega *et al.*, 2007). Existe una gran cantidad de información sobre las propiedades inmunosupresoras de los metales. La exposición sistémica a los metales puede afectar adversamente la respuesta inmune y alterar la resistencia del individuo a agentes infecciosos y tumores. La supresión de esta resistencia es una de las aberraciones más consistentes en la inmunotoxicidad inducida por metales y, al parecer, la gran mayoría de los metales comparten mecanismos de acción similares. El cadmio altera la susceptibilidad a endotoxinas bacterianas y disminuye el número de células productoras de anticuerpos. Un efecto similar se reporta con la exposición a mercurio (Sweet y Zelickoff, 2001). Se han reportado casos en los que, muy pequeñas dosis de arsénico (As), son capaces de estimular la proliferación inducida por mitógenos de los linfocitos expuestos, tanto *in vivo* como *in vitro*, y casos en los que, dosis ligeramente mayores, pueden disminuir esta respuesta (Gonsebatt *et al.*, 1992; Vega *et al.*, 1999).

Diversos estudios epidemiológicos en poblaciones humanas han demostrado que la exposición a arsénico provoca daños a la salud del ser humano, algunos de ellos severos. La ingestión crónica de agua o medicamentos con As produce alteraciones cutáneas y se ha asociado con distintos tipos de cáncer, sobre todo de piel, vejiga,

hígado y riñón, o broncogénico cuando se está expuesto por inhalación. En individuos expuestos crónicamente a As inorgánico por el consumo de agua contaminada, se ha encontrado que la cinética del ciclo celular en linfocitos de sangre periférica es más lenta y la respuesta a mitógenos reducida en comparación a la encontrada en individuos no expuestos (Ostrosky-Wegman *et al.*, 1991). En linfocitos tratados *in vitro* con arsenito de sodio, hemos encontrado efectos inhibitorios sobre su capacidad proliferativa (Gonsebatt *et al.*, 1992). Por otro lado, hemos demostrado que la exposición a arsenito de sodio altera la expresión de la cadena alfa del receptor para interleucina 2 (IL-2) (CD25) (Vega *et al.*, 1999) y que sus efectos tóxicos son diferentes en hombres y mujeres (Vega *et al.*, 2004). Adicionalmente, hemos reportado que la exposición a As en el agua de bebida induce un estado de inmunodepresión en población infantil, caracterizado principalmente por la falta de respuesta en la secreción de IL-2 y una reducción en la proporción de células T ayudadoras, y este estado de inmunodepresión inducido por la exposición a As se ha asociado con la incidencia de enfermedades parasitarias, infecciones, asma y alergias (Soto-Peña *et al.*, 2006). Hemos observado que tanto el As inorgánico como sus compuestos metilados tienen efectos diferenciales dependiendo de las células blanco (Styblo *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2001), que es un inhibidor de la respuesta de hipersensibilidad retardada (Patterson *et al.*, 2004) y que muchos de estos efectos se deben a la alteración del estado basal de fosforilación de varias proteínas importantes en la señalización de las células del sistema inmune (Soto-Peña y Vega, en imprenta).

Consideraciones en el análisis de efectos inmunotóxicos

Existe una relación entre el metabolismo de xenobióticos (inducción del CYP450 por xenobióticos) y la respuesta inmune (modulación de la activación de la respuesta inmune a través de la inducción de citocinas). Tal es el caso del receptor arilo hidrocarbónico (AhR), que regula la expresión de los CYP1A1/1A2 y 1B1 activando, así, el metabolismo y biotransformación de sus ligandos, y se encuentra implicado en la expresión de ciertas citocinas relacionadas con la respuesta inmune celular de tipo Th1 y la producción de óxido nítrico (Vega *et al.*, 2003; Rodríguez-Sosa *et al.*, 2005).

Conforme los individuos envejecen, el sistema inmune comienza a declinar y se presenta un incremento en la incidencia de tumores. Otros factores que pueden aumentar el efecto inmunosupresor de

La ingestión crónica de agua o medicamentos con arsénico produce alteraciones cutáneas y se ha asociado con distintos tipos de cáncer, sobre todo de piel, vejiga, hígado y riñón, o bronco-génico cuando se está expuesto por inhalación.

algunos xenobióticos son el fumar, el tipo de dieta, la malnutrición, el estrés y las enfermedades que se presenten durante la vida. La absorción, metabolismo, distribución y excreción de un cierto compuesto puede diferir entre especies animales, entre animales y humanos y aun entre humanos.

Dentro de los estudios epidemiológicos se debe poner especial atención al diseñar un cuestionario de evaluación adecuado, se debe incluir una historia clínica adecuada del paciente, al igual que criterios que permitan evaluar su nivel socioeconómico, ya que todas estas características influyen en cierto grado el desarrollo y la respuesta del sistema inmune entre individuos. También es importante considerar la exposición conjunta a mezclas de xenobióticos y las posibles interacciones con medicamentos en los individuos expuestos.

Además de los datos recopilados en estudios epidemiológicos, siempre es recomendable corroborar los hallazgos con experimentación específicamente diseñada para probar las asociaciones estadísticas encontradas en poblaciones expuestas. El Programa Nacional de Toxicología (NTP) de los Estados Unidos de América ha establecido ciertas baterías de prueba para determinar el potencial inmunotóxico de compuestos químicos (tabla 3). Por último, es importante mencionar que la exposición a xenobióticos puede tener efectos sobre nuestra calidad de vida más que sobre la incidencia de una enfermedad en particular y estos efectos contribuyen al envejecimiento prematuro. Por lo anterior, debe considerarse al sistema inmune como otro órgano más que debe ser protegido de las agresiones del medio en que vivimos. ●

Figura 1. Tipos de marcadores biológicos y su aplicación en diferentes fases de estudio de sus efectos en la salud humana (tomado de Vega, 2006).

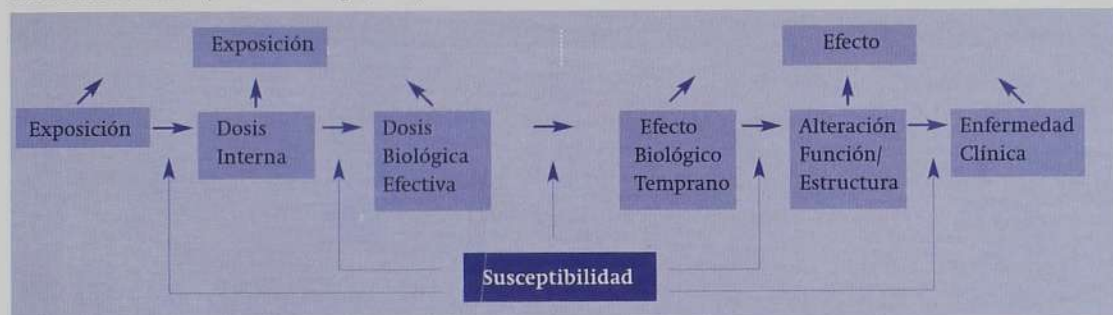


Figura 2. Sitios de acción de xenobióticos sobre los principales compartimentos del sistema inmune y algunos de sus componentes (tomado de Vega, 2006).

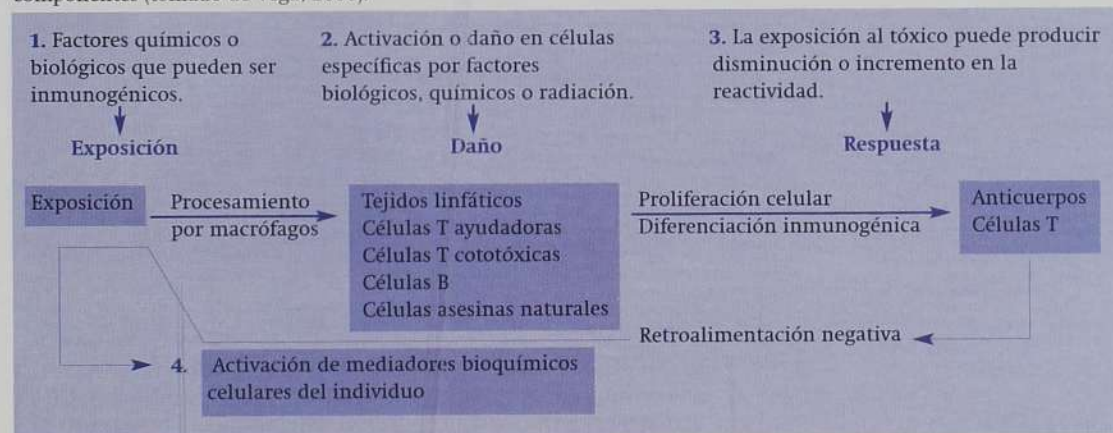


Tabla 1. Alteraciones inmunológicas asociadas a la exposición a solventes orgánicos, químicos industriales y contaminantes atmosféricos.

XENOBIOTICO	ALTERACION ASOCIADA
Asbesto	Reduce la proporción CD4:CD8
Benceno	Disminuye la proliferación celular en respuesta a PHA
Benzo (a) pireno	Disminuye la proliferación de linfocitos
Bifenil policlorinado	Enfermedades autoinmunes de tiroides
Cloruro de vinilo	Esclerosis sistémica, disminuye la proliferación celular en respuesta a Con A
Crisolita	Disminuye la proliferación celular en respuesta a PHA
Crocidolita	Disminuye la proliferación celular en respuesta a PHA
Dimetil benz-antraceno	Inhibe replicación celular
Dimetil nitrosamina	Induce apoptosis en respuesta a PHA
Dietil-stil bestrol	Aumenta proliferación celular por PHA
Hidracina	Lupus eritematoso sistémico
Ozono	Disminuye la proliferación celular en respuesta a PHA
Sílica	Esclerosis sistémica
TCDD	Reduce inmunidad Humoral

Tomado de Vega, 2006.

Tabla 2. Alteraciones inmunológicas asociadas a la exposición a plaguicidas.

PLAGUICIDA	ALTERACION ASOCIADA
Aldrin	Produce anticuerpos antinucleares, enfermedad en tiroides
Aminocarb	Aumenta respuesta a eritrocitos de carnero y la expresión de moléculas MHC-II
Carbamato	Produce anticuerpos antinucleares
Carbaryl	Aumenta respuesta a eritrocitos de carnero
Clordano	Aumenta autoanticuerpos
Clorpirifos	Aumenta autoanticuerpos
Dieldrin	Produce anticuerpos antinucleares, enfermedad en tiroides
Eldrin	Produce anticuerpos antinucleares, enfermedad en tiroides
Heptaclor	Aumenta autoanticuerpos
Hexaclorobenceno	Aumenta IgM e IgG en suero, produce autoanticuerpos, disminuye peso de bazo y nódulos linfáticos
Lindano	Aumenta respuesta a eritrocitos de carnero
Malatión	Aumenta respuesta a eritrocitos de carnero
Metabolitos etilados	Aumenta la expresión de CD69 y disminuye la secreción de citocinas
Metabolitos metilados	Aumenta la expresión de CD69
Paraquat	Aumenta autoanticuerpos, glomerulonefritis
Paratión	Disminuye secreción de citocinas

Tomado de Vega, 2006.

La exposición a xenobióticos puede tener efectos sobre nuestra calidad de vida más que sobre la incidencia de una enfermedad en particular y estos efectos contribuyen al envejecimiento prematuro.

Tabla 3. Ensayos de inmunocompetencia e inmunotoxicidad.

PARAMETRO A EVALUAR	TIPO CELULAR
Actividad contra células tumorales	NK, Tc
Actividad fagocítica	Macrófagos
Calcio intracelular y activación de canales	NK, macrófagos, T, B, APC
Citotoxicidad	NK, macrófagos, T
Clastogenicidad	NK, macrófagos, T, B, APC
Enumeración de subpoblaciones	NK, macrófagos, T, B, APC
Expresión de oncogenes	NK, macrófagos, T, B, APC
Isotipo y producción de anticuerpos	B
Marcadores de activación	NK, macrófagos, T, B, APC
Producción de especies reactivas de oxígeno	Macrófagos
Proliferación	NK, T, B
Proteínas reguladoras del ciclo celular	NK, macrófagos, T, B, APC
Quimiotaxis	NK, macrófagos, T, B, APC
Secreción de citocinas	NK, macrófagos, T, B, APC
Viabilidad celular	NK, macrófagos, T, B, APC
Desarrollo de tumores	Organismo (T, NK)
Histopatología de bazo	Organismo (maduración de T y B)
Histopatología de médula ósea	Organismo (generación celular)
Histopatología del timo	Organismo (maduración celular)
Inflamación	Organismo (quimiotaxis)
Resistencia del hospedero a infecciones	Organismo (T y B)

Tomado de Vega, 2006.

