

AVANCE Y PERSPECTIVA

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO
CITEC
CALLE 100 # 100-100
BOGOTÁ, COLOMBIA
TEL: 378 1000
FAX: 378 1000
E-MAIL: CITEC@CITEC.ORG.CO

El transistor cumple 50 años

VI Taller de Partículas y Campos

Morelia, Mich., del 21 al 27 de noviembre de 1997

Cursos

- | | |
|--|--|
| The standard model and beyond
Guido Altarelli, CERN | Física de quarks pesados
Héctor Méndez, CINVESTAV |
| Física de quarks ligeros: mesones pseudoscalares y vectoriales
Albert Bramon, Universidad Autónoma de Barcelona | Past, present and future experiments at LEP
Mónica Pepe, CERN |
| Dualidad en teoría de campos
César Gómez, CSIC, Madrid | Transiciones de fase cosmológicas y bariogénesis
Mariano Quirós, CSIC, Madrid |
| Theory for electroweak precision tests
Wolfgang Hollik, Univ. Karlsruhe | Rayos cósmicos de altas energías
Enrique Zas, Univ. de Santiago de Compostela |
| Física de iones pesados y el proyecto ALICE-LHC
Alberta Marzari y Emilio Chiavassa, INFN Torino | Dualidad en teoría de cuerdas
Barton Zwiebach, MIT |

Comité organizador

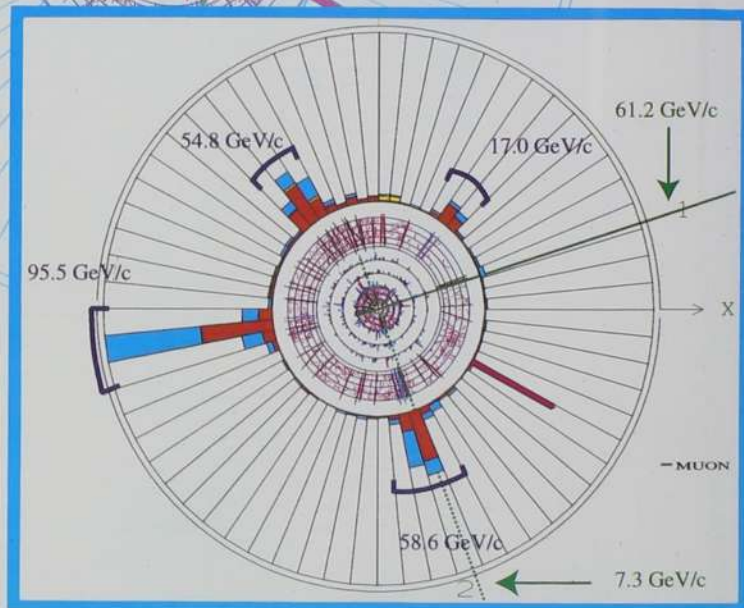
Francisco Astorga, (IF-UMSNH)
 Juan Carlos D' Olivo, (ICN-UNAM)
 Julián Félix, (IFUG)
 Gerardo Herrera, (CINVESTAV)
 Gabriel López Castro, (CINVESTAV)
 Fernando Quevedo, (IF-UNAM)
 Alfonso Rosado Sánchez, (IF-UAP)
 Martí Ruiz Altaba, (IF-UNAM)
 Luis Villaseñor, (IF-UMSNH)

Patrocinadores

CINVESTAV, CONACyT, SMF, UMSNH, UNAM

Informes

Dina Zamudio	Trinidad Ramírez
Instituto de Física y Matemáticas	Instituto de Ciencias Nucleares
Univ. Mich. de San Nicolás de Hidalgo	UNAM
Ciudad Universitaria	Apdo. postal 70-543
Edificio C-3	Circuito Exterior, CU
58040 Morelia, Mich.	04510 México, D. F.
Tel/Fax: (43) 27 19 97	Tel: (5) 622 46 90 Fax: (5) 622 46 93
E-mail: zdina@ginette.ifm.umich.mx	E-mail: fengari@nuclecu.unam.mx





Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

DIRECTOR GENERAL
Adolfo Martínez Palomo
SECRETARIO ACADÉMICO
Manuel Méndez Nonell
SECRETARIO DE PLANEACIÓN
Luis Alfonso Torres
SECRETARIO DE RECURSOS
HUMANOS Y MATERIALES
Leonardo Contreras Gómez

AVANCE Y PERSPECTIVA

DIRECTOR EDITORIAL
Enrique Campesino Romeo
EDITORA ASOCIADA
Gloria Novoa de Vitagliano
COORDINACIÓN EDITORIAL
Martha Aldape de Navarro
DISEÑO Y CUIDADO DE LA EDICIÓN
Rosario Morales Alvarez
APOYO
Sección de Fotografía
del CINVESTAV
CAPTURA
Josefina Miranda López
Isabel Negrete
María Gabriela Reyna López

CONSEJO EDITORIAL

Jesús Alarcón
MATEMÁTICA EDUCATIVA
René Asomoza
INGENIERÍA ELÉCTRICA
J. Víctor Calderón Salinas
BIOQUÍMICA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
LAB. DE QUERÉTARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD Irapuato
María de Ibarrola
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS
Eusebio Juaristi
QUÍMICA
Miguel Ángel Pérez Angón
FÍSICA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Consulte nuestra página
de internet:

<http://www.cinvestav.mx/webselect/avance.htm>

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Vol. 16

CENTRO DE INVESTIGACIÓN
ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
★ OCT. 28 1997 ★
HEMEROTECA

noviembre-diciembre de 1997

- 355 *El transistor cumple 50 años*
Antonio Cerdeira Altuzarra
- 363 *Tecnologías ecológicas para la producción de la tortilla*
J. D. Figueroa, J. González Hernández, G. Arámbula Villa
y E. Morales Sánchez
- 375 *Síntesis orgánica en fase sólida*
Ignacio A. Rivero Espejel

PERSPECTIVAS

- 385 *En memoria de José Adem*
Enrique Ramírez de Arellano

DIALOGOS

- 389 *Derek Barton y la invención química*
C. Chimal, E. Juaristi y L. Quintero

NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 395 *Primera piedra de la Unidad Querétaro*
- 396 *Octavio Paredes López, director de la Unidad Irapuato*
- 397 *Ma. Guadalupe Ortega Pierres, jefa del Departamento de Genética
y Biología Molecular*

ESPACIO ABIERTO

- 399 *El alma a la luz del microscopio*
Eugenio Frixione

LIBROS Y REVISTAS

- 408 *Un nuevo modelo de evaluación por pares*
Roger W. Poultney
- 411 *Índice del volumen 16*

Portada: Una muestra de la revolución iniciada por el transistor, un superconductor de alta temperatura crítica implantado en un circuito integrado tipo SQUID.

Foto: Centro IBM T. J. Watson.

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación bimestral. El número correspondiente a noviembre-diciembre de 1997, volumen 16, se terminó de imprimir en octubre de 1997. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. **Editor responsable:** Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán, apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. **Negativos, impresión y encuadernación:** Litografía HERFAR, S.A. de C.V. Dr. García Diego 45-H, Col. Doctores, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero de 1997, vol. 16 página 74. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 90 pesos.



FT009550

CIC '97

Simposium Internacional de Computación

*Nuevas Aplicaciones e Innovaciones
Tecnológicas en Computación*

12-13 y 14 de noviembre de 1997.

Áreas de Interés

Agentes
Algoritmos genéticos
Arquitectura de computadoras
Automatización y tiempo real
Bases de datos
CAD / CAM / CAE / geoprocetamiento
Computación en la educación
Ingeniería de software
Inteligencia artificial
Lenguajes de programación
Multimedia
Paralelismo
Procesamiento de imágenes
Procesamiento de textos
Realidad virtual
Reconocimiento de patrones
Redes y conectividad
Sistemas digitales
Sistemas distribuidos
Sistemas operativos
Supercómputo y visualización

Sede: Instituto Politécnico Nacional
Auditorio B Manuel Moreno Torres
Centro Cultural Jaime Torres Bodet
Av. Wilfrido Massieu s/n
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
Zacatenco, México, D.F.

Informes:

Subdirección de Vinculación
Ing. Pedro Galicia Galicia
Lic. Luis Hernández Lara
Tel. 729 6000
Ext. 56500, 56502 y 56539
Fax Ext. 56608
Apartado Postal 75-476

Av. Juan de Dios Bátiz
esq. con Miguel Othón de Mendizábal
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
México, D.F., C.P. 07738

email:cic@vmredipn.ipn.mx
cicrelp@vmredipn.ipn.mx
web:http\www.cic.ipn.mx

El transistor cumple 50 años

Antonio Cerdeira Altuzarra

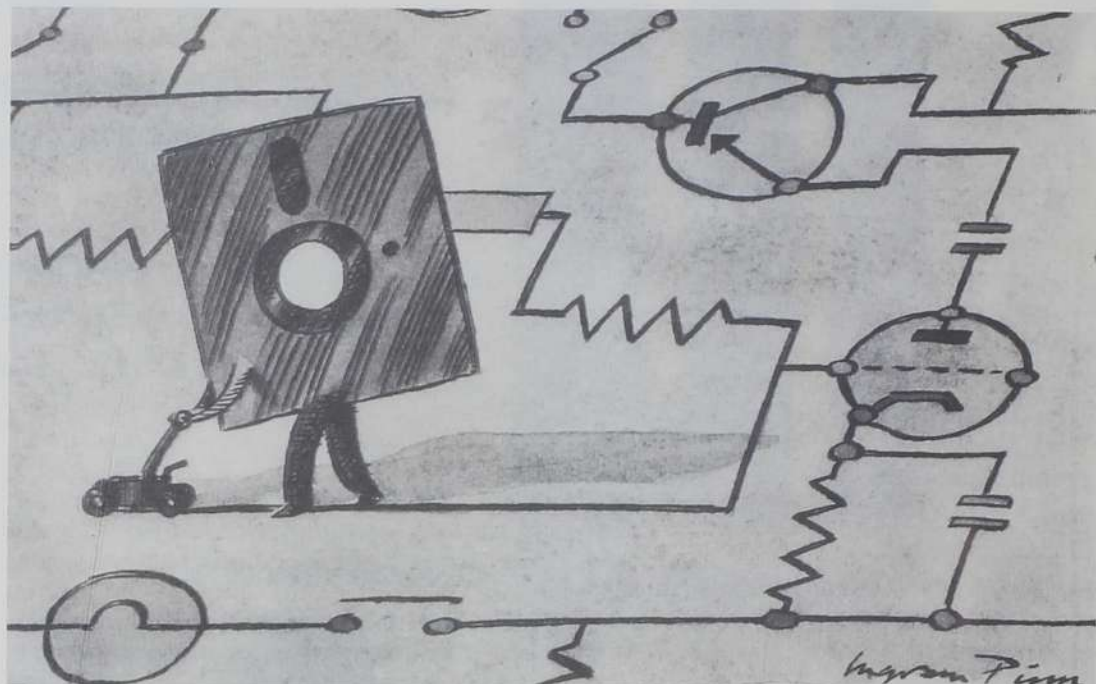
La revolución eléctrica

El 23 de diciembre de 1947 es la fecha considerada como del nacimiento un invento que ha revolucionado todos los aspectos de nuestra vida: el transistor. Este descubrimiento marcó el comienzo de una nueva era en la ciencia y la técnica que ha dominado toda la segunda mitad de este siglo, la era de la electrónica del estado sólido o, como también podemos llamarla, de la microelectrónica. Exagerar la importancia de esta nueva era es muy difícil, ya que casi todos podemos sentir sus efectos de continuo en nuestras vidas. Sobre esto volveremos más tarde, ahora quisiéramos decir algo de cómo se llegó a este revolucionario descubrimiento, cómo se unieron la ciencia, la ingeniería y la inventiva y qué nos ha aportado.

Sobre la historia de la electrónica se ha escrito mucho. Nosotros nos remitiremos, entre otros documentos, a la magnífica introducción histórica realizada por R.M. Warner¹ en su libro sobre transistores y al entretenido ensayo de J. Altshuler.²

En una época tan remota como es el año 1600, Gilbert habló ya de la "fuerza eléctrica", la que se producía al frotar el ámbar, material que recibe el nombre de *elektron* en griego. Posteriormente, en el siglo XVIII, se desarrollaron las máquinas electrostáticas y Benjamín Franklin demostró en 1752 que el rayo era un fenómeno eléctrico. Ya en el siglo XIX tiene lugar la "revolución eléctrica" con múltiples estudios, trabajos

El Dr. Antonio Cerdeira Altuzarra es investigador titular de la Sección de Electrónica del Estado Sólido del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav.



experimentales y aplicaciones; entre ellos señalaremos sólo algunos logros, como son la demostración por Faraday del transformador y de la primera máquina dinamoeléctrica en 1831. De especial importancia es la patente del telégrafo eléctrico por Wheatstone y Cooke en 1837. Con el desarrollo del telégrafo, conjuntamente con el ferrocarril, nace la era de la elaboración, transmisión y recepción de información. Al mismo tiempo se desarrolla la rama de la generación, transmisión, recepción y distribución de energía eléctrica. Es así como surge la ingeniería eléctrica en estas dos vertientes ya bien conformadas. De extraordinaria importancia fue el aporte de Maxwell, que en 1865 nos dio la teoría integrada del campo electromagnético. Aquí, como en muchos casos que veremos en adelante, se confirma lo que expresó Boltzman: "nada hay tan práctico como una buena teoría".

En los últimos 20 años del siglo pasado se completó la revolución eléctrica. En la Exposición de París de 1883 se presentó una buena muestra de ello. Algunos ejemplos de la aplicación que alcanzó la electricidad para ese tiempo son: el alumbrado eléctrico; el servicio telefónico; la industria electroquímica; las centrales de generación de corriente directa y alterna; el uso de

los motores eléctricos y los transformadores; la telegrafía por cable terrestre y submarina y el comienzo del telégrafo sin hilos.

En aquella época se consideraba que todo estaba ya prácticamente descubierto y que la substancia estaba compuesta por átomos, o sea por partículas indivisibles de acuerdo con la etimología de la palabra. En 1879 Hall, a través del efecto que lleva su nombre, descubrió que en algunos materiales hay portadores de carga eléctrica positiva y otros de carga eléctrica negativa. Este fenómeno no tenía explicación, como tampoco la tenía el efecto Edison. En 1883 Edison observó que al colocar un segundo electrodo a su lámpara incandescente de carbón, se producía una corriente eléctrica si el potencial de la segunda placa era positivo, y que no había corriente si este potencial era negativo. Este fenómeno se considera como el nacimiento de lo que fue el mundo de los tubos electrónicos de vacío y es considerado uno de los principales aportes de Edison. En 1897 el físico inglés Joseph John Thomson, al trabajar en el Laboratorio Cavendish demostró la existencia de un corpúsculo, como se le llamaba en esa época, que tenía carga negativa y una masa mucho menor que la del átomo. Posteriormente recibió el

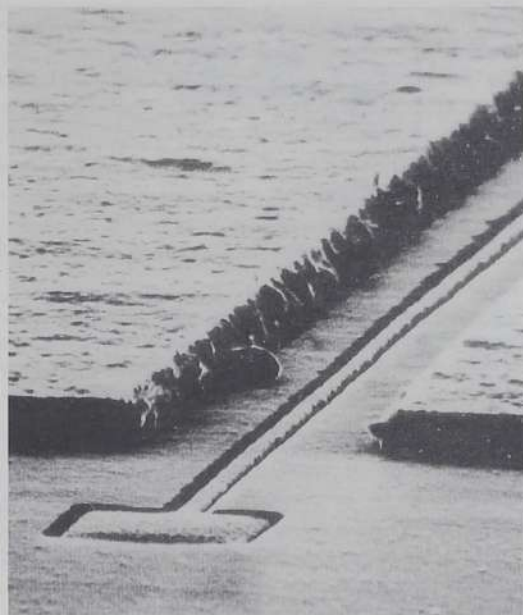
nombre de electrón. Este descubrimiento, del cual conmemoramos el centenario en este año³, tuvo una gran repercusión; primero por explicar el efecto Edison, pero lo más importante, por ser la primera partícula elemental descubierta. El átomo, que estaba asociado al concepto de materia indivisible, se dividió, lo que creó una gran conmoción en la física de la época, y precedió al avance de la física moderna a principios del siglo XX. Sir Joseph John Thomson recibió el Premio Nobel de Física en 1906 por su contribución al conocimiento de la conductividad eléctrica de los gases⁴.