Referencias

- Badenhoop, K. y Boehm, B. O. Genetic susceptibility and immunological synapse in type 1 diabetes and thyroid autoimmune disease. *Experimental and Clinical Endocrinology and Diabetes*, 112:407-415, 2004.
- Cruz, R., Quintana-Hau, J. D., González, J. R., Tornero-Montaña, R., Baiza-Durán, L. M. y Vega, L. Effects of an ophthalmic formulation of meloxicam on COX-2 expression, PGE2 release, and cytokine expression in a model of acute ocular inflammation. *British Journal of Ophthalmology*, 92:120-125, 2008.
- Elizondo, G., Montero, R., Herrera, J. E., Hong, E. and Ostrosky-Wegman, P. Lymphocyte proliferation kinetics and sister-chromatid exchanges in individuals treated with metronidazole. *Mutation Research*, 305:133-137, 1994.
- Friedman, E. M. y Lawrence, D. A. Environmental stress mediates changes in neuroimmunological interactions. *Toxicological Sciences*, 67:4-10, 2002.
- Gonsebatt, M. E., Vega, L., Herrera, L. A., Montero, R., Rojas, E., Cebrián, M. E. y Ostrosky-Wegman, P. Inorganic arsenic effects on human lymphocyte stimulation and proliferation. *Mutation Research*, 283:91-95, 1992.
- Holsapple, M. P., Paustenbach, D. J., Charnley, G., West, L. J., Luster, M. I., Dietert, R. R. y Burns-Naas, L. A. Symposium summary: children's health risk - what's so special about the developing immune system? *Toxicology and Applied Pharmacology*, 199:61-70, 2004.
- Johnson, R. J., Hurtado, A., Merszei, J., Rodríguez-Irube, B. y Feng, L. Hypothesis: dysregulation of autoimmune balance resulting from hygiene and socioeconomic factors may influence the epidemiology and cause of glomerulonephritis worldwide. *American Journal of Kidney Disease*, 42:575-581, 2003.
- Lima, A. y Vega, L. Methyl-parathion and organophosphorous pesticide metabolites modify the activation status and interleukin-2 secretion of human peripheral blood mononuclear cells. *Toxicology Letters*, 158:30-38, 2005.
- Nielsen, H. B. Lymphocyte responses to maximal exercise: a physiological perspective. *Sports Medicine*, 33: 853-867, 2003.
- Ostrosky-Wegman, P., Gonsebatt, M. E., Montero, R., Vega, L., Barba, H., Espinosa, J., Palao, A., Cortinas, C., García-Vargas, G., Del Razo, L. M. y Cebrián, M. E. *Mutation Research*, 250:477-483, 1991.
- Patterson, R., Vega, L., Trouba, K., Bortner, C. y Germolec, D. Arsenic-induced alterations in the contact hypersensitivity response in Balb/c mice. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 198:434-443, 2004.
- Plowden, J., Renshaw-Hoelscher, M., Engleman, C., Katz, J. y Sambhara, S. Innate immunity in aging: impact on macrophage function. *Aging Cell*, 3:161-167, 2004.
- Rodríguez-Sosa, M., Elizondo, G., López-Durán, R. M., Rivera, I., González, F. J. y Vega, L. Overproduction of IFN- γ and IL-12 in AhR-null mice. *FEBS Letters*, 579:6403-6410, 2005.
- Soto-Peña, G., Luna, A., Acosta-Saavedra, L., Conde, P., López-Carrillo, L., Cebrián, M., Bastida, M., Calderón-Aranda, E. y Vega, L. Assessment of lymphocyte subpopulations and cytokine secretion in children exposed to arsenic. *The FASEB Journal*, 20:779-781, 2006.
- Soto-Peña, G. y Vega, L. Arsenic interferes with the signaling transduction pathway of T cell receptor activation by increasing basal and induced phosphorylation of I κ B and fyn in spleen cells. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2008 (En prensa).
- Styblo, M., Del Razo, L. M., Vega, L., Germolec, D. R., LeCluyse, E. L., Hamilton, G. A., Reed, W., Wang, C., Cullen, W. R. y Thomas, D. J. Comparative toxicity of trivalent and pentavalent inorganic and methylated arsenicals in rat and human cells. *Archives of Toxicology*, 74:289-299, 2000.
- Sweet, L. I. y Zelikoff, J. T. Toxicology and immunotoxicology of mercury: a comparative review in fish and humans. *Journal of Toxicology and Environmental Health B, Critical Reviews*, 4:161-205, 2001.
- Thomas, P. T. Immunotoxicology: hazard identification and risk assessment. *Nutrition Reviews*, 56:131-134, 1998.
- Vega, L. Inmunotoxicología. En: *Toxicología Básica*, Ed. Textos Universitarios, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, pp. 199-217, 2006.
- Vega, L., Montes de Oca, P., Saavedra, R. y Ostrosky-Wegman, P. Helper T cell subpopulations from women are more susceptible to the toxic effect of sodium arsenite in vitro. *Toxicology*, 199:121-128, 2004.
- Vega, L., Ostrosky-Wegman, P., Fortoul, T. I., Díaz, C., Madrid, V. y Saavedra, R. Sodium arsenite reduces proliferation of human activated T-cells by inhibition of the secretion of interleukin-2. *Immunopharmacology and Immunotoxicology*, 21:203-220, 1999.
- Vega, L., Rodríguez-Sosa, M., García-Montalvo, E. A., Del Razo, L. M. y Elizondo, G. Non-optimal levels of dietary selenomethionine alter splenocyte response and modify oxidative stress markers in female mice. *Food and Chemical Toxicology*, 45:1147-1153, 2007.
- Vega, L., Styblo, M., Patterson, R., Cullen, W., Wang, C. y Germolec, D. Differential effects of trivalent and pentavalent arsenicals on cell proliferation and cytokine secretion in normal human epidermal keratinocytes. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 172:225-232, 2001.
- Vega, L., Vázquez, M. I., Rodríguez, M. y Elizondo, G. Resistance to in vitro infection with *Leishmania major* in macrophages from aryl hydrocarbon receptor null mouse. *Toxicology Letters*, 144:35, 2003.

Sobre la construcción de rutas potenciales de instrucción con el uso de un software dinámico

LA APLICACIÓN PERIÓDICA DE DISTINTOS PROGRAMAS DE EVALUACIÓN NACIONALES E INTERNACIONALES HA REVELADO QUE LOS ESTUDIANTES MEXICANOS DE BACHILLERATO Y PRIMARIA TIENEN UN BAJO APROVECHAMIENTO DE MATERIAS COMO MATEMÁTICAS Y CIENCIAS. PARA COMBATIR ESA TENDENCIA, EL USO DEL SOFTWARE DINÁMICO RESULTA IMPORTANTE: PERMITE REPRESENTAR Y EXPLORAR LOS PROBLEMAS MEDIANTE UN MÉTODO INQUISITIVO DE SOLUCIÓN, BASADO EN LA FORMULACIÓN CONSTANTE DE PREGUNTAS, EL ESTABLECIMIENTO DE CONJETURAS Y RELACIONES MATEMÁTICAS, Y LA BÚSQUEDA DE DIVERSAS FORMAS DE JUSTIFICACIÓN DE RESULTADOS.

Hugo Espinosa Pérez y Aarón Reyes Rodríguez

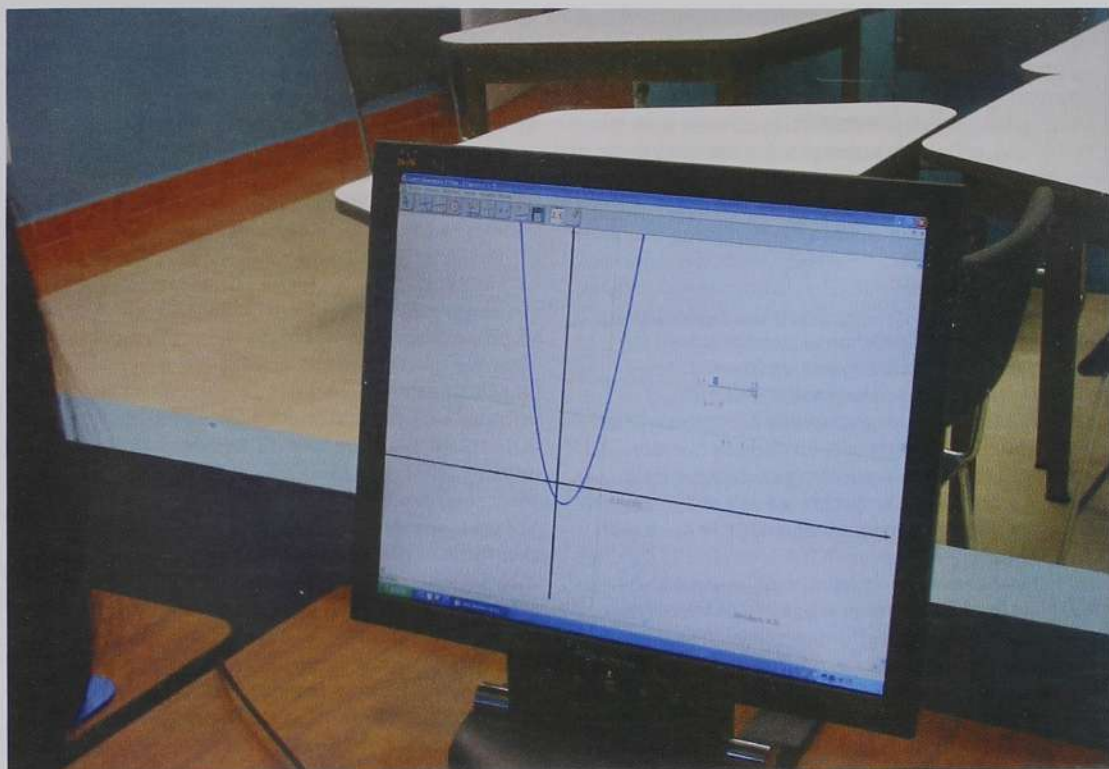
Introducción

La evaluación del conocimiento disciplinario de los estudiantes ha sido un tema de gran interés en el ámbito internacional. El estudio sobre las Tendencias Internacionales en Matemáticas y Ciencias (TIMSS), que se aplica cada cuatro años, documenta los logros en matemáticas y en ciencias de estudiantes de cuarto año de primaria y segundo de secundaria. Por su parte, el Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (PISA), que se realiza cada tres años, provee información acerca del desempeño de los estudiantes de 15 años de edad en las áreas del lenguaje, las matemáticas y las ciencias. Estos programas se sustentan en marcos conceptuales distintos que caracterizan dos visiones de las matemáticas, y definen los contenidos y

formas del pensamiento matemático que determinan las preguntas y problemas del cuestionario. Por ejemplo, TIMSS distingue tres dominios: el conocimiento de hechos, procedimientos y conceptos; la aplicación del conocimiento y la comprensión conceptual, y el razonamiento. El estudio identifica cinco áreas de contenido: números, álgebra, medición, geometría y manejo de datos. A su vez, PISA está organizado alrededor de cuatro ejes fundamentales: cantidad, espacio y forma; cambio y relaciones, e incertidumbre. Destacan en el programa procesos del quehacer matemático tales como el uso del lenguaje, la modelación, la argumentación, la comunicación, la resolución de problemas y el uso de herramientas computacionales. Estos procesos se organizan en tres grupos: reproducción de

AARÓN REYES RODRÍGUEZ Licenciado en Actuarial por la Facultad de Ciencias de la UNAM y maestro en Ciencias por el Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav. Ha sido profesor de matemáticas de la ENP de la UNAM y de la ESIME del IPN y ha impartido cursos en el Programa de Actualización y Formación de Profesores del Colegio de Bachilleres. Es coautor de artículos publicados en revistas internacionales, entre las que destacan *Teaching Mathematics and its Applications*, *Mathematics and Computer Education* y *The International Journal for Technology in Mathematics Education*. Actualmente es estudiante de doctorado del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav y está interesado en conocer cómo el uso de la tecnología puede ayudar a los maestros de matemáticas de bachillerato y a los estudiantes de este nivel a comprender ideas matemáticas, mejorar sus habilidades de resolución de problemas y justificar conjeturas.
aaron.reyes.rdz@gmail.com

HUGO ESPINOSA PÉREZ Se licenció en Matemáticas en la Facultad de Ciencias de la UNAM y obtuvo el grado de maestría en Ciencias en el Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav. Ha sido profesor de matemáticas en diversos niveles educativos y ha impartido cursos en el Programa de Actualización y Formación de Profesores del Colegio de Bachilleres y del CCH de la UNAM. Es coautor de artículos publicados en revistas internacionales, entre las que destacan *Teaching Mathematics and its Applications*, *Mathematics and Computer Education*, *The International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* y *The International Journal for Technology in Mathematics Education*. Actualmente es estudiante de doctorado del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav y está interesado en conocer cómo el uso de un software dinámico puede transformar la enseñanza de la geometría en el bachillerato.
hugoespinosaperez@gmail.com



Configuración dinámica en Cabri.

procedimientos o reglas, conexiones y el grupo de preguntas o problemas de reflexión.

La participación de los estudiantes mexicanos en evaluaciones como PISA y ENLACE¹ muestra que, en general, poseen un conocimiento frágil y exhiben notables limitaciones en las formas de razonar y resolver problemas. La forma de evaluar el conocimiento de los estudiantes influye directamente en las actividades que se promueven en la instrucción matemática. Es común escuchar que muchos maestros preparan a sus estudiantes para aprobar las evaluaciones y organizan la instrucción alrededor de estrategias que pueden resultar exitosas al responder el tipo de preguntas que aparecen en los exámenes; sin embargo, cuando se enfrentan a situaciones o problemas que demandan una reflexión conceptual y aplicación de distintas ideas y representaciones para encontrar la solución, los estudiantes experimentan serias dificultades para resolverlos. Es evidente que crear un ambiente de instrucción, donde los estudiantes tengan oportunidad de desarrollar formas de pensar consistentes con las prácticas del quehacer de las matemáticas, involucra discutir aspectos relacionados con lo que significa aprender la disciplina y la importancia de la resolución de problemas. En este contexto, un ingrediente fundamental en la investigación y en las prácticas de instrucción son las tareas o problemas que pueden ayudar a los estudiantes en la construcción o desarrollo de un

pensamiento matemático. Además, una discusión abierta acerca de las distintas formas de resolver un problema puede ofrecer al maestro la oportunidad de revisar sus propios conocimientos matemáticos y evaluar el potencial de utilizar diversas herramientas en sus prácticas de instrucción.