La era de los tubos de vacío

Partiendo de la amplia base alcanzada, comienza el siglo XX, en el cual están muy bien marcadas dos épocas en el desarrollo de la electrónica. Nos referiremos a la primera mitad del siglo como la era de los tubos de vacío y de la comunicación electrónica.

En 1904 Fleming presenta el primer tubo de vacío de dos electrodos, el diodo de vacío rectificador, el cual fue aplicado a la radiotelegrafía. Este invento se complementó en 1906 con el de Lee De Forest del triodo de vacío, que entonces se le llamó *audióon*, que permitía la amplificación de señales y marcó el impetuoso desarrollo de los tubos electrónicos de vacío y de sus aplicaciones, principalmente asociadas a la radiodifusión. A esto ayudó la aplicación del principio de la retroalimentación que hizo posible generar y amplificar señales de altas frecuencias. El desarrollo de la radio en todas sus formas fue el motor propulsor de la electrónica en la primera mitad del siglo. El radar, por su parte, ayudó en los años 40 a desarrollar tubos electrónicos cada vez de mayor frecuencia de operación y de mayor potencia ampliando el espectro de frecuencias hasta las ondas centimétricas. Para entonces ya se habían fabricado y utilizado unos 600 millones de tubos de vacío en los EUA.

Este enorme éxito de los tubos de vacío mantuvo reducido el esfuerzo de la ciencia en los estudios de dispositivos hechos en materiales sólidos, o sea sin emisión al vacío por calentamiento de un cátodo. Por fortuna, el estudio de dispositivos de estado sólido no fue abandonado del todo; veamos algunos momentos importantes, comenzando un poco más atrás en el tiempo. Seebeck registró en 1822 la observación de lo



que ahora conocemos como propiedades termoeléctricas de los semiconductores en el sulfuro de plomo, que se conocía como galena. En 1839 Becquerel hace la primera observación del efecto fotovoltaico y en 1873 Smith y Sale observan la fotoconductividad en materiales sólidos. El primer dispositivo, cercano a los diodos que hoy conocemos, lo registra Braun en 1874 cuando observa el efecto de la rectificación de la corriente alterna utilizando una punta metálica sobre una piedra de galena. Esta es la génesis de la actual electrónica del estado sólido. Braun participó activamente en el desarrollo de la radio y recibió el Premio Nobel en 1909 junto con Marconi por este invento. Debe señalarse, sin embargo, que no fue sino hasta 1976 que la IEEE reconoció que este descubrimiento fue hecho en 1896 en forma independiente por Marconi, por un lado, y por Popov en Rusia. A ambos se les dio el crédito correspondiente.

Los primeros aficionados de la radio utilizaron como detectores los dispositivos de contacto metálico sobre la galena, conocidos entonces como "bigotes de gato", pero fueron desplazados por el naciente tubo de vacío electrónico que era más estable en su funcionamiento. En 1906 Pickard muestra un detector práctico realizado con una punta de contacto sobre silicio y años después sobre germanio. La inestabilidad

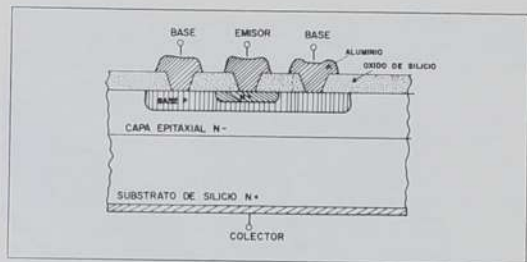


Figura 1. El primer transistor, hecho en germanio tipo N con dos regiones P obtenidas por la presión de dos puntas metálicas sobre el germanio. Consta de tres electrodos: emisor, base y colector. Amplifica voltaje, corriente y potencia con base común.

que aún tenían estos diodos no les permitió competir con los tubos de vacío. Los principios de su funcionamiento no se conocían entonces. En 1911 se utiliza por primera vez el término semiconductor para llamar a los materiales que tenían una conductividad eléctrica intermedia entre los metales y los dieléctricos. Pocos grupos de investigadores en el mundo se encargaron de estudiar estos materiales, entre ellos el físico R.W. Pohl que utilizó todos los conocimientos nuevos de principios del siglo, lo que hoy llamamos la física moderna, y generó en los años 30 las bases de la física de los semiconductores. Los estudios sobre uniones rectificantes realizados por Mott en Inglaterra, Schottky en Alemania y Davydov en la URSS, ayudaron para impulsar el desarrollo de dispositivos con materiales semiconductores. Varios dispositivos fueron propuestos, basados en efectos superficiales, pero el escaso desarrollo de la tecnología de la época no permitió concretarlos.

El descubrimiento

Antes de comenzar la II Guerra Mundial, y durante ella, la necesidad de tener detectores de alta frecuencia para los radares llevó a los Laboratorios Bell a realizar estudios para la obtención y caracterización de monocristales de silicio y en 1942 se trabajó arduamente en la purificación y crecimiento de monocristales de germanio. Es justo señalar que la técnica de tirado para obtener monocristales semiconductores de alta calidad fue desarrollada por Czochralski desde 1918. En la Universidad de Purdue se realizaron estudios del germanio, que sirvieron de base a los descubridores del transistor para la obtención del material semiconductor de partida.

En 1945 los Laboratorios Bell localizados en Murray Hill, Nueva Jersey, organizaron los trabajos en semiconductores bajo la dirección de Shockley y Morgan, que incluían a Brattain y a Pearson; posteriormente se les unió el joven físico Bardeen. La idea que percibió Shockley al comienzo de esta etapa de trabajo fue la conveniencia de sustituir los relevadores mecánicos por dispositivos electrónicos en los conmutadores telefónicos. Los dispositivos con semiconductores, que aún no existían, parecían ser los más prometedores para este proceso.

Por diferentes caminos y después de innumerables intentos, Walter H. Brattain y John Bardeen demostraron por primera vez el efecto transistor a William Shockley el 16 de diciembre de 1947. Este efecto consistía en utilizar un dado de germanio tipo n, donde se apoyaban a presión dos puntas de tungsteno, muy próximas entre sí (Fig. 1). Entre una punta y el dado se aplicaba un potencial positivo y entre la otra punta y el dado un potencial negativo. Con este tipo de triodo se logró producir la amplificación de una señal eléctrica en un dispositivo totalmente de estado sólido, sin calentamiento. Este efecto, que más que un descubrimiento fue un invento, se mostró a los dirigentes del Laboratorio Bell el 23 de diciembre de 1947. Esta fecha se considera como la del nacimiento del transistor. El nombre le fue dado por J. Pierce utilizando el efecto de convertir una resistencia pequeña a la entrada del triodo en una resistencia grande a su salida, o sea una transferencia de resistencias, que en inglés sería *TRANSfer-reSISTOR*. Por la magia de la coincidencia esto ocurrió exactamente 50 años después del descubrimiento del electrón. Este transistor, conocido como de punta de contacto PNP, fue sólo el comienzo. Su principio de funcionamiento no era totalmente claro, ni lo suficientemente estable. En 1948 los Laboratorios Bell hicieron público su descubrimiento, que atrajo la atención de muchos especialistas. No faltaron, sin embargo, algunos que no le concedieron suficiente importancia. Este tipo de transistores se comenzó a fabricar y aplicar.