En este artículo se documentan los procesos de identificación y construcción de rutas potenciales de instrucción que desarrollaron maestros de matemáticas de nivel bachillerato al abordar un problema de optimización con la ayuda de un *software* dinámico. Se intenta responder preguntas como: ¿En qué medida el uso del *software* dinámico puede ayudar a los maestros a representar y explorar propiedades o relaciones entre objetos matemáticos que emergen durante el proceso de solución? ¿Qué formas de razonamiento y caminos de solución de los problemas se favorecen con el empleo de las herramientas tecnológicas? Se observa que el uso del *software* dinámico resulta importante para los maestros porque les permite representar y explorar dinámicamente los problemas, y promueve el desarrollo de un método inquisitivo de solución; es decir, una visión de la resolución de problemas en la que se valora, más que el descubrimiento de una solución, la formulación constante de preguntas, el establecimiento de conjeturas y relaciones matemáticas, así como la búsqueda de diversas formas de justificación de resultados.

Muchos maestros preparan a sus estudiantes para aprobar las evaluaciones y organizan la instrucción alrededor de estrategias que pueden resultar exitosas al responder el tipo de preguntas que aparecen en los exámenes. Sin embargo, cuando los estudiantes se enfrentan a situaciones o problemas que demandan una reflexión conceptual y aplicación de distintas ideas y representaciones para encontrar la solución, experimentan serias dificultades para resolverlos.

Antecedentes

¿Qué formas de representar tareas matemáticas se favorecen con el uso de un *software* dinámico? ¿En qué grado éste puede ser relevante en la identificación y exploración de conjeturas y relaciones matemáticas? ¿En qué medida el uso de herramientas computacionales ayuda a los maestros en la construcción de trayectorias potenciales de instrucción y, como consecuencia, a revisar o ampliar sus conocimientos matemáticos? Se documenta que el desarrollo y la disponibilidad de diversas herramientas computacionales ofrece a los maestros la posibilidad de incrementar su repertorio de estrategias heurísticas para resolver problemas matemáticos y para formular o reconstruir algunas relaciones matemáticas.

...la reinención guiada [de conocimiento matemático] ofrece una forma no convencional del dilema, generalmente percibido, de cómo salvar la distancia existente entre el conocimiento informal y las matemáticas formales (Gravemeijer y Dorman, 1999).

También es importante reconocer que diferentes herramientas pueden ofrecer a los maestros oportunidades distintas de representar y abordar los problemas matemáticos. En ese sentido, resulta relevante mostrar y discutir no sólo el potencial asociado con el uso de diversas herramientas, sino también las formas en que las distintas aproximaciones a los problemas o las tareas pueden relacionarse o complementarse. Por ejemplo, con el uso de *software* dinámico como Cabri Geometry o Sketchpad, algunas tareas pueden representarse dinámicamente como un recurso para identificar y explorar diversas relaciones matemáticas o conjeturas. En esta perspectiva, un principio subyacente que promueve la resolución de problemas en el aprendizaje de las matemáticas consiste en pensar o conceptualizar la disciplina como un conjunto de dilemas que necesitan representarse y explorarse en términos de recursos matemáticos y estrategias. Las tareas o problemas son vistos como oportunidades para proponer y dar seguimiento a preguntas relevantes que pueden conducir a la identificación o reconstrucción y exploración de relaciones matemáticas. En este contexto, los maestros utilizan un *software* dinámico en la construcción de trayectorias potenciales de instrucción que podrían guiar u orientar las formas de desarrollar sus clases. Además, el empleo de la herramienta les ofrece la oportunidad de

representar y explorar las tareas a través de aproximaciones visuales, numéricas, gráficas y algebraicas.

La relevancia de construir trayectorias potenciales de instrucción con el empleo de la tecnología

Una ruta potencial de instrucción se construye a partir de analizar en detalle distintas formas de resolver un problema o actividad matemática. En este proceso se identifican varios caminos de representar el problema (incluyendo el uso de representaciones dinámicas), las diversas estrategias que permiten diseñar y aplicar un plan de solución, varias formas de resolver el problema y la búsqueda de conexiones o extensiones del mismo. En ese contexto, las tareas o problemas son elementos clave para promover y trazar el desarrollo de métodos de resolución de problemas de los estudiantes. Aquí, los maestros necesitan primeramente identificar trayectorias teóricas o potenciales de instrucción para enmarcar y entonces discutir con otros maestros las distintas rutas que sus estudiantes pueden seguir al abordar la tarea.

[...] un objetivo general de investigación en el campo de las trayectorias de aprendizaje es generar conocimiento sobre el aprendizaje y la enseñanza. Entonces, los procesos científicos (por ejemplo, documentar decisiones, razones y condiciones; formular hipótesis sobre mecanismos; predecir eventos y verificar esas predicciones) deben ser seguidas y registradas (Clements y Sarama, 2004:85).

En el proceso de construcción de trayectorias de instrucción, el uso de herramientas computacionales ofrece a maestros y estudiantes diversas oportunidades para representar y reconstruir relaciones matemáticas. En la solución de los problemas, los maestros buscan explícitamente las formas en las cuales el conocimiento matemático es conectado, y discuten lo que constituye un argumento válido para fundamentar relaciones matemáticas. Zbiek, Heid y Blume (2007:1170) sugieren que el uso de las herramientas computacionales en la resolución de problemas favorecen actividades como:

(a) fomentar la inspiración (*insight*) y la intuición, (b) descubrir nuevos patrones y relaciones, (c) representar para exponer principios, (d) probar y especialmente falsificar conjeturas, (e) explorar un posible resultado para ver si amerita una prueba formal, (f) sugerir

campos formales, (g) reemplazar cálculos hechos a mano con el uso de herramientas de cálculo, y (h) confirmar.

La construcción de trayectorias de instrucción se favorece dentro de una comunidad en la que se fomenta un método inquisitivo, y donde los maestros tienen la oportunidad de presentar y discutir sus ideas abiertamente para examinar o explorar conceptos matemáticos o resolver problemas. Así, la comprensión de las ideas matemáticas o los procesos de resolución de problemas son actividades en las cuales los maestros llegan a involucrarse en una reflexión constante, que puede conducirlos a formular un conjunto de relaciones matemáticas y buscar diversas maneras de sustentarlas. Aquí, el uso de las herramientas (*software* dinámico, en este caso) resulta importante para identificar y formular conjeturas matemáticas y, en general, favorecer la aproximación inquisitiva a los problemas (Wells, 2001).

Para ilustrar el proceso de construcción de una trayectoria de instrucción se presenta un problema donde un grupo de maestros explora diversas maneras de resolverlo. Se distinguen diversos episodios que muestran distintas fases del proceso de resolución de la actividad.

El problema

La figura 1 muestra un auto que transita por una carretera. Al lado de la carretera hay un palacio y el conductor busca detenerse para que su amigo (el pasajero) pueda apreciar la fachada del palacio. ¿En qué posición de la carretera debe el conductor detener el auto de tal forma que su amigo pueda tener la mejor vista de la fachada?

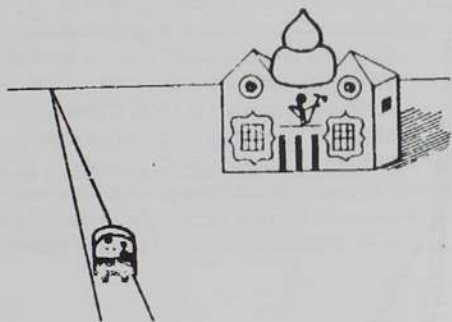


Figura 1. El palacio

Presentación de resultados

Para presentar y discutir lo que los maestros hicieron durante la interacción con la tarea, se distinguen episodios de resolución de problemas: comprender el enunciado de la tarea, pensar en un plan de solución, buscar relaciones matemáticas y validación de resultados, así como establecer conexiones o extensiones del problema. En este proceso se identificaron preguntas relevantes que los participantes propusieron para orientar las diversas aproximaciones mediante las que abordaron la tarea.

Primer episodio: comprender el enunciado del problema

El problema se abordó en una de las sesiones donde los maestros participaron en actividades de resolución de problemas con el empleo de la tecnología. Todos los participantes leyeron el enunciado de la tarea e iniciaron el proceso de identificación de la información relevante relacionada con el enunciado del problema. ¿Cómo es posible identificar que para diferentes posiciones del auto el pasajero tiene diferentes vistas del palacio? ¿Qué significa tener la mejor vista del palacio? ¿Es suficiente considerar la posición del pasajero en la carretera como referencia en lugar del auto para determinar la mejor posición? Estas y otras preguntas se discutieron inicialmente y condujeron a los participantes a construir una representación dinámica del problema. Se observó que la figura 1 los ayudó a visualizar y eventualmente a representar el problema. Por ejemplo, Sofía propuso representar la carretera con una línea recta, al pasajero como un punto sobre la recta y a la base de la fachada del palacio con un segmento de recta (figura 2).

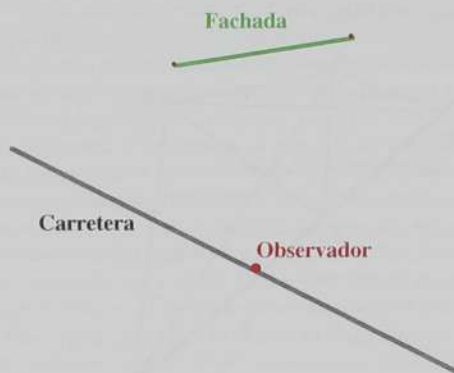


Figura 2. Representación dinámica de la tarea.

¿Por qué puede representarse la fachada del palacio con un segmento? Algunos de los maestros argumentaron que la mejor vista significa comparar ángulos que relacionan el ancho del palacio y el punto que representa al observador. En general, los maestros estuvieron de acuerdo en que la representación del problema propuesta por Sofía incluía toda la información relevante acerca de la tarea. Entonces, situaron el punto sobre diferentes posiciones sobre la recta y midieron los ángulos correspondientes (figura 3). Es importante mencionar que con el objetivo de explicar y reportar lo que ocurre con el ángulo para varias posiciones del punto (el observador), los maestros reconocieron la necesidad de utilizar una forma explícita para denotar los principales objetos inmersos en el problema (puntos, ángulos, líneas y segmentos).

Segundo episodio: elaboración e implementación de un plan

En esta etapa, cuando algunos maestros arrastraron el punto P sobre la recta L, observaron el comportamiento de algunos atributos del triángulo APB (área, perímetro y ángulos). Para ello, midieron esos atributos, y notaron que los perímetros y las áreas de la familia de triángulos no alcanzaban un valor máximo. En particular, Sofia y Jacobo se dieron cuenta de que cuando el punto P era situado en una posición en la que era colineal con los puntos A y B, entonces el ángulo APB medía cero grados; pero cuando el punto se movía a la derecha de la posición donde era colineal la medida del ángulo APB, se incrementaba para algunas posiciones y después el valor del ángulo decrecía. Así, se enfocaron en determinar la posición del punto P sobre la recta L, para la cual el ángulo APB alcanzaba su valor máximo. Mostraron dos formas distintas de identificar el valor máximo del ángulo. En una los maestros visualizaron directamente los números mientras movían el punto P a lo largo de la recta L; y en la otra aproximación construyeron una representación gráfica que involucraba a la distancia AP y el correspondiente valor del ángulo APB (figura 4).

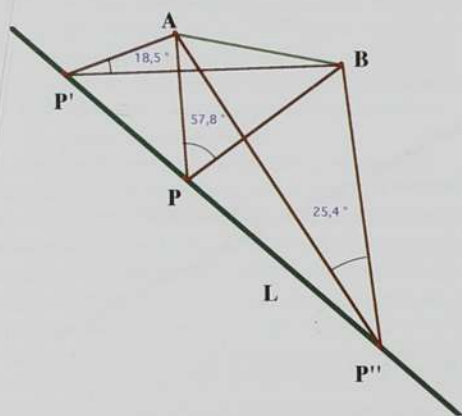


Figura 3. Identificación de varias posiciones del punto P y los ángulos formados con los extremos del segmento AB.

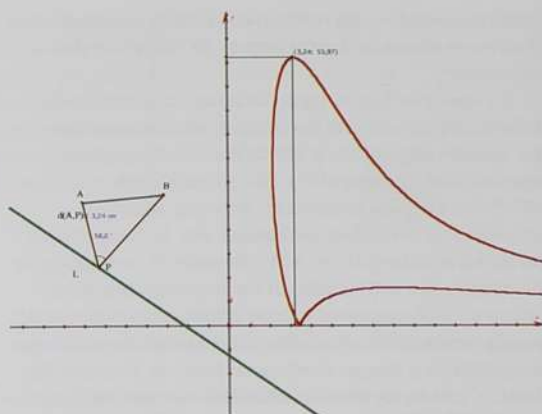


Figura 4. Representación gráfica de la variación del valor del ángulo APB cuando el punto P se mueve sobre la recta L.