Era de la microelectrónica

En 1949 Shockley publica su famoso artículo donde explica el principio de funcionamiento de una unión P-N plana, formada entre dos semiconductores de dife-

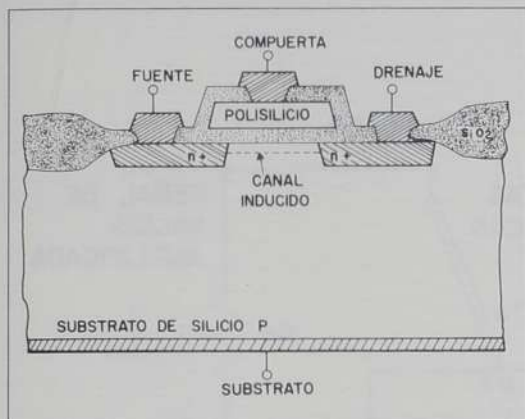


Figura 2. Transistor moderno de silicio hecho con tecnología planar epitaxial y doble difusión. Los electrodos son los mismos. Con base común, éste es un amplificador de voltaje y de potencia.

rente conductividad eléctrica, una P y otra N, formando un diodo, y explica también el principio de funcionamiento del transistor de unión plana con dos uniones PN⁵. En 1951 fue fabricado el primer transistor de unión plana PNP, que funcionó tal y como lo había previsto Shockley tres años antes. Como ya se indicó al principio de este escrito, en la segunda mitad del siglo XX comienza la era de la electrónica del estado sólido, o como también se conoce, de la microelectrónica.

Este descubrimiento, y la invención de los diferentes dispositivos que le siguieron, fue el resultado de un enorme trabajo en todos los campos que definen el desarrollo científico-técnico, o sea de la ciencia básica que permitía explicar un comportamiento, aun antes de haberlo observado; de la ingeniería y de la tecnología, que permitieron tener los materiales adecuados, los métodos de trabajo y el desarrollo de las aplicaciones y, finalmente, aunque no menos importante, de la intuición y la inventiva requeridas para proponer cosas nuevas. Por el transistor recibieron Shockley, Bardeen y Brattain el Premio Nobel en Física en 1956. Fue el primer Premio Nobel otorgado a los inventores de un dispositivo electrónico. Como nota curiosa podemos decir que Bardeen es la única persona que ha recibido dos premios Nobel en Física, el segundo por los estudios de la superconductividad.

La década de los años 50 se caracterizó por grandes descubrimientos tecnológicos, invenciones y aplica-

ciones en la rama de los semiconductores, una por año, como fueron: la obtención de uniones PN a partir del crecimiento del monocristal; la purificación por medio de la zona flotante; la fabricación de la unión PN por aleación; el crecimiento epitaxial; la implantación iónica; la difusión de impurezas en fase sólida; la fotolitografía; la soldadura por termocompresión; la tecnología planar y el procesamiento de estructuras Metal-Oxido-Semiconductor (MOS).

A estos resultados debe añadirse uno de capital importancia: los especialistas de la Fairchild lograron entender las causas de la contaminación del óxido de silicio por el sodio y sus efectos, así como las propiedades de la interfaz entre el óxido de silicio y el silicio. El control de estos efectos abrió las puertas a los circuitos integrados y en especial a los transistores MOS. La forma en que tiene hoy en día un transistor NPN se muestra en la figura 2.

El siguiente paso de gigante fue la invención del circuito integrado, que después de muchas discusiones se acredita tanto a Kilby de la Texas Instruments, como a Noyce de la Fairchild en 1959. En este mismo año se propone el transistor de efecto de campo como compuerta aislada, lo que conocemos como MOSFET, y que pudo ser fabricado en 1960. La Texas Instruments presenta el primer circuito integrado MOS en 1966. La forma que tiene un transistor MOS actualmente se representa en la figura 3. En esta década se fueron formando los nuevos centros de investigación y producción en el área de la Bahía de San Francisco que hoy se conoce como Valle del Silicio, con especialistas de los grandes centros de entonces. El desarrollo de los circuitos integrados MOS se hizo impetuoso con la formación de la firma Intel a finales de los 60 por Robert N. Noyce y Gordon E. Moore, dos de los grandes hombres de la microelectrónica, a los que se añadieron los conocimientos y habilidades de A.S. Grove, todos provenientes de la Fairchild, y con la formación de la firma Mostek, a donde pasó Crawford proveniente de la Texas Instruments. En 1970 la Intel saca la primera memoria MOS de 1 kbit, y en 1972 el primer microprocesador: el 4004. De ahí en adelante tenemos que hablar del desarrollo de la microelectrónica en forma explosiva. Como promedio, según nos dice la Ley de Moore, cada dos años se ha duplicado la cantidad de bits de memoria que se puede almacenar en un solo dado de silicio, llegándose en la

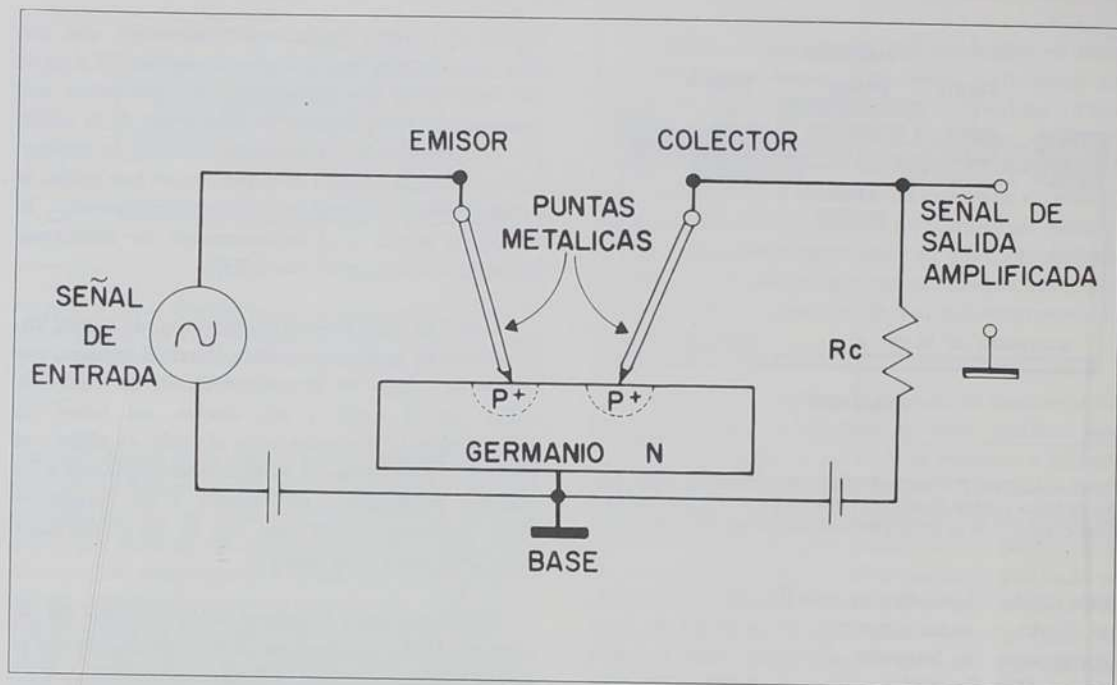


Figura 3. Transistor de efecto de campo con compuerta aislada MOSFET, base de la electrónica moderna.

actualidad a la cifra de 64 Mbit, o sea 64,000 veces más que en 1970. Sobre los microprocesadores se puede decir poco, ya que prácticamente todo el mundo habla de los nuevos *pentium* con más de 200 MHz de velocidad de operación y con millones de transistores en un solo dado de silicio. Está claro el porqué se considera esta rama industrial como la más dinámica que existe, donde las inversiones de cientos de millones de dólares deben ser amortizadas en periodos muy pequeños, en sólo unos años, por la muy rápida obsolescencia del equipamiento.

Los resultados obtenidos son ampliamente conocidos por la población en general, principalmente por lo que se observa en las comunicaciones: en la computación; en la TV, que llega actualmente a la transmisión digital directa; en los sofisticados equipos médicos; en la conquista del cosmos; en los aparatos electrodomésticos; en los equipos nuevos de laboratorio. Estos resultados han cambiado prácticamente todos los aspectos de nuestra vida diaria.

Lo que no es de conocimiento público es todo lo que hay detrás de estos componentes semiconductores

que requieren de materiales como el silicio, donde un átomo de impureza, por cada 1000 millones de átomos de este material en forma cristalina casi perfecta, introduce cambios en sus propiedades eléctricas. Además, se requiere de una industria que produzca los gases y compuestos químicos necesarios para mantener la pureza extrema; de equipos tecnológicos ultrasofisticados que permitan obtener y reproducir figuras con dimensiones de 0.1 micrómetro (una diezmilésima de milímetro), o capas semiconductoras y dieléctricas de espesores de varias millonésimas de milímetro. A esto se le añade todo lo que se requiere para caracterizar estos materiales y dispositivos. O sea una gigantesca industria con una base altamente científica, que ha exigido la participación de muchos investigadores en diversas ramas de la ciencia y de la ingeniería, y exige cada día aún más.

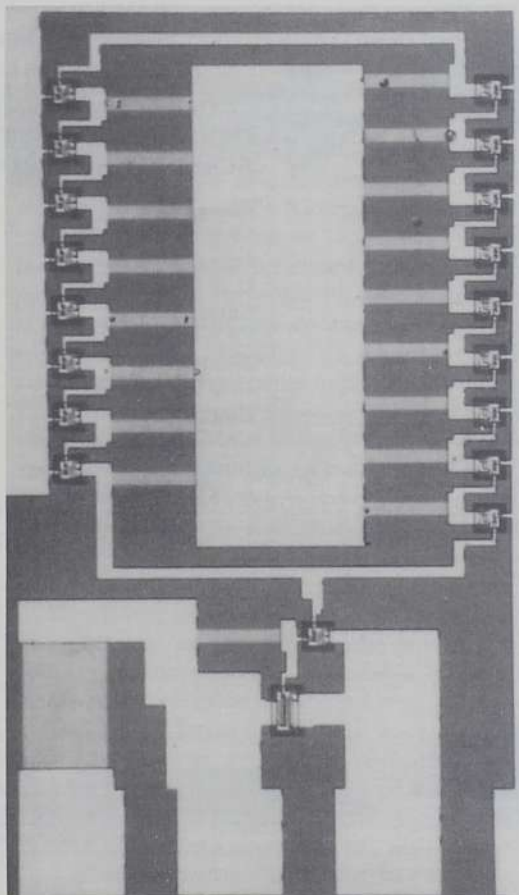
De singular importancia han sido estos retos en la vida de los centros de educación superior que tuvieron, y tienen que hacer ciencia, tecnología y formar el personal de pregrado y posgrado con todas las habilidades necesarias para tener acceso a este maravilloso mundo de la microelectrónica.

Nos encontramos ahora a 100 años del descubrimiento del electrón³ y a 50 años del nacimiento del transistor; el primero abrió una era en el estudio de la materia y el segundo nos ha cambiado radicalmente el modo de vida. ¿Qué nos espera en el próximo medio siglo?



Notas

1. R. M. Warner Jr., B.L. Grung, *Transistors: Fundamentals for the Integrated-Circuits Engineer* (John Wiley, 1983).
2. J. Altshuler, *Excursión a la electrónica* (Academia de Ciencias de Cuba, 1971).
3. Véase, por ejemplo, G. Herrera, *Avance y Perspectiva* **15**, 191 (1996).
4. *The New Encyclopedia Britannica*, 15a. ed. (Universidad de Chicago).
5. *Semiconductor devices: pioneering papers*, ed. S. M. Sze (World Scientific, 1991).



FIFTH CHEMICAL CONGRESS OF NORTH AMERICA

November 11-15, 1997 Cancún, Quintana Roo, México

SPONSORS

Sociedad Química de México. División de Química Teórica.
American Chemical Society
Canadian Society for Chemistry

STOCHASTIC PROCESSES IN CHEMISTRY

POLYMERS, COLLOIDS, OTHER MATERIALS, GROWTH PROCESSES, PROTEIN FOLDING

Germinal Cocho Gil

UNAM, México

Martin Grant

McGill University, Canada

Magdaleno Medina

U. A. San Luis Potosí, México

Michael Plischke

Simon Fraser U., Canada

Susan C. Tucker

U. California Davis, U.S.A.

Rashmi Desai

U. of Toronto, Canada

Luis Vicente Hinestroza

UNAM, México

José Onuchic

U. de California San Diego, U.S.A.

Rosalio Rodríguez

UNAM, México

Fereydoon Family

Emory University, U.S.A.

Turab Lookman

U. of Western Ontario, Canada

Ramón Peralta Fabi

UNAM, México

Vladimir E. Tchijov

UNAM, México

DYNAMICS, BROWNIAN MOTION, TIME SERIES, SCALING, SPECTROSCOPY

Eliezer Braun

UAM-Iztapalapa, México

Ivan L'Heureux

U. of Ottawa, Canada

Eduardo Piña

UAM-Iztapalapa, México

Jim Skinner

U. of Wisconsin, U.S.A.

Emilio Cortés

UAM-Iztapalapa, México

Andre Longtin

U. of Ottawa, Canada

Alberto Robledo

UNAM, México

William A. Wassam, Jr.

CINVESTAV, México

Leopoldo García Colín

UAM-Iztapalapa, México

Mariano López de Haro

UNAM, México

Robert Silbey

MIT, U.S.A.

CHEMICAL SYSTEMS, PATTERN FORMATION, EXCITABLE MEDIA

Kathy Hunt

Michigan State U. U.S.A.

Michael C. Mackey

McGill U., Canada

Leonard Sander

U. of Michigan, U.S.A.

Carmen Varea

UNAM, México

Raoul Kopelman

U. of Michigan, U.S.A.

Enrique Peacock-López

Williams College, U.S.A.

Ken Showalter

West Virginia U. U.S.A.

Miguel José Yacamán

ININ, México

Herbert Levine

U. of California San Diego, U.S.A.

Sidney Redner

Boston University, U.S.A.

Harry Swinney

U. of Texas at Austin, U.S.A.

<http://hypatia.ucsd.edu/~kl/cancun.html>

<http://www.acs.org/meeting/5nacc/welcome.html>

Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla

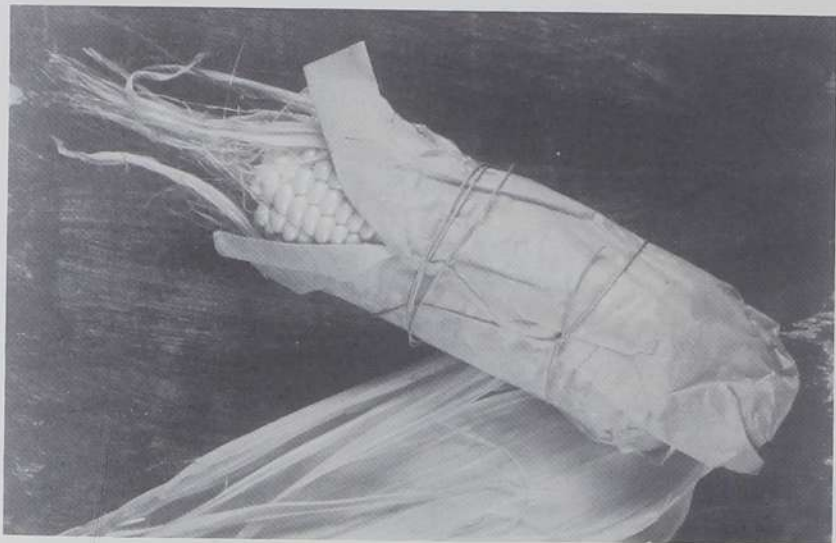
**J.D.C. Figueroa, J. González-Hernández,
G. Arámbula Villa y E. Morales Sánchez**

La guerra de la tortilla

Recientemente, en la televisión, la radio y el periódico, se han dado noticias referentes al aumento del precio de la tortilla y la posible eliminación del subsidio o un subsidio dirigido. Este escenario posiblemente sea uno más de los capítulos de la "Guerra de la Tortilla", la cual se inició en 1990 con los molineros y tortilleros por un lado y harineros por el otro. Es decir, entre los que no han podido modernizar sus negocios y los que sí lo han logrado, aunque de una manera no muy apropiada, como trataremos de explicarlo a continuación. Hemos escrito estas notas tratando de resumir el sentir de algunos investigadores de diferentes instituciones del país que trabajan en varios aspectos de la tecnología de la tortilla. La intención es explicar la problemática de la tortilla y como se ha ido integrando la participación del Cinvestav en la solución de este importante problema.

El problema asociado a los altos niveles de efluentes de nejayote que genera la industria de la masa y la tortilla, y que contaminan a las ciudades, generó una tendencia hacia la modernización industrial de esta tecnología que se fundara en consideraciones ambientales. Sin embargo, la situación se ha complicado debido a la mala calidad de algunos de los productos obtenidos con las tecnologías modificadas, comparadas con las tradicionales.