Los maestros reconocieron la necesidad de encontrar un argumento algebraico o geométrico para justificar la posición del punto P, donde el ángulo consigue su valor máximo. En este proceso, Daniel y Emilia decidieron dibujar el círculo que pasa por los puntos P, A y B. Basados en esta construcción, notaron que cuando el punto P se mueve sobre la recta L, en algún momento, la circunferencia que pasa por los puntos P, A y B parece ser tangente a la recta L, y que el punto de tangencia se encuentra en la posición donde el ángulo APB alcanza su máximo valor (figura 5).

Con base en esta información, emergió una conjetura. Para identificar el punto donde el ángulo APB alcanza su máximo valor es suficiente dibujar una circunferencia tangente a la recta L que pase por los puntos A y B. Esto es, el punto de tangencia de la circunferencia y la recta L es el lugar en donde el observador consigue la mejor vista del palacio. ¿Cómo se puede construir una circunferencia que pase por los puntos A y B y que sea tangente a la recta L? Emilia propuso esta pregunta al resto de los participantes durante el desarrollo de la sesión. Sofia y Jacobo sugirieron que se podían identificar propiedades relevantes de la circunferencia tangente suponiendo su existencia. Esto es, si la circunferencia tangente existe,

El desarrollo y la disponibilidad de diversas herramientas computacionales ofrece a los maestros la posibilidad de incrementar su repertorio de estrategias heurísticas para resolver problemas y formular o reconstruir algunas relaciones matemáticas. Un principio subyacente que promueve la resolución de problemas en el aprendizaje de las matemáticas consiste en pensar o conceptualizar la disciplina como un conjunto de dilemas que necesitan representarse y explorarse en términos de recursos matemáticos y estrategias.

¿qué propiedades debe tener? Se reconoció que el centro de la circunferencia debe encontrarse sobre la mediatriz del segmento AB y sobre la línea perpendicular a la recta L que pasa por el punto de tangencia. Así, David dibujó una recta perpendicular a la recta L, que pasa por el punto P, y trazó la mediatriz del segmento AP. Esas rectas se intersecan en el punto D. ¿Cuál es el lugar geométrico del punto D cuando el punto P se mueve sobre la línea L? Con el uso del *software* se determinó el lugar geométrico (figura 6). Así, el punto de intersección (C) del lugar geométrico y la mediatriz del segmento AB resultó ser el centro de la circunferencia tangente. Para dibujar la circunferencia, los maestros trazaron la perpendicular del punto C a la recta L y la distancia del punto C a la recta L fue el radio de la circunferencia tangente (figura 6). Durante la sesión se argumentó también que el lugar geométrico del punto D, cuando el punto P se mueve sobre la recta L, es una parábola, ya que el punto D está sobre la mediatriz del segmento AP y se cumple que $d(P,D)$ es igual a $d(D,A)$ (por la definición de mediatriz). Entonces, el foco de la parábola es el punto A y la directriz es la recta L.

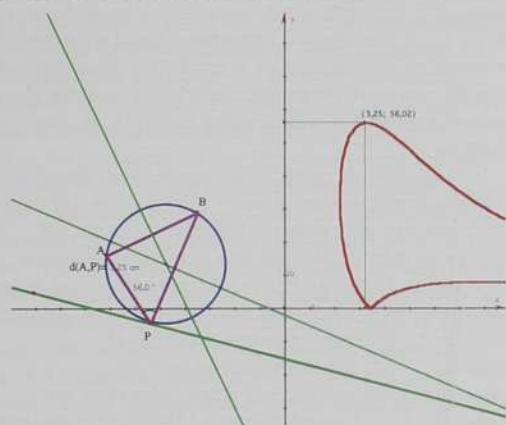


Figura 5. La circunferencia que pasa por los puntos P, A y B parece ser tangente a la recta L cuando el ángulo APB alcanza su valor máximo.

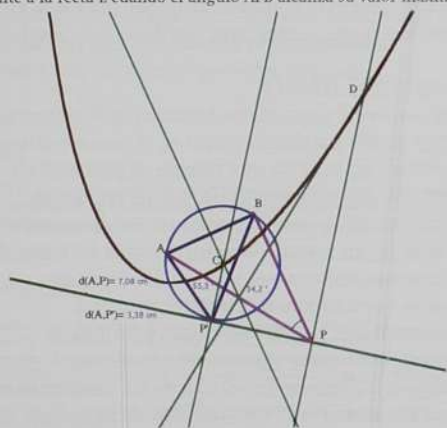


Figura 6. Circunferencia tangente a la recta L que pasa por los puntos A y B.

Sofía y Jacobo construyeron la circunferencia tangente a la recta L que pasa por los puntos A y B dibujando en primer término la mediatriz del segmento AB. Posteriormente, situaron un punto C sobre la mediatriz y dibujaron una circunferencia con centro en el punto C y radio, la longitud del segmento CA. También dibujaron una recta perpendicular a la recta L que pasa por el punto C. Esta perpendicular y la circunferencia se intersecan en el punto D. ¿Cuál es el lugar geométrico del punto D cuando el punto C se mueve sobre la mediatriz del segmento AB? Nuevamente, el uso del *software* mostró que este lugar geométrico era la rama de una hipérbola. El lugar geométrico (la rama de la hipérbola) interseca la recta L en el punto P. La recta perpendicular a L, que pasa por el punto P, interseca a la mediatriz del segmento AB en el punto C'. Así, para dibujar la circunferencia tangente a L que pasa por los puntos A y B, fue suficiente dibujar la circunferencia con centro en el punto C' y radio $d(C', P)$ (figura 7).

Tercer episodio: validación de la solución

En el desarrollo de la sesión, los maestros reconocieron que el problema de encontrar la mejor vista de la fachada se redujo a construir la circunferencia tangente a la recta L que pasa por dos puntos dados; sin embargo, fue importante proporcionar un argumento matemático para validar que el punto de tangencia era la posición en donde el ángulo alcanza su valor máximo. Para presentar el argumento se basaron en la figura 8: los puntos M y N son los puntos de intersección de la mediatriz del segmento AB y las circunferencias que pasan por los puntos A, B, D y A, B, P', respectivamente. Así, comparar los valores del ángulo ADB y el ángulo AP'B es lo mismo que comparar los ángulos AMB y ANB. Esto es porque el ángulo ADB es congruente con el ángulo AMB y el ángulo ANB es congruente con el ángulo AP'B. Se observa también que cuando $d(A,N)$ es mayor que $d(A,M)$, entonces el valor del ángulo ANB es menor que el valor del ángulo AMB. Entonces, el ángulo que se forma con los extremos del segmento AB y el punto de tangencia de la circunferencia es el ángulo con el valor máximo.

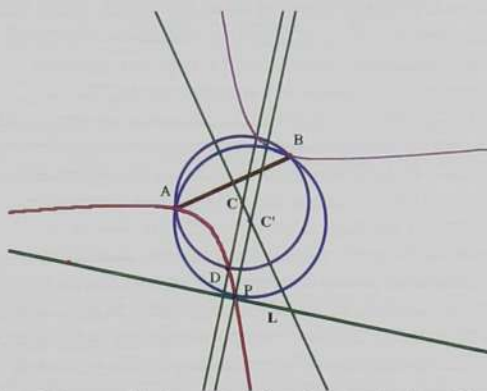


Figura 7. Construcción de una circunferencia tangente a la recta L que pasa por los puntos A y B con el uso de una hipérbola.

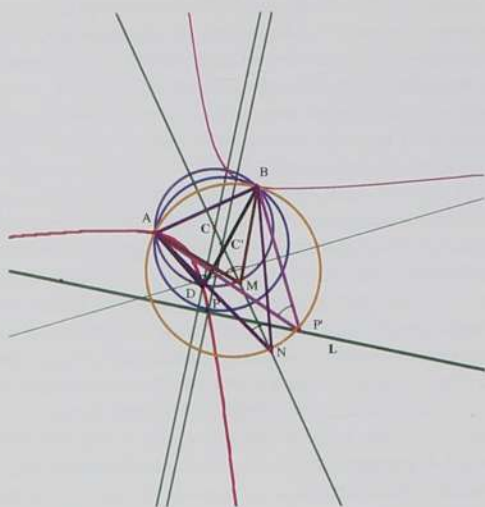


Figura 8. Esquema que muestra la posición en que el ángulo APB alcanza su valor máximo.

Posteriormente se discutió la aproximación geométrica del problema y se contrastó con un acercamiento analítico que involucra encontrar ecuaciones de rectas, ángulos entre rectas y el máximo de una función, con el apoyo de una calculadora simbólica.

Reflexión

Hay evidencia de que el uso de la herramienta ayudó a los participantes a construir inicialmente una representación dinámica de la tarea. Así, el mover un punto (P) sobre una recta (la carretera) los condujo a identificar y relacionar la "mejor vista" con el ángulo formado entre los extremos de un segmento (la fachada del palacio) y ese punto. ¿Cómo se puede medir el ángulo para distintas posiciones del punto P? ¿Cómo se puede identificar el ángulo con el valor más grande? Los maestros utilizaron el software a fin de medir el ángulo para varias posiciones del punto P y observaron que había una posición donde el valor del ángulo era el más grande. Esto es, los acercamientos visuales y empíricos fueron importantes para pensar y explorar distintas maneras de representar la variación del ángulo. La solución gráfica involucró una aproximación funcional en la cual el uso de un sistema cartesiano los ayudó a relacionar la distancia entre uno de los extremos del segmento (AB, la fachada del palacio) y el observador, y la magnitud del ángulo correspondiente. Así, la aproximación gráfica fue relevante para identificar visualmente el punto donde el ángulo alcanza su valor máximo. Además, mover el punto P sobre la recta ayudó a los maestros a observar comportamientos particulares de otros objetos (circunferencias, segmentos y puntos) dentro de la representación. Por ejemplo, observaron

que la circunferencia que pasa por los tres puntos (A, B y P) es tangente a la recta L cuando el ángulo APB alcanza su valor máximo. Así, la solución de la tarea se redujo a dibujar una circunferencia tangente a la recta y el punto de tangencia fue el punto deseado. Nuevamente, el análisis de las propiedades relevantes de la posible solución los condujo a construir la mediatriz del segmento AB y la línea perpendicular a L que pasa por el punto P. El lugar geométrico del punto de intersección de esas rectas, cuando P se mueve sobre la recta L, generó una parábola. En este acercamiento, la parábola fue la clave para encontrar la solución de la tarea. Los maestros se sorprendieron de que una cónica fuera usada para encontrar el punto donde el observador puede obtener la mejor vista de la fachada del palacio. También reconocieron que la presentación dinámica del problema fue central para identificar dos resultados matemáticos: (a) dada una recta L y un segmento AB que no es paralelo a la recta L, entonces existe un punto P' sobre la recta tal que la circunferencia que pasa por los puntos A, B y P' es tangente a la recta L. En este caso, el ángulo AP'B es el ángulo con el máximo valor, (b) dada una recta L, un punto P sobre esa recta y un segmento AB que no es paralelo a L, entonces el lugar geométrico del punto de intersección de la mediatriz del segmento AP (o PB) y la recta perpendicular a L que pasa por el punto P, cuando P se mueve sobre la recta L, es una parábola.

Los episodios de resolución de problemas descritos en este artículo, proporcionaron información útil para identificar una ruta potencial mediante el cual los estudiantes pueden abordar una la tarea matemática con el uso de la herramienta. Así, la construcción de la representación dinámica, la cuantificación de atributos (medida de segmentos, ángulos, etcétera), la identificación de lugares geométricos o las representaciones gráficas son actividades clave que pueden ayudar a los estudiantes a identificar y explorar propiedades matemáticas interesantes. Además, el uso de las herramientas también puede ser relevante en la búsqueda de argumentos para justificar esos resultados.

Comentarios finales

¿Cómo construir trayectorias hipotéticas de aprendizaje? ¿Quiénes deben participar y cuál es el proceso alrededor de esa construcción? En este trabajo se presentó un ejemplo que ilustra cómo el uso de herramientas computacionales puede fomentar en los maestros el desarrollo de un método inquisitivo en la solución de los problemas, mismo que les permite formular preguntas constantemente, utilizar distintas representaciones, buscar relaciones y formas de sustentarlas, así como comunicar resultados.

Existe evidencia de que el uso de las herramientas ofrece a los maestros la oportunidad de participar en un proceso de búsqueda que puede guiarlos en la

Un aspecto relevante del software dinámico es que las relaciones funcionales del problema pueden prescindir de una representación algebraica inicial, ya que se pueden representar gráficamente con la ayuda del *software*. La representación gráfica demanda que el estudiante ubique el dominio apropiado para identificar las propiedades relevantes del problema (raíces, máximo o mínimo, etcétera); la facilidad que tiene para realizar las operaciones le permite centrar la atención en el significado de los resultados.

reconstrucción o el descubrimiento de relaciones matemáticas y formas de sustentarlas. Además, les puede permitir pensar y abordar los problemas desde perspectivas distintas y complementarlas (Santos-Trigo, 2007b).