Los autores son investigadores del Laboratorio de Investigación en Materiales de Querétaro del Cinvestav. Dirección electrónica: figueroa@ciateq.mx



Por otra parte, el proceso de harinización y una publicidad agresiva han permitido arraigar en forma masiva el consumo de tortilla en las ciudades de nuestro país y han evitado que el consumo de tortilla sea sustituido por otros productos como el pan. Sin embargo, esa misma tecnología puede conducir al abandono del consumo de la tortilla entre la población que prefiere buena calidad en el producto, independientemente de su costo. ¿Cómo se puede explicar entonces que a pesar de que se están extinguiendo paulatinamente los molinos de nixtamal, continúa incrementándose la demanda de tortilla? El debilitamiento de la industria nixtamalera tradicional se debe a la regulación de precios y a la estructura de subsidios. Su doble dependencia, tanto del subsidio gubernamental como del precio oficial controlado, le han impedido alcanzar los niveles de capitalización que requieren las empresas modernas para competir, lo que a su vez ha permitido el surgimiento de estructuras monopólicas que antes no existían.¹

Por supuesto, la modernización de la industria de la tortilla constituye una necesidad inaplazable. A pesar de que existen diversas soluciones tecnológicas, su instrumentación parece ser difícil por aspectos sociales y políticos. El primer problema sería qué hacer con las más de 100,000 familias que dependen de la fabricación tradicional de tortilla sin que se afecten sus intereses. La tortilla es uno de los alimentos más baratos del mundo y con el que a los pobres les ha hecho justicia

la revolución mexicana². La historia en todos los países nos ha enseñado lo sensible que es manipular los productos básicos. Cualquier aumento, por pequeño que sea, puede afectar drásticamente al país e incrementar los conflictos sociales, el hambre y generar problemas colaterales de delincuencia y desnutrición². En este contexto, el Cinvestav ha desarrollado tecnologías innovadoras que pueden conciliar en gran medida el avance modernizador sin provocar mayores costos sociales.

La estrategia del gobierno adoptada en el sexenio pasado ha permitido que la industria harinera sea ampliamente favorecida^{1,3}. En 1992 SECOFI autorizó la disminución del precio de la tortilla y CONASUPO suministró a los molineros sólo 1.3 de los 5 millones de toneladas de maíz subsidiado necesarios para satisfacer la demanda nacional. Los molineros y tortilleros se vieron obligados a utilizar harina, en lugar de grano, para la elaboración de tortilla. Como consecuencia, varios nixtamaleros cerraron por falta de competitividad.

Las posición de las dependencias gubernamentales involucradas en el conflicto parece haber favorecido a los harineros. Primero SECOFI otorgó permiso para sustituir la masa tradicional por harina. Para promover el consumo de harina, a través del Programa Rural de Abasto, se distribuyó harina de maíz subsidiada con un precio 40 % menor al oficial y se redujo en un 50 % el abastecimiento del maíz en grano.³



El maíz constituye la "frontera del hambre". Esa hambre ha sido capitalizada por algunos que aprovechan los subsidios estatales al maíz y la imposición del consumo de harina les ha permitido amasar grandes fortunas³. En fin, el producto, ya sea en forma de tortilla tradicional o elaborada con harinas de maíz nixtamalizado, ha frenado el desbordamiento del hambre abierta, sea porque se mantiene el precio subsidiado a la tortilla en el medio urbano o por que una alta proporción se destina al autoconsumo. No obstante, la preferencia histórica de los consumidores mantiene un rechazo a los productos de harinas de maíz nixtamalizados con agentes químicos y conservadores. A pesar de que este producto tiene una textura y absorción de agua convenientes, las próximas generaciones podrían abandonar el consumo de tortilla y productos de maíz si no se mejora la calidad en sabor, olor y textura de mucha de la tortilla que consumimos hoy en día.

La problemática

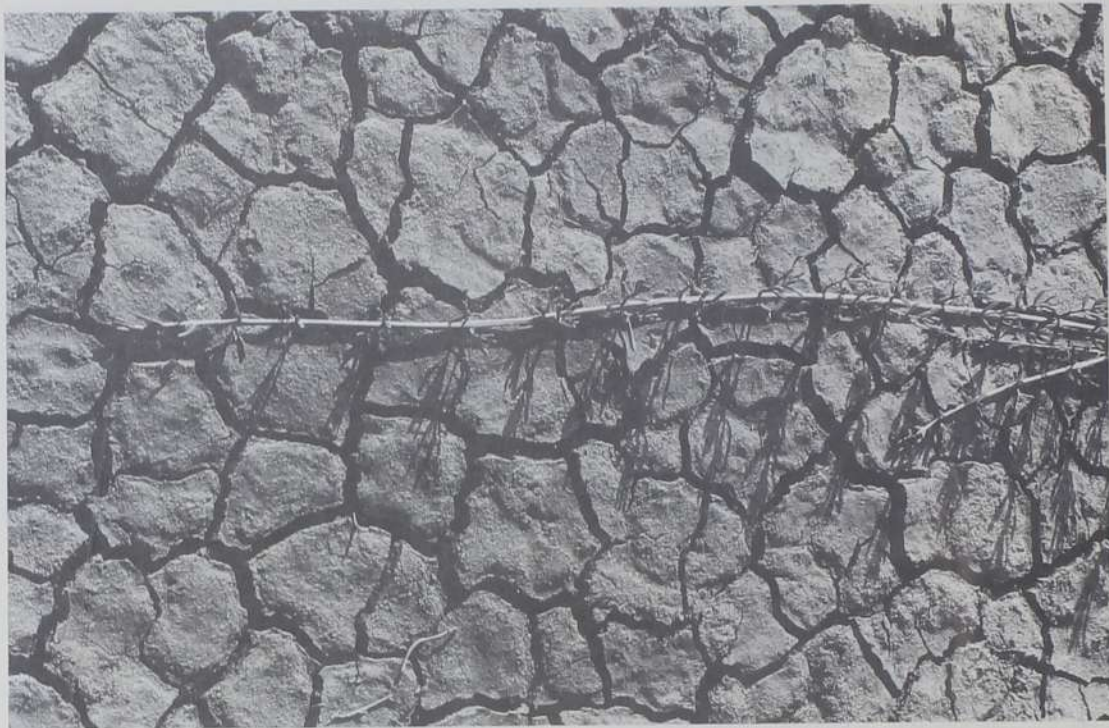
México es el principal consumidor de tortilla en el mundo con un mercado en constante aumento que alcanzó en 1994 la cifra de 11 millones de toneladas anuales⁴. Toda la tortilla producida en el mundo se elabora mediante la tecnología mexicana de nixtamalización y cuyas etapas básicas no han sufrido modificaciones desde hace 3500 años. Esta tecnología tradicional fue modernizada hace 100 años con la in-

vención del molino de piedra que sustituyó al metate; la tortilladora de aplastón luego sustituyó el tradicional torteado y desde hace 75 años contamos con las máquinas tortilladoras automáticas con comales giratorios y troqueladores. De no haberse desarrollado esa tecnología de la tortilla la producción manual para la preparación de la tortilla por parte de la mujer tendría que ser enorme.

El gran logro tecnológico ha sido la fabricación de harina instantánea nixtamalizada. En México las harinas instantáneas son muy accesibles, eliminan las labores cotidianas, intensivas y tediosas del proceso tradicional, y se pueden almacenar durante un cierto período de tiempo. El incremento de costos, carencia de olor y textura adecuada son las principales desventajas de los productos elaborados a partir de las masas deshidratadas. Muchas de las tortillas preparadas con harina instantánea son frágiles y pálidas y se deshidratan rápidamente, quebrándose en la parte central.

Por otra parte, en la época moderna de grandes adelantos tecnológicos, resulta incomprensible que ninguno de los nuevos desarrollos tecnológicos haya incorporado al proceso de modernización de las 23,000 tortillerías y los 25,000 molinos de nixtamal del país. Las máquinas no han sufrido modificaciones substanciales desde que fueron inventadas. Tampoco el proceso tradicional de nixtamalización se ha modificado. Entre sus principales desventajas están la generación de aguas residuales con características muy contaminantes, el proceso consume mucha energía en sus diferentes operaciones y requiere de tiempos relativamente largos para obtener productos con textura y sabor apropiados.