Cada herramienta induce en los estudiantes distintas formas de pensar el problema y el empleo de varias de estas herramientas les permitirá no sólo complementar los métodos de solución, sino también, contrastar el potencial de las herramientas en la representación y búsqueda de relaciones. Por ejemplo, el uso del *software* dinámico resulta importante en la representación inicial del problema, ya que ésta se construye con base en el análisis de las propiedades matemáticas de los objetos asociados con el problema. Las representaciones dinámicas ayudan al maestro visualizar el problema, identificar y explorar algunas relaciones que resulten al mover elementos dentro de la propia representación del problema. Además, es fácil cuantificar atributos como longitudes, perímetros, áreas, pendientes, medidas de ángulos y observar cómo estos atributos cambian cuando ciertos objetos se mueven en la representación del problema.

Un aspecto relevante del acercamiento con el uso del *software* dinámico es que las relaciones funcionales del problema no requieren de una representación algebraica inicial, puesto que éstas se pueden

representar gráficamente con la ayuda del *software*. La representación gráfica demanda que el estudiante ubique el dominio apropiado para identificar las propiedades relevantes del problema (raíces, máximo o mínimo, etcétera); así, la facilidad que tiene para realizar las operaciones le permite centrar la atención en el significado de los resultados.

De manera general, los rasgos que se muestran en los distintos episodios en la resolución del problema esbozan elementos de un marco inquisitivo donde se resalta la importancia de que los profesores y estudiantes problematizen su aprendizaje. Es decir, que formulen preguntas, que utilicen distintas representaciones, formulen conjeturas y relaciones y, con el uso de distintas herramientas, exploren y sustenten sus resultados con argumentos que incluyan aspectos visuales y empíricos y acercamientos formales (Santos-Trigo, 2007a).

Finalmente, la construcción de trayectorias de aprendizaje representa una actividad a partir de la cual los maestros pueden reconocer el potencial y las limitaciones asociadas con el uso de las herramientas para representar y explorar relaciones. Además, la utilización de las herramientas puede promover la discusión de los contenidos matemáticos en términos de identificar rutas que orienten a los estudiantes en la comprensión y aplicación del contenido matemático. ●

[Notas]

¹ ENLACE es el programa conocido como "Evaluación Nacional del Logro Académico en Centros Escolares", que la Secretaría de Educación Pública está utilizando para evaluar el rendimiento académico de los estudiantes en educación básica.

[Referencias]

- [1] Clement, D. H. y Sarama, J., 2004, "Learning trajectories in mathematics education", *Mathematical thinking and learning*, vol. 6(2), pp. 81-89.
- [2] Gravemeijer, K. y Doorman, M., 1999, "Context problems in realistic mathematics education: A calculus course as an example", *Educational Studies in Mathematics*, vol. 39(1-3), pp. 110-128.
- [3] Santos-Trigo, M., *La resolución de problemas matemáticos. Fundamentos cognitivos*, México, Trillas, 2007a.
- [4] Santos-Trigo, M., 2007b, "Mathematical problem solving: An evolving research and practice domain", *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, vol. 39, pp. 523-536.
- [5] Simon, M. y Tzur, R., 2004, "Explicating the role of mathematical tasks in conceptual learning: An elaboration of the hypothetical learning trajectory", *Mathematical Thinking and Learning*, vol. 6(2), pp. 91-104.
- [6] Wells, G. (ed.), *Action Talk & Text. Learning & teaching through inquiry*, Nueva York, Teachers College Press, 2001.
- [7] Zbiek, R.M., Heid, M.K. y Blume, G.W. (2007). Research on technology in mathematics education. En F.K. Lester, Jr. (Ed.), *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 1169-1207). National Council of Teachers of Mathematics. Charlotte, NC: Information Age Publishing.

Reconocimientos

Agradecemos el apoyo recibido de Conacyt, mediante el proyecto con referencia #47850 que involucra el uso de herramientas computacionales en la resolución de problemas matemáticos.

Un megaproyecto de divulgación científica

CON EL PROYECTO INTEGRAL PARA LA DIVULGACIÓN Y DIFUSIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS Y LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS, INVESTIGADORES DEL CINVESTAV RESPONDEN A LA CONVOCATORIA DE MEGAPROYECTOS, EMITIDA POR CONACYT EN 2006. SE PRETENDE PRODUCIR UN GRAN IMPACTO EN MATERIA DE COMUNICACIÓN Y FORMACIÓN CIENTÍFICA A NIVEL NACIONAL.

Angelina Flores Parra

El Proyecto Integral para la Divulgación y Difusión de los Conocimientos Científicos y Tecnológicos y la Educación en Ciencias se presentó en respuesta a la convocatoria de Conacyt-2006 de megaproyectos. Actualmente, este proyecto forma parte de la red temática "Complejidad, Ciencia y Sociedad", fomentada por la misma institución.

Para llevar a cabo este megaproyecto se ha formado un grupo interdisciplinario con 33 investigadores de diferentes áreas e interesados en el tema, que ayudarán a coordinar las tareas, y se tiene planeado que el grupo crezca significativamente. Es importante señalar que las dimensiones del proyecto necesariamente involucran la participación de un mayor número de académicos y estudiantes de doctorado para fortalecer las actividades de difusión y divulgación. Además, dada la intensa colaboración del Cinvestav con prácticamente todas las instituciones educativas y de investigación del país, así como el alcance de la tarea que se propone en este proyecto, la participación y colaboración de investigadores de otras instituciones vendrán a ampliar y consolidar este proyecto educativo.

Resumen

Este proyecto plantea la organización de investigadores para realizar actividades de enseñanza de las ciencias y tecnologías y de difusión y divulgación de los conocimientos científicos. El grupo estará integrado por los miembros de la comunidad académica del Cinvestav; las acciones serán coordinadas directamente por investigadores y tendrán la participación de estudiantes de posgrado y personal de apoyo.

El proyecto propone la creación de una infraestructura institucional que permita ofrecer, a grupos de jóvenes y maestros de todos los niveles del sistema de educativo mexicano, espacios y actividades para reforzar y ampliar sus conocimientos sobre las ciencias e ingenierías, consolidar sus conocimientos escolares, apreciar el trabajo intelectual y el valor del conocimiento, y recibir orientación vocacional.

El Cinvestav es una institución comprometida con la investigación y la enseñanza de posgrado de alta calidad. Su comunidad está constituida por más de quinientos grupos de investigación que producen conocimientos de frontera del más alto nivel internacional y desarrollan

ANGELINA FLORES PARRA Profesora titular 3C en el Departamento de Química del Cinvestav y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II). Hizo el doctorado Ciencias físico-químicas en la Universidad de París Sud, Centre D'Orsay (Francia). Los temas de investigación que

desarrolla son la química heterocíclica y de coordinación, por el interés que tiene en la síntesis orgánica, síntesis asimétrica y el estudio estructural de nuevos ligantes heterociclos saturados.

aflores@cinvestav.mx

Con el megaproyecto se propone la creación de una infraestructura institucional que permita ofrecer, a grupos de jóvenes y maestros de todos los niveles del sistema de educativo mexicano, espacios y actividades para ampliar sus conocimientos sobre las ciencias e ingenierías y recibir orientación vocacional.



Reconstrucción de instrumento musical en la exposición "Leonardo Da Vinci y la música", Antiguo Colegio de San Ildefonso.

tecnologías avanzadas con las mismas características. Actualmente, la institución realiza una serie de actividades relacionadas con la difusión y la divulgación de las ciencias y tecnologías, que se ofrecen por el interés propio de algunos investigadores. Sin embargo, hasta este momento dichas actividades no han estado organizadas en un sistema institucional estructurado que permita facilitarlas y promoverlas con objeto de que los jóvenes y niños mexicanos y sus maestros se beneficien de la existencia de los grupos de investigadores que trabajan en sus regiones.

Un proyecto de este tipo resulta importante para el país en estos tiempos en los que la competitividad económica depende del desarrollo científico y

tecnológico, y la construcción de nuestro entorno social requiere de mexicanos mejor preparados cultural y científicamente, comprometidos con la preservación del medio ambiente y con el desarrollo de industrias y de bienes de alta calidad, que aseguren un futuro mejor.

Los retos que enfrenta el país en materia de ciencia y educación hacen apremiante la incorporación de instituciones de educación superior para apoyar, reforzar y consolidar la educación en las ciencias. Estas instituciones son las únicas que pueden lograr un verdadero impacto en los primeros niveles educativos y lograr la motivación de niños y jóvenes para realizar carreras científicas, tecnológicas o de ingeniería, y reforzar así el número de expertos en los que México

Los investigadores plantean la organización de actividades científicas a gran escala: redacción de libros y manuales, preparación de audiovisuales, oferta de cursos, talleres y clubes de ciencias; desarrollo y demostración de experimentos escolares; elaboración de *software* educativo; establecimiento de centros de enseñanza, difusión y divulgación de las ciencias y la tecnología con laboratorios permanentes y móviles; creación de zonas de invernaderos y jardines botánicos; exhibiciones permanentes e itinerantes de prototipos tecnológicos y museos.

puede basar su desarrollo económico. Este esfuerzo estará también dirigido a fortalecer el esfuerzo institucional para la formación de profesionales de la educación en ciencias.

El proyecto plantea la organización de una serie de actividades, tareas y servicios como son: redacción de libros y manuales, preparación de audiovisuales, oferta de cursos y conferencias; desarrollo de prácticas experimentales para el aula o los laboratorios escolares; elaboración de *software* educativo, demostraciones de experimentos, talleres de biología, química, física, matemáticas y electrónica; clubes de ciencias, exhibiciones permanentes e itinerantes de prototipos tecnológicos, etcétera. Todas las actividades descritas están planeadas para ser impartidas por miembros de la comunidad científica, profesores, investigadores asistentes, estudiantes y personal de apoyo expresamente contratados.

Se propone además, el establecimiento de centros de enseñanza, difusión y divulgación de las ciencias y la tecnología, con laboratorios permanentes y móviles, integrados en cada una de los *campi* del Cinvestav para realizar en forma sistemática actividades que impulsen y fomenten la cultura científica en los niños y jóvenes y en sus maestros. Igualmente, se plantea la creación de dos zonas de invernaderos, dos jardines botánicos y dos museos, uno de minerales y otro de corales y moluscos, y un laboratorio para hacer experimentos con interfaces hápticas.

La comunidad científica del Cinvestav busca con esta serie de actividades cumplir con su compromiso social de coadyuvar a mejorar el conocimiento de los mexicanos en los temas científicos y tecnológicos.

Nuestra motivación es la ciencia y la educación científica

Los retos que enfrenta el país en materia de ciencia y educación hacen apremiante la incorporación de instituciones de educación superior en todos los niveles de enseñanza, así como en la formación de profesionales de la educación en ciencias.

La educación científica juega un papel determinante en la calidad de vida de los ciudadanos. La educación formal, la difusión y la divulgación pueden incrementar

la cultura científica, hacerla parte integral de la vida cotidiana y convertirla en proyecto de vida para los jóvenes con vocación.

Vivimos en una época de cambios que nos enfrenta constantemente a nuevos conocimientos, tecnologías y fuentes de trabajo. Por lo tanto, es necesario que en todos los niveles educativos se favorezca el desarrollo de nuevos enfoques y metodologías flexibles de enseñanza, que permitan a los estudiantes abordar y resolver los problemas del mundo moderno. Es claro que una sociedad bien informada y con conocimientos básicos acerca de los asuntos científicos será capaz de evitar la influencia nociva que los medios masivos de comunicación producen al propagar mensajes acerca de magia, brujería, talismanes, medicamentos milagrosos, etcétera. Estos mensajes, junto con corrientes de pensamientos basados en falsos conocimientos científicos, confunden a la población que no ha recibido una buena educación en ciencias y le impiden adoptar una actitud escéptica, crítica y de defensa de su salud e integridad.

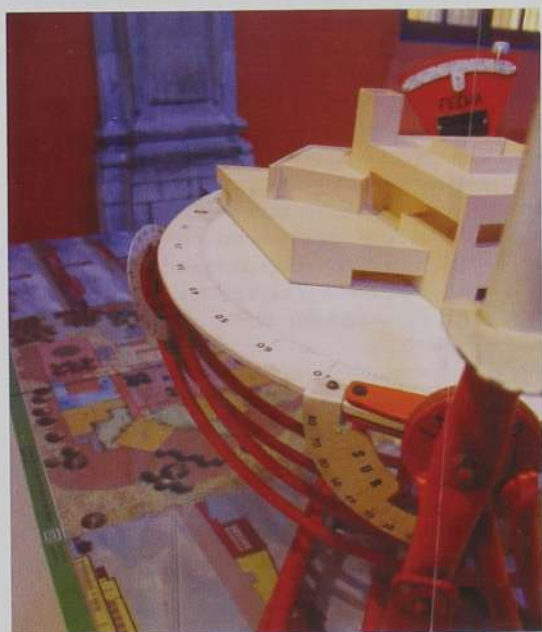
Una educación para los primeros niveles que promueva una verdadera formación científica razonable y adaptada a la edad de los educandos, puede permitirles una mejor calidad de vida y una mejor actitud acerca de la preservación del medio ambiente en las diversas regiones de México.

Las instituciones en las que se realiza investigación científica y/o tecnológica, han pasado a ser una creciente fuente de nuevos conocimientos. La divulgación de sus actividades debe llegar a la sociedad, puesto que los conocimientos fortalecen la curiosidad, la creatividad, la imaginación y la autonomía de las personas. También fomentan el interés de los ciudadanos, muchos de ellos en tareas de liderazgo económico, industrial o gubernamental, para cuidar, fortalecer y utilizar los centros de educación y de investigación, una vez convencidos de su utilidad y su papel para el desarrollo tecnológico, económico, cultural y social.