Según Durán⁵, los productores de masas, acostumbrados a la metodología tradicional y sin ninguna presión por parte de las autoridades gubernamentales con respecto a la generación de aguas residuales, nunca se han planteado el cambio o modernización de la tecnología tradicional y siempre han resuelto sus problemas solicitando apoyo o subsidio a las instituciones gubernamentales. Nuestra opinión es que ese fenómeno se presenta en toda la industria nacional aun sin el subsidio. Las empresas no están interesadas en investigación, y mucho menos quieren pagar regalías por desarrollos tecnológicos. Esto es una con-



secuencia de la política proteccionista del gobierno. Sin embargo, con la nueva apertura comercial y mayor competencia el panorama necesariamente tiene que cambiar.

Proyectos de modernización

En el caso de la tortilla el problema ha venido incrementándose año tras año, hasta alcanzar niveles muy altos, ya que consumimos 11 millones de toneladas de tortillas por año⁴. Por cada tonelada de maíz se emplean de 3,000 a 10,000 litros de agua para lavar y enjuagar el nixtamal. El nejayote es el agua de desecho del nixtamal y contiene una alta concentración de sólidos solubles y cal. Si estamos consumiendo 800 millones de tortillas por día significa que hay ríos de agua contaminada de nejayote que afectan fuertemente la ecología del país. Por otra parte, el proceso para el cocimiento indirecto de nixtamal y la tortilla con gas LP es muy ineficiente ya que desperdicia dos tercios del consumo energético que se disipa como contaminante al ambiente. También el proceso presenta tiempos de procesamiento muy largos hasta de 18 horas y el pro-

ducto tiene una vida de anaquel muy corta, así como mala calidad de la tortilla con el uso de algunas harinas nixtamalizadas.

Sin embargo, existe mucha preocupación de algunos industriales y científicos de México ya que el proceso tradicional se ha quedado rezagado con respecto a los nuevos adelantos científicos y tecnológicos. En este contexto, en 1993 investigadores del Cinvestav reunieron a un grupo multidisciplinario de científicos que incluía físicos, químicos en cereales, bioquímicos, electrónicos e ingenieros mecánicos para trabajar juntos en el proyecto de modernización tecnológica de la producción de tortilla. La idea era resolver los problemas asociados a la producción de tortilla aplicando las herramientas de la ciencia moderna a través de investigación de alta calidad.

Varios grupos de diferentes instituciones del país y del extranjero han estado buscando una nueva tecnología que supere los problemas de contaminación, largos tiempos de procesamiento, deficiencia energética y disminución de la calidad de las tortillas elaboradas con el proceso tradicional. Algunos de los

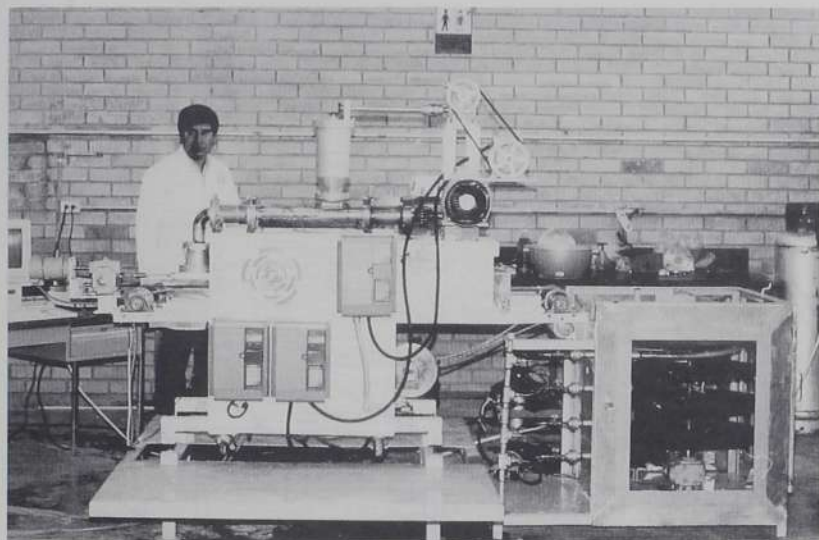


Figura 1. Máquina procesadora de tortillas fabricada en el Cinvestav.

problemas se han resuelto parcialmente. Por ejemplo, para reducir los tiempos de procesamiento se empleó vapor de agua como fuente de calor, cocimiento a la temperaturas de ebullición del agua y en algunos casos la eliminación del reposo^{6,7}. Estas condiciones aceleraron el proceso de nixtamalización; sin embargo, la calidad del producto final, masa o tortilla, resultó deteriorada^{7,8}. Esto es, surgió la llamada tortilla "acartonada" debido a que el maíz y el nixtamal son malos conductores del calor. La aplicación de altos niveles de calor quema o sobrecuece la parte externa del grano quedando el centro crudo. La molienda y mezcla de lo quemado con lo crudo da una mezcla de pésima calidad. Para resolver esta situación se añaden gomas para pegar las partículas y poder formar la tortilla. Esta operación produce la tortilla "acartonada", que es blanca, de olor a papel húmedo, sin sabor típico del nixtamal y que se rompe en la parte central. Es imposible utilizarlas para hacer tostadas porque resisten de tal manera el calor del aceite que tardan muchísimo tiempo en tostarse y finalmente no se obtienen un producto crujiente, sino algo duro y correoso.²

Las técnicas para producir tortillas más blancas involucra el empleo de maíces blancos, una reducción de la cantidad de cal y el aumento del grado de lavado del nixtamal, así como la adición de fibra sintética. Se desconoce el efecto de estos productos químicos en el

consumo humano, en especial porque es un producto que se consume tres veces al día y en cantidades significativamente altas⁹. Resulta preocupante saber que la única vez que se ha padecido la pelagra en México (enfermedad asociada a la falta de niacina y que se manifiesta en diarrea, dermatitis y demencia) surgió en Yucatán con la introducción de cambios en las técnicas culinarias, que involucraban el lavado del nixtamal varias veces para obtener una tortilla más blanca, con lo que se eliminaba la niacina disponible.²

Por otra parte, varios científicos e investigadores de las universidades del país han hecho magníficos trabajos para solucionar los diferentes problemas del proceso tradicional, tales como la eliminación de efluentes contaminantes del nejayote^{5,10}. Durán utilizó el nejayote en la producción de biomasa de alimentos balanceados y en la alimentación de la carpa barrigona y crustáceos como el camarón⁵. Para mejorar la textura y extender la vida de anaquel de la tortilla, Iturbe y colaboradores utilizaron enzimas amilolíticas¹¹. Por su parte, Almeida y Rooney, así como Rubio han hecho uso extensivo de gomas y otros aditivos.^{12,13}

El problema asociado con el bajo valor nutritivo de la tortilla es de carácter socio-político y no lo consideraremos aquí. No obstante, un buen manejo de la tecnología lo puede aliviar en gran medida. Para un