En el ámbito internacional, diversas instituciones reconocen la importancia de establecer programas que permitan a los científicos comunicar sus ideas e interactuar directamente con jóvenes y la sociedad en su conjunto. Por ejemplo, la Institución Real de Gran Bretaña



Conferencia "El clima espacial" impartida por M. en C. Guadalupe Muñoz Martínez en el "Papalote", Museo del Niño.



Montea solar en instalación Legorreta + Legorreta, Antiguo Colegio de San Ildefonso.



Soluciones acuosas base Cu. Laboratorio de Física Avanzada, Escuela Superior de Física Matemática.

Recientemente, en Cinvestav-Monterrey se abrió el posgrado en Educación en Ciencias. Con ello se espera contribuir directamente a la formación de recursos humanos y a la búsqueda de conocimientos y estrategias que promuevan el aprendizaje de las ciencias de los estudiantes. La nueva sede contará con el Centro de Divulgación y Difusión Científica, destinado al entrenamiento de un mayor número de profesionistas dedicados a la enseñanza, difusión y divulgación.

(<http://www.rigb.org/rimain/events/christmaslectures.jsp>) desarrolla una serie de conferencias para jóvenes, con la participación de distinguidos científicos que presentan temas relevantes de las ciencias en forma amena y accesible. Estas conferencias, iniciadas en 1826 por Michael Faraday, quien fue director de la Institución Real, continúan presentándose todos los años cada 25 de diciembre y se conocen como las Conferencias de Navidad. Los temas que se han abordado incluyen áreas de la física, química, astronomía, filosofía, botánica, zoología y matemáticas. Además de Faraday, han participado personalidades tales como John Wallis (astronomía), John Ambrose Fleming (ondas eléctricas y telefonía inalámbrica), Desmond Morris (comportamiento animal), Carl Sagan (astrofísica) y Ian Stewart (matemáticas), entre muchos otros científicos distinguidos. Las Conferencias de Navidad han inspirado otros programas de divulgación de la ciencias en instituciones como la universidad estadounidense Rutgers, en su Departamento de Física y Astronomía (<http://www.physics.rutgers.edu/~croft/faraday.html>), y a la universidad canadiense Columbia Británica (<http://www.physics.ubc.ca/outreach/web/faraday/faraday.php>), que ofrecen a niños y jóvenes conferencias y actividades en las cuales interactúan directamente con científicos notables.

En general, las universidades en Estados Unidos y Canadá cuentan con un programa sobre la divulgación de la ciencia (*Education and Outreach*), cuyo compromiso es informar sobre los avances de la ciencia a un público amplio y motivar a los jóvenes al estudio de las ciencias. En este tipo de actividades se desea mostrar el conocimiento y resultados que se obtienen de los distintos proyectos financiados con recursos públicos. Además de conferencias, lecturas, exposiciones, experimentos y juegos de ciencias, también se realizan concursos o competencias como las olimpiadas de matemáticas y ciencias.

Ya existen antecedentes

Diversas instituciones educativas de nivel superior en México han asumido el compromiso de fortalecer la enseñanza de las ciencias en los niveles básicos. Cinvestav no es ajeno a este compromiso y, por esa razón, en este proyecto se hacen propuestas concretas para que la institución contribuya a la promoción y

mejoramiento de la educación científica y tecnológica de las regiones donde tiene presencia. El punto de partida es utilizar su infraestructura para desarrollar una serie de actividades académicas que directamente fomenten el estudio de las ciencias y la tecnología en la sociedad. Este enorme reto requiere de un gran esfuerzo permanente y una importante inversión.

Considerando que la función central del Cinvestav es la generación de conocimientos y formación de líderes científicos, este proyecto propone la participación de gran parte de su comunidad, formada por más de quinientos grupos de investigación, en tareas de difusión, divulgación y de educación de las ciencias, en las áreas de las ciencias exactas, naturales, tecnológicas, de ingenierías, matemáticas y educación.

Además, la propuesta está encaminada a fomentar en los estudiantes de doctorado y maestría el interés por participar en las actividades de difusión durante su formación académica y, después, en su vida profesional. Estos ejercicios también beneficiarán a los estudiantes de posgrado, pues representan magníficas oportunidades para que desarrollen estrategias y experiencias de comunicación con diferentes comunidades, desde las científicas hasta aquellas que involucran a los ciudadanos en general.

A pesar de que en el país se registran algunos esfuerzos de formación y actualización de profesores en estos temas, se ha visto recientemente, y con desconcierto, que en lugar de que se fomenten y se amplíen estas actividades tan importantes y necesarias, muchos valiosísimos esfuerzos de otras instituciones y asociaciones se han extinguido o minimizado.

Preocupada por esta situación, recientemente, la comunidad del Cinvestav ha implementado un nuevo posgrado en Educación en Ciencias, en la ciudad de Monterrey. Se espera contribuir directamente a la formación de recursos humanos y a la búsqueda de conocimientos y estrategias que promuevan el aprendizaje de las ciencias de los estudiantes. La nueva sede establecerá un Centro de Divulgación y Difusión Científica para el entrenamiento de un mayor número de profesionistas dedicados a la enseñanza, difusión y divulgación. Otros esfuerzos importantes se desarrollan actualmente en el Cinvestav Zacatenco, donde se ha echado a andar una maestría en Educación (especialidad Matemáticas) para profesores de educación básica, que



Modelo sólido de la doble hélice del ADN, "Papalote", Museo del Niño.



Representación de fragmentos de *Don Quijote*, Feria Internacional el Libro, Instituto Politécnico Nacional.

buscan actualizar sus conocimientos y mejorar la práctica inmediata en sus salones de clase (preescolar, primaria, secundaria) (www.matedu.cinvestav.mx/maestriaedu/). Otra experiencia de más de cuatro décadas es el trabajo de los Departamentos de Investigaciones Educativas y de Matemática Educativa; los libros que elaboran se reproducen por millones de ejemplares cada año, contribuyendo así, valiosamente, al mejoramiento de la educación en el nivel básico.

En la actualidad, se han llevado a cabo varias acciones fundamentales para la difusión y divulgación. Por ejemplo, con la revista *Cinvestav*¹ se busca tener un nuevo y mayor impacto en los grupos de estudiantes de preparatoria y universitarios. La generación de materiales didácticos, como libros de texto,² desarrollo de *software*, conferencias,³ videos,⁴ material de actualización y apoyo a profesores de secundaria⁵ son, entre otras actividades, comunes en el Cinvestav.

Este proyecto propone, por lo tanto, buscar el apoyo financiero externo al Cinvestav, para aumentar considerablemente estas actividades y aprovechar el patrimonio en recursos humanos del mayor nivel calificado, que constituye el Cinvestav, para expandir y consolidar éstas y nuevas actividades en el territorio nacional.

Propósitos principales

- Impulsar la enseñanza de las ciencias y la tecnología en todos los niveles educativos.

- Motivar a alumnos y maestros para adquirir mayores conocimientos científicos y tecnológicos.
- Ampliar los espacios disponibles para que los niños, jóvenes y adultos realicen actividades lúdicas, de aprendizaje y de entrenamiento en relación a las ciencias y las tecnologías.
- Integrar los diferentes *campi* del Cinvestav entre los lugares de esparcimiento de la comunidad para que, además de hacer visitas entretenidas, los visitantes puedan adquirir una cultura científico-tecnológica y de compromiso con la educación y la preservación de la naturaleza.
- Divulgar resultados de la investigación científica y el desarrollo tecnológico entre la población en general.
- Difundir el trabajo científico y el desarrollo tecnológico entre la comunidad de jóvenes universitarios.
- Fomentar la utilización de los desarrollos tecnológicos entre los empresarios y pequeños productores de las regiones en donde se encuentra el Cinvestav.
- Impulsar la formación de una cultura científica de los mexicanos.

Dada la importante e intensa colaboración de los investigadores del Cinvestav con sus colegas de otras instituciones del país y del extranjero, es claro que a este proyecto se sumarán muy pronto grupos de investigadores de otras instituciones, que comparten la misma preocupación y están dispuestos a involucrarse en estas tareas de difusión y divulgación. ●

[Notas]

¹ www.cinvestav.mx/revistacinvestav/index.html.

² Serie de Textos Cinvestav: "Ejemplos prácticos de uso de la RMN en la Química".

³ Ciclos de conferencias "La Tecnología y la Ciencia desde el Cinvestav". En el año escolar 2005-2006 se ofrecieron 49 conferencias para alrededor de 12 mil alumnos de 90 escuelas secundarias del Distrito Federal y numerosas escuelas de las cuatro regiones del Estado de Coahuila (Torreón, Nueva Rosita, Monclova y Saltillo). En el año escolar 2006-2007 se ofrecieron 21 conferencias con una asistencia de 8 mil jóvenes. En el mismo periodo se llevaron a cabo otras conferencias bimensuales en

el estado de Nuevo León, mismas que han sido dictadas a profesores en activo y a los estudiantes de la Normal Superior "Moisés Sáenz", con una asistencia de 120 participantes en cada conferencia (un total de 1 080).

⁴ Página web Casa del Cinvestav (www.cinvestav.mx).

⁵ En Monterrey, previamente a cada conferencia se entrega el discurso por escrito y en discos compactos; en la ciudad de México se imprime un libro guía de las conferencias para estudiantes y profesores.

Fenómenos de transporte en semiconductores

DE: YURI G. GURIEVICH
FELIPE PÉREZ RODRÍGUEZ

Julio Mendoza Álvarez

A partir de la invención del transistor en los laboratorios Bell, hace ya casi 60 años, los semiconductores han revolucionado todos los campos de la vida humana; y han sido los responsables de la mayor revolución tecnológica que la humanidad ha conocido. Actualmente no podemos concebir el desarrollo tecnológico sin la presencia de estos materiales en prácticamente todo tipo de dispositivos. Los encontramos en las computadoras, en los sistemas de comunicaciones ópticas, en los reproductores de CD's y DVD's, en los automóviles, en los teléfonos celulares, etc. Baste decir que el mercado mundial actual de los semiconductores es superior a los 300 mil millones de dólares.

Desde sus primeros desarrollos con el primer transistor de germanio, y posteriormente los diodos de silicio, la propiedad fundamental que hizo viable las aplicaciones de los semiconductores para dispositivos electrónicos fue la posibilidad de controlar, con una gran precisión, la conductividad eléctrica de estos materiales por medio de la impurificación selectiva y con muy elevada precisión, con átomos ajenos a la matriz original del semiconductor. Así, se puede variar en 6 ó 7 órdenes de magnitud la conductividad eléctrica del material controlando la impurificación de semiconductores tales como el silicio, el arseniuro de galio, o el telururo de cadmio, por mencionar sólo unos pocos.

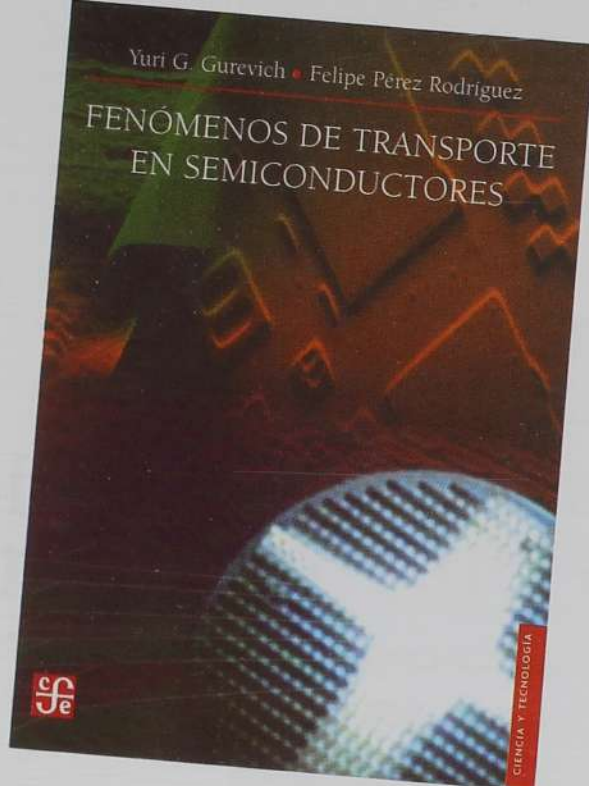
Se entiende, entonces, que los procesos de conducción de los portadores de carga dentro del semiconductor son una parte esencial en el entendimiento de cómo funcionan estos materiales, y en sus propiedades directamente ligadas al funcionamiento de los dispositivos electrónicos y optoelectrónicos fabricados con dichos semiconductores. De ahí que el tema de libro de Gurievich y Pérez-Rodríguez sobre los fenómenos de transporte en semiconductores (editado en 2007 por Fondo de Cultura Económica) sea de una gran relevancia tanto para el entendimiento de la física básica involucrada como para la comprensión de dichos fenómenos al nivel más detallado posible para su aplicación en el desarrollo de nuevos dispositivos.

Los autores comentan la escasez de libros en el idioma español que traten sobre este tema fundamental del transporte en semiconductores, y la necesidad de contar con este tipo de textos en la región hispanoamericana, donde existe, desde hace ya varios años, un incremento de los estudios en ese campo, tanto a nivel de formación de maestros y doctores en ciencia como a nivel de investigaciones básicas y aplicadas, que los investigadores de la región publican en las más prestigias revistas de circulación internacional.

El libro que nos presentan Gurievich y Pérez-Rodríguez destaca por su cuidadosa presentación de todos los

JULIO MENDOZA ÁLVAREZ Licenciado en Física y Matemáticas por la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional. Obtuvo su maestría en Ciencias en la especialidad de Física en el Departamento de Física del Cinvestav y su doctorado en Ciencias en la Universidad Estadual de Campinas (Brasil). Es profesor titular en el Departamento de Física del Cinvestav desde 1980. Ha sido profesor invitado en la Universidad de Princeton, la Universidad de California en Santa Bárbara, la Unicamp en Campinas, Brasil y la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro. Ha publicado más de 130

artículos en revistas referenciadas de circulación internacional. Obtuvo el Premio de la Academia Mexicana de Ciencias en el área de Ciencias Exactas en 1991 y el Premio a la investigación de la Sociedad Mexicana de Ciencias de Superficies y de Vacío. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (nivel III) desde 1999, y actualmente es miembro del Comité Evaluador del SNI en el área 1. Fue secretario académico del Cinvestav en el periodo 1991-1994 y coordinador adjunto de Investigación y Planeación del IPN en el periodo 1999-2000. jmendoza@fis.cinvestav.mx



fenómenos que acontecen cuando los portadores de carga, ya sean electrones o huecos, se transportan dentro de un semiconductor. Los portadores de carga pueden interactuar con la red cristalina que forman los átomos del semiconductor, ya sea con las vibraciones de la red (fonones), con las impurezas que siempre, en mayor o menor medida, están presentes en el material, e incluso con la superficie del semiconductor que se constituye en una imperfección que rompe con la periodicidad de la red cristalina. Todo este tipo de interacciones es llevado en cuenta para presentarnos soluciones rigurosas, y muy bien descritas en cuanto a la matemática involucrada, de las ecuaciones de transporte para los portadores, con sus condiciones de frontera.

Un tema relevante en este libro es el tratamiento de los fenómenos térmicos que tienen lugar dentro del semiconductor y que dan origen a fenómenos tan importantes como la generación de diferencias de potencial eléctrico, debidas a gradientes de temperatura en el semiconductor. Asimismo, destaca la teoría que los autores desarrollan sobre la propagación de ondas de temperatura, de gran relevancia para los experimentos fototérmicos, dando un sentido físico preciso a las llamadas ondas térmicas; con una muy importante conclusión acerca de lo diferentes que pueden ser las temperaturas de los electrones y de los fonones.

Este libro presenta por primera vez una explicación de la teoría de la termoconducción, a partir de la idea de que cada subsistema de cuasipartículas, como los electrones, los huecos y los fonones, se caracteriza por tener una temperatura propia.

Otro tema de importancia es el tratamiento del comportamiento de los electrones y fonones en presencia de campos eléctricos y magnéticos que dan origen a los efectos galvanomagnéticos. Se discute el papel que juegan las fronteras del semiconductor y los efectos de tamaño, al tiempo que se tratan las teorías lineal y no lineal del transporte de carga y el fenómeno de la magnetorresistencia.

El capítulo final está dedicado al estudio de la propagación de la radiación electromagnética en semiconductores, llevando en cuenta la interacción con el plasma dentro del sólido y estudiando los casos de amortiguamiento débil de las ondas electromagnéticas de baja y alta intensidad.

Gurieyevich y Pérez-Rodríguez nos presentan un tratamiento riguroso del fenómeno del transporte de portadores en un semiconductor, con desarrollos matemáticos claros y exhaustivos, y también con ejemplos concretos sobre semiconductores de gran relevancia y actualidad, comparando las predicciones teóricas con los resultados experimentales, cuando éstos existen, o discutiendo la posibilidad del desarrollo del experimento. Los temas cubiertos en el libro corresponden a los de mayor actualidad para la comprensión profunda de los semiconductores y la búsqueda de nuevos dispositivos basados en los efectos que se manifiestan en los regímenes no lineales de transporte de portadores. Por su contenido y claridad de presentación, éste es, sin lugar a dudas, un libro competitivo internacionalmente, que tendrá gran aceptación en el medio académico y de investigación en Iberoamérica. ●

RESEÑA DEL LIBRO

Ideas fundamentales de la superconductividad

DE: ORACIO NAVARRO CHÁVEZ
RAFAEL BAQUERO PARRA

Miguel Ángel Pérez Angón

La publicación de libros de texto sobre temas científicos en español se ha convertido en toda una odisea por un sinnúmero de dificultades. Si el texto es sobre un tema que es accesible a estudiantes de los primeros años de las carreras de ciencias e ingenierías, resulta difícil competir con el material que ya existe en inglés, tanto en costos como en la calidad del material. Por otra parte, si el tema es relativamente especializado, entonces nuestras editoriales no se toman el riesgo de publicar el material por lo limitado del mercado y la facilidad de hacer duplicados piratas. De ahí que sea meritoria la iniciativa de la Universidad Nacional Autónoma de México de publicar *Ideas fundamentales de la superconductividad*, un libro conjunto de Rafael Baquero y Oracio Navarro.

Hasta donde tengo conocimiento, este es el primer libro de texto que se publica sobre el tema de superconductividad en español. Los mismos autores ya habían publicado versiones preliminares de este material, aunque de difícil acceso [1], por lo que esperamos que esta edición tenga la recepción que se merece. En cuanto

al Dr. Baquero, los lectores de la revista *Cinvestav* ya tienen conocimiento de lo ameno que escribe sobre este tema; fueron dos artículos de divulgación sobre la superconductividad que aparecieron en sus páginas, ambos muy celebrados en nuestra comunidad [2]. Considero que el libro de Baquero y Navarro será de mucha utilidad para los estudiantes e investigadores interesados en los desarrollos más recientes de esta área del conocimiento. En mi opinión, sin ser un especialista en el tema, el material incluido está integrado de tal manera que aun estudiantes de los primeros años de licenciatura podrán aprender los conceptos básicos asociados al fenómeno de la superconductividad.

Este fenómeno fue descubierto hace casi cien años, en 1911, por el físico holandés Omnes, cuando la mecánica cuántica estaba todavía en ciernes pero ya figuraba como una de las teorías más poderosas de las ciencias físicas. Constituye una manifestación macroscópica-colectiva, le llaman los físicos- de procesos que tienen origen en el mundo microscópico del dominio atómico. Su explicación teórica tomó más

MIGUEL ÁNGEL PÉREZ ANGÓN Investigador titular del Departamento de Física del *Cinvestav*. Es físico-matemático egresado del ITESM con doctorado en Ciencias (Física) del mismo *Cinvestav*. Sus líneas de investigación son la física teórica de altas energías y el desarrollo de la actividad científica en Latinoamérica. Ha sido editor fundador del

Catálogo Latinoamericano de Programas y Recursos Humanos en Física, de los Boletines de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Sociedad Mexicana de Física, así como del Atlas de la Ciencia Mexicana.
mperez@fis.cinvestav.mx

Ideas fundamentales de la superconductividad

Oracio Navarro Chávez
Rafael Baquero Parra



de 50 años y constituye la culminación de la mecánica estadística, el electromagnetismo y la mecánica cuántica por sí misma. Este libro de texto incluye dos capítulos introductorios sobre la mecánica cuántica, así como la termodinámica y la electrodinámica del fenómeno de la superconductividad. Enseguida describe las teorías clásicas sobre el tema: las de Ginzburg-Landau, la BCS (Bardeen, Cooper y Schrieffer) y la de Eliashberg. Por supuesto, no podría faltar el material sobre la superconductividad de alta temperatura crítica, descubierta en la década de los años 80. Como este fenómeno todavía no está fundamentado por una teoría o modelo, en el texto se incluyen algunas versiones que lo explican de manera aproximada, así como algunas aportaciones de los propios autores.

Finalmente, en los apéndices se presentan algunos conceptos que pueden ser de utilidad para el estudiante, entre otros, formalismo de segunda cuantización y mecanismos de apareamiento con espines de tripletes. El libro contiene un glosario de términos que será de gran apoyo para todos los interesados en entender estos fenómenos físicos. ●

[Referencias]

[1] O. Navarro, *Introducción a la superconductividad*, Ed. Aula Magna, UAS, México (1977); R. Baquero, *Introducción a la superconductividad*, Ed. BUAP, México (1981).

[2] R. Baquero, El descubrimiento de la superconductividad, *Avance y Perspectiva*, 16, 163 (1997); *Introducción a la superconductividad*, *ibid.* 349 (1997).



Discurso del Dr. Carlos Artemio Coello Coello en la entrega de Premios de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias 2005-2007

C. Presidente de los Estados Unidos Mexicanos,
Lic. Felipe Calderón Hinojosa
C. Director del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Mtro. Juan Carlos Romero Hicks
C. Presidente de la Academia Mexicana de Ciencias,
Dr. Juan Pedro Laclette
Honorable miembros del Presidium
Respetable público

Es para mí un honor poder dirigir unas breves palabras, de agradecimiento, a nombre de los ganadores de este importante premio durante los últimos 3 años. Comenzaré por lo más importante: me permitirá nombrar rápidamente a todos los hoy galardonados, así como su disciplina de estudio y su institución.

Premios de Investigación 2005

En Ciencias Exactas lo recibe **Jesús Guillermo Contreras Nuño**, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, por sus estudios en Física experimental de altas energías y Física aplicada a la medicina.

En Ciencias Naturales lo recibe **Ilie Sava Racotta Dimitrov**, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, por su trabajo en el área de acuicultura y por sus estudios de desempeño reproductivo de la calidad larvaria del camarón y desarrollos de tecnología para el cultivo de crustáceos.
En Humanidades lo recibe **Claudia Amalia**

CARLOS ARTEMIO COELLO COELLO En 1996 se doctoró en Ciencias de la Computación en la Universidad Tulane (Estados Unidos). Es investigador 3-D y jefe del Departamento de Computación del Cinvestav. Perteneció al SNI (nivel 3) y es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Ha publicado más de 180 artículos en revistas y para congresos internacionales con arbitraje estricto. Es coautor del libro *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems* (Kluwer Academia Publishers, 2002) y coeditor del libro *Applications of Multi-Objective Evolutionary*

Algorithms (World Scientific, 2004), y autor del libro de divulgación *Breve historia de computación y sus pioneros* (FCE, 2003). Sus publicaciones reportan más de 850 citas en el ISI Citation Index. Es editor asociado de las revistas *IEEE Transactions on evolutionary Computation* (IEEE Press), *Evolutionary Computation* (MIT Press), *Journal of Heuristics* (Springer) y *Computational Optimization and Applications* (Springer).
ccoello@cs.cinvestav.mx

Agostoni Urencio, del Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su labor en el campo de la **historia social y cultural de la medicina en México**.

En **Ciencias Sociales** lo recibe **Gerardo Esquivel Hernández**, del Centro de Estudios Económicos de El Colegio de México, por sus investigaciones sobre el **crecimiento económico, crisis cambiaria, política económica e impacto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en la economía mexicana**.

En **Investigación Tecnológica** lo recibe **Gilberto Herrera Ruiz**, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, por su labor en los campos de **automatización, electrónica, computación y manufactura**.

Premios de Investigación 2006

En **Ciencias Exactas** lo recibe **Héctor Manuel Moya Cessa**, de la Coordinación de Óptica del Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, por sus estudios en **óptica cuántica e interacción de átomos**.

En **Ciencias Naturales** lo recibe **Alejandro Córdoba Aguilar**, del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su desempeño en el área de **ecología evolutiva de la respuesta inmune en insectos**.

En **Ingeniería y Tecnología**, lo recibe **Carlos Rubio González**, de la División de Maestría y Doctorado del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial de Querétaro, por su labor en los campos de **electrónica aplicada y mecánica experimental**.

Premios de Investigación 2007

En **Ciencias Exactas** lo recibe **Carlos Artemio Coello Coello**, del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, por su labor en el campo de la **Computación evolutiva y las metaheurísticas bioinspiradas**.

En **Ciencias Naturales** lo recibe **Salvador Emilio Lluch Cota**, del Programa de Ecología Pesquera del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, por sus estudios sobre la **Oceanografía pesquera y cambio climático global**.

En **Humanidades** lo recibe **Elisa Speckman Guerra**, del Instituto de Investigaciones Históricas de la Universidad

Nacional Autónoma de México, por su labor en el campo de la **historia social y de instituciones**.

En **Ciencias Sociales** lo recibe **José Luis Velasco Cruz**, del Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México, por sus estudios sobre **democratización, procesos y actores sociales**.

Finalmente, en **Ingeniería y tecnología** lo recibe **Jaime Sánchez Valente**, de la Coordinación de Reactores del Instituto Mexicano del Petróleo, por sus contribuciones al estudio de **catálisis heterogénea y sus aplicaciones para el mejoramiento del medio ambiente, la refinación del petróleo, la petroquímica y química fina**.

Sobra decir que este premio es, sin lugar a dudas, un enorme incentivo para continuar nuestra labor como investigadores. Este reconocimiento lo compartimos también con nuestros estudiantes y colaboradores, sin cuyo apoyo no estaríamos aquí. Y, a propósito de reconocimientos, uno muy especial merecen también nuestras familias, cuyo apoyo ha sido un pilar fundamental para el desarrollo de nuestras carreras científicas.

Pero, este día, la felicidad eclipsa, aunque sea por un momento, a la realidad. Este día no pensaremos en las enormes limitantes que debemos enfrentar los científicos mexicanos para poder realizar nuestro trabajo. Este día nos olvidaremos de los escasos recursos que se destinan a la investigación científica en nuestro país, y de la lucha cada vez más encarnizada que debemos librar para obtenerlos. Este día nos olvidaremos de los tortuosos sistemas de evaluación a los que estamos sujetos constantemente, tanto a nivel individual como institucional, en aras de una excelencia que se da el lujo de redefinirse al menos una vez cada sexenio. Este día nos olvidaremos de la angustia que nos causa ver que los jóvenes doctores que hemos formado no puedan hallar empleos a la altura de su elevada preparación académica. Este día pensaremos que somos otro México; un México en el cual la ciencia se ve como la puerta al desarrollo y no como un lujo prescindible.

Sólo quisiera que "este día" no se acabara, si bien mi entrenamiento como científico me impide ignorar la ingrata certeza de que esta ilusión no vivirá hasta mañana.

Muchas gracias. ●

Noticias Cinvestav

Premios y distinciones

INVESTIGACIÓN

Dr. Carlos Beyer Flores

Premio Nacional de Ciencias y Artes 2007 en la categoría de ciencias físico-matemáticas y naturales, otorgado por la Presidencia de la República por su trayectoria científica.

Dr. Carlos Artemio Coello Coello

Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) 2007 en el área de ciencias exactas por su desempeño en el área de computación.

Dra. Liliana Quintanar

Becas para Mujeres en Ciencia de L'Oréal-UNESCO-Academia Mexicana de Ciencias por su investigación sobre la relación de las emisiones de algunos metales con el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas.

Dr. Ernesto Lupercio Lara

TWAS Young Scientist Affiliate, nombramiento otorgado por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS).

Langebio

Premio especial AgroBIO por la secuenciación del genoma codificante del maíz.

Dr. Jean Philippe Vielle Calzada

Premio AgroBIO en la categoría de Investigación en Biotecnología Agrícola.

Dr. Vianney Ortiz Navarrete

Premio de Investigación Médica Dr. Jorge Rosenkranz en el área de medicina clínica, otorgado por Grupo Roche Syntex por la investigación: Las moléculas del complejo principal de histocompatibilidad clase I en el trasplante de células hematopoyéticas.

Dr. Leopoldo Santos Argumedo

Premio de Investigación Médica Dr. Jorge Rosenkranz en el área de medicina básica, otorgado por Grupo Roche Syntex por el trabajo: Función CD38 en la diferenciación de los linfocitos B transicionales 1 a maduros.

Dr. Jorge Hernández Rodríguez

Premio Nacional de Obras Médicas, otorgado por el Instituto Pfizer y la Academia Nacional de Medicina por el trabajo: Correlaciones cognoscitivo-neurobiológicas en el desarrollo humano.

Dra. Maria Teresa Estrada García

Premio de la Fundación Mexicana para la Salud en el área de investigación en salud pública y ciencias sociales por el trabajo: Epidemiología de la *Salmonella* transmitida por animales de consumo humano, reporte de un sistema de vigilancia integrado de la cadena alimentaria.

Dr. Pedro Castro Borges

Premio Juan Manuel Ramírez Caraza, otorgado en la primera edición de los Premios Ciudad Capital: Heberto Castillo Martínez en la categoría Tecnologías Urbanas por sus valiosas aportaciones a la solución de problemas urbanos, específicamente con proyectos en el área de la construcción.

Dra. Elsie Rockwell Richmond

Premio Emilia Ferreiro, otorgado en la primera edición de los Premios Ciudad Capital: Heberto Castillo Martínez, en la categoría Educación, Ciencia y Sociedad por su destacada contribución a la investigación educativa y la cultura escolar, así como en la formación de nuevas generaciones de educadores.

Dra. Rosaura Hernández Rivas

- 20° Premio Lola e Igo Flisser-Puis, otorgado por el Programa Universitario de Investigación en Salud de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Autónoma de México y la Familia Flisser por su trabajo en la identificación y caracterización de la región de la unión a PflBP en dos genes de *Plasmodium falciparum* e identificación de los factores asociados a esta proteína.

- Mención honorífica del 20° Premio Lola e Igo Flisser-Puis por su trabajo: Aislamiento y caracterización de una acetil-transferasa de histonas (HAT) y análisis de la participación de la cromatina acetilada en la regulación genética de *P. falciparum*.

TECNOLOGÍA

M. en C. Beneranda Murúa Pagola y Dr. Fernando Martínez Bustos

Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos en la categoría Profesional en Tecnología, otorgado por Coca-Cola, por su desarrollo de nuevos procesos para la preparación de almidones modificados, utilizando la tecnología de extrusión termoplástico para su aplicación, en la encapsulación de aceites esenciales.

QFB. Elvira Ríos Leal
Mención Honorífica del Premio de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

CONGRESOS

Dr. Carlos Artemio Coello Coello
Best Paper Award de la 2007 Genetic and Evolutionary Computation Conference por su trabajo: Convergente of stochastic search algorithms to gap-free pareto front approximations.

Dr. Pedro Castro Borges
Premio Eduardo Torroja, 2ª edición, al mejor trabajo del 9º Congreso Latinoamericano de Patología en las Construcciones y 11º Congreso de Control de Calidad (CONPAT 2007).

TESIS

Dr. Ricardo Landa Becerra (estudiante)
Dr. Carlos A. Coello Coello (director de tesis)
Primer lugar en el 20º Certamen Nacional de tesis de Informática o Computación en la categoría tesis doctoral, que organiza la Asociación Nacional de Instituciones de Educación en Tecnologías de la Información, A.C. (ANIEI) por el trabajo: Use of domain information to improve the performance of an evolutionary algorithm.

M. en C. Mireya Paredes López (estudiante)

Dr. Guillermo Benito Morales Luna
(director de tesis)
Primer lugar en el 20º Certamen Nacional de tesis de Informática o Computación en la categoría tesis de maestría, que organiza la Asociación Nacional de Instituciones de Educación en Tecnologías de la Información, A.C. (ANIEI) por el trabajo: Simulación de cómputo cuántico.

Ing. Diana Acosta Ramírez (estudiante)
Dra. Refugio Rodríguez-Vázquez (directora de tesis)
Premio a la mejor tesis en Ingeniería Ambiental a nivel licenciatura con la investigación: Evaluación de la adición de grano de café y nutrientes en la remoción de DDT de un suelo agrícola; en el 15º Congreso Internacional Ambiental de CONIECO.

DIVULGACIÓN

Dra. Cristina Reynaga Peña
Primer lugar del Premio a las Mujeres Mexicanas Inventoras e Innovadoras: Emisión Julieta Fierro en la categoría ámbito académico o de investigación, rubro educación, convocado por Conacyt, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y el Instituto Nacional de las Mujeres por su proyecto: Bachilleres en artes y niños ciegos unidos por la ciencia.

Dra. Luz Ma. Dalila Aldana Aranda
Segundo lugar del Premio Mujeres Mexicanas Inventoras e Innovadoras, Emisión Julieta Fierro convocado por Conacyt, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y el Instituto Nacional de las Mujeres por el trabajo: Al rescate de la biodiversidad del Mar Caribe.

DISTINCIONES ESPECIALES

Dra. Luz Ma. Dalila Aldana Aranda
Chairman of Gulf and Caribbean Fisheries Institute, asociación auspiciada por la Universidad de Miami.

Dra. Emilia Ferreiro Schiavi y Dr. Carlos Beyer Flores
Distinguidos por el Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal con la creación de los Premios Emilia Ferreiro y Carlos Beyer, para premiar a los ganadores de las áreas de educación, ciencia y sociedad, así como de salud, biotecnología y medio ambiente, en la emisión de los Premios Ciudad Capital: Heberto Castillo.

Ricardo Cantoral Uriza
Medalla al Mérito Científico 2007, otorgada por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal.

Contribuciones

Las contribuciones para la revista *Cinvestav* deberán enviarse a las oficinas centrales o a la dirección de correo electrónico: msantos@cinvestav.mx

Textos

- Deben entregarse en formato de Word con extensión .doc o .rtf, vía correo electrónico o en CD-ROM.
- Cuando se trate de artículos de investigación; la extensión máxima será de 15 cuartillas, los artículos de difusión tendrán 10 cuartillas y Noticias un aproximado de 50 palabras por nota.
- Si el texto incluye tablas, éstas se entregarán en archivo por separado, en texto corrido y con una impresión adjunta que muestre la forma en que debe quedar la tabla. Además, en el original debe señalarse su ubicación. La indicación también es válida para esquemas y cuadros.
- Todo artículo requiere ilustraciones o fotografías para su inserción (ver imágenes y gráficas), acompañadas de un comentario que las identifique.
- Las notas se incluirán al final del trabajo, antes de la bibliografía o de las referencias debidamente numeradas.
- Todas las siglas y los acrónimos empleados deben venir en su forma desatada (p. ej. Conacyt, Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología).

- Las referencias deben apegarse a los modelos siguientes:

Libro:

Wiener, Norbert, *Cibernética: o el control y la comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets, 2003.

Artículo de revista:

Ádem, José, 1991, "Algunas consideraciones sobre la prensa en México", *Avance y Perspectiva*, vol. 10, abril-junio, pp. 168-170.

Se sugiere que las referencias sean cuidadosamente revisadas por los autores y que los títulos de los artículos y los nombres de las publicaciones no se abrevien.

Resumen curricular

Todos los textos deben incluir datos del autor: nombre completo, grado académico, adscripción y cargo que desempeña, teléfono y correo electrónico. El resumen no debe rebasar más de 50 palabras.

Imágenes y gráficas

Deben venir en archivos por separado tipo JPG o TIFF, a 300 dpi de resolución con tamaño de 20 cm de base (como mínimo). Las imágenes tomadas con cámaras digitales deberán tener la resolución máxima.

NO SE ACEPTARÁN IMÁGENES DE INTERNET.

Cinvestav

revista@cinvestav.mx

T/F (55) 50 61 33 71

www.cinvestav.mx/publicaciones

Av. Instituto Politécnico Nacional 2508

San Pedro Zacatenco, C.P. 07360

México, DF, México

[Nota]

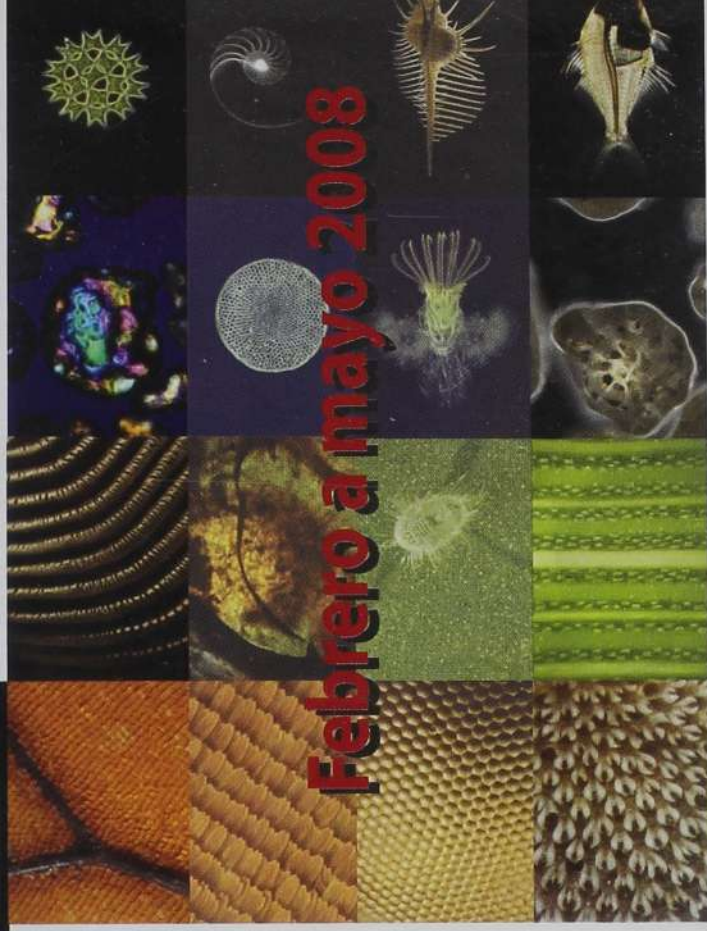
En breve aparecerá una versión electrónica de la revista *Cinvestav*, donde los lectores tendrán la oportunidad de contribuir con sus reflexiones acerca de los temas que se abordan en los artículos.

MICROGRAMAS



Galería Abierta del Cinvestav

Fotografías de Raúl González



Febrero a mayo 2008

The Center for Research and Advanced Studies of the IPN
and the University of Saint Nicolas of Hidalgo of the State of Michoacan
have the pleasure to invite you to the

Joint Meeting of

32nd PME

XXXth PME-NA

to be held in
Morelia, Michoacán, México
from July 17th to 21st, 2008

•Olimpia Figueras•

Conference chair of PME-32

•José Luis Cortina•

Conference chair of PME-NA XXX

•Armando Sepúlveda•

Chair of the Local Organizing Committee

For further information, please contact:

Secretariat, Guadalupe Guevara, gguevara@cinvestav.mx

Website: <http://www.pme32-na30.org.mx>



Cinvestav

Mathematics Education Department



UMSNH

Area of Mathematics Education