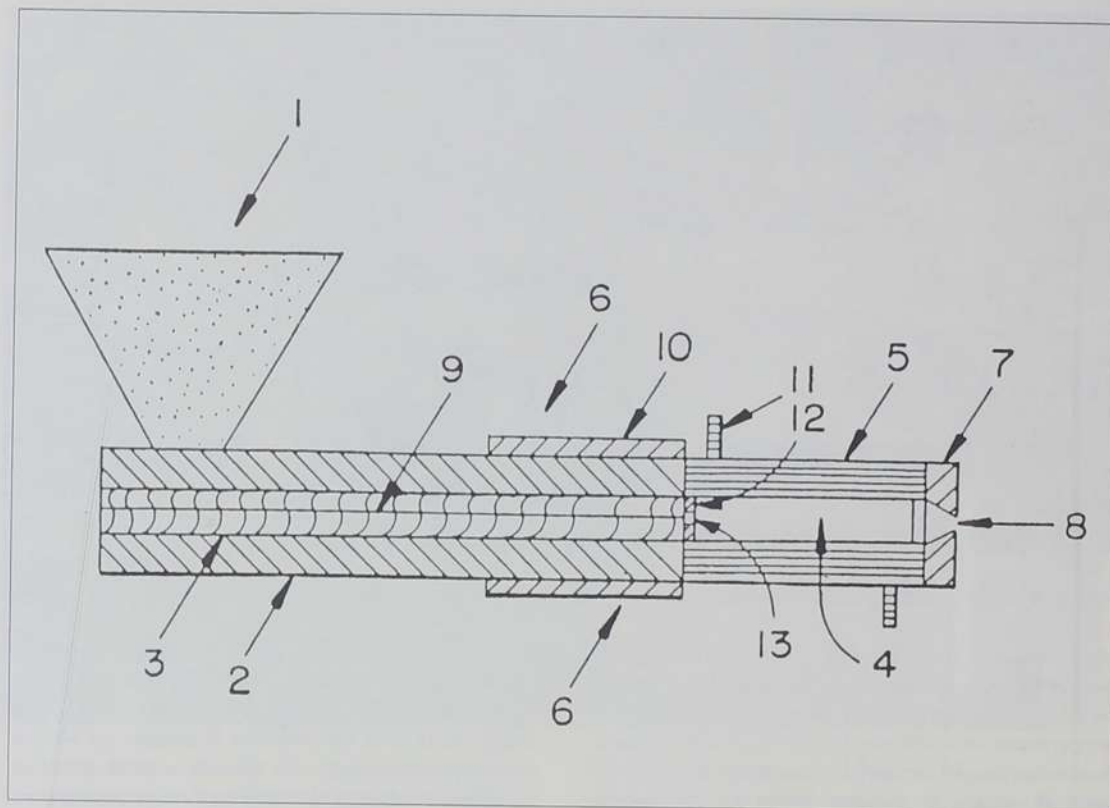


Figura 2. Extrusor de bajo cizallamiento para preparar masa de maíz. Patentes; 5,532,013 y 5,558,886

porcentaje alto de la población la dieta de tortillas y frijoles puede ser monótona y no proporciona los nutrientes suficientes para un buen desarrollo físico y mental¹⁴. En México la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales con un consumo *per cápita* de 325 g/día y sola provee 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio de las necesidades diarias de la dieta en México. En zonas rurales provee alrededor del 70% del total de calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente^{4,15}. En la actualidad, la falta de una dieta apropiada por la limitación de recursos y el incremento de la población, ha hecho que la población sea más dependiente de la tortilla para su alimentación diaria. Sin embargo, como cualquier alimento, la tortilla sola no puede suplir todos los requerimientos nutricionales del organismo para su manutención y desarrollo. El retraso en el desarrollo corporal de los niños de las zonas rurales, en especial en los estados más pobres de México, se debe a defi-

ciencias nutricionales. La desnutrición es crítica en las mujeres embarazadas, ya que sus bebés resultan altamente vulnerables a las enfermedades¹⁶.

El reto es entonces utilizar al máximo los recursos tecnológicos para por lo menos controlar la desnutrición. En este aspecto, muchos investigadores han utilizado harina de pescado, harina de soya, mezclas de maíz y leguminosas para incrementar los niveles nutricionales de la tortilla^{5,10,13}. En algunos casos las tortillas conservan el sabor a pescado, otras veces cambia el color y sabor o el producto se endurece con rapidez. Cuando contiene más de un 8% de soya, se detectan cambios de sabor y color en la tortilla de harina fortificada. La fortificación entonces se hace con harina de soya desengrasada al 7% y un 0.016% de premezcla de hierro, tiamina, riboflavina y niacina, lo que incrementa en alrededor de 2% el contenido de proteína. La vitamina del complejo B puede aumentar tres veces

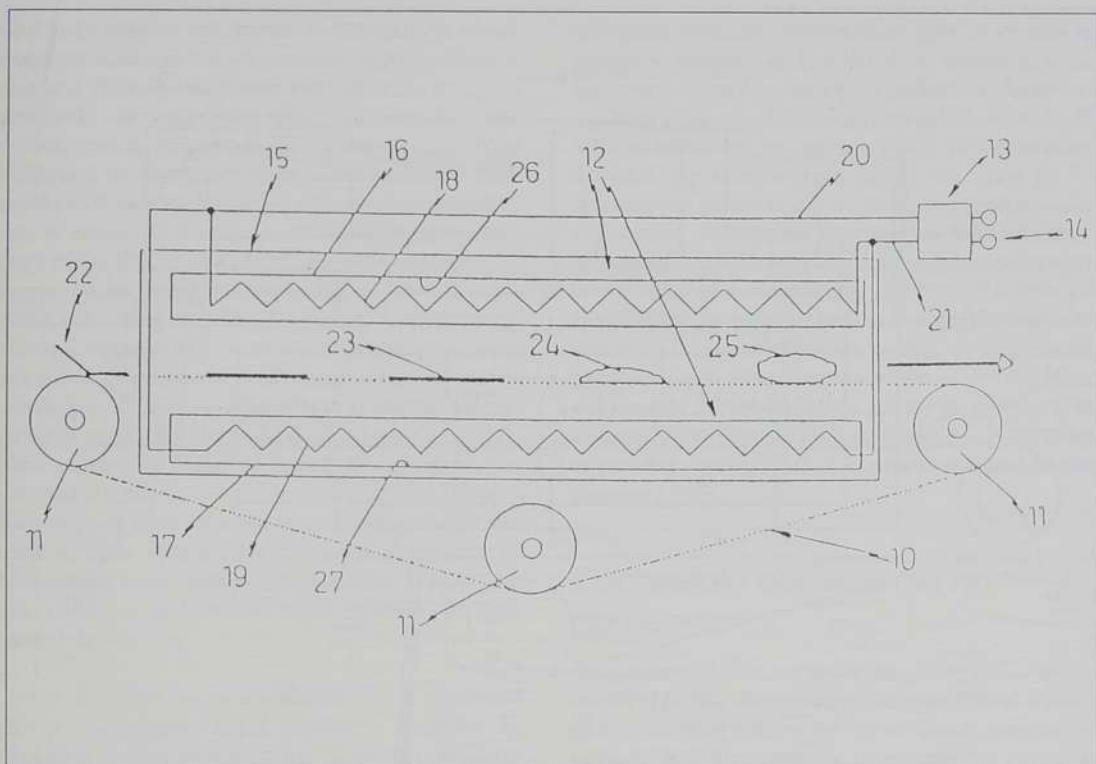


Figura 3. Cocimiento de tortillas con infrarojo (IR). Patentes 5,567,459 y 5,589,210.

más en comparación con la harina regular¹⁷. La adición de estas vitaminas es indudablemente benéfica ya que el maíz las pierde parcialmente durante el proceso de nixtamalización.

En el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se están mejorando los maíces con altos niveles de lisina y triptófano, con el gene Opaco-2 (O2). Actualmente hay maíces QPM (*Quality Protein Maize*) que tienen el gene O2 modificado para producir endospermo cristalino, duro y dar un mayor rendimiento. También el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha estado trabajando en el mejoramiento genético de la calidad tortillera y nutricional de genotipos de maíces⁹.

El método tradicional para la producción de la masa y las tortillas que consta de las etapas de cocimiento del maíz con agua y cal, molienda del nixtamal, no se ha modificado substancialmente, y sus

problemas no se han corregido de fondo. En la Unidad Querétaro del Cinvestav se han estudiado los aspectos básicos de la nixtamalización. Esto nos ha permitido desarrollar nuevos procesos de nixtamalización que pueden resolver los problemas desde un punto de vista muy diferente: en lugar de reciclar el nejayote y sus residuos, se eliminaron los efluentes contaminantes y ya no existe el problema del nejayote. De esta manera se aprovechan todas las partes del grano para incrementar los rendimientos de la tortilla. Las partes externas del grano, en el proceso tradicional se van al caño y con la nueva tecnología ecológica se aprovechan, se conservan y permiten incrementar en general los aspectos nutricionales, ya que presentan altos contenidos de lisina y triptófano cercanos a los valores de la tortilla elaborada con maíz QPM.

Los gastos energéticos se redujeron al hacer eficiente la transferencia térmica durante el cocimiento y disminuir el volumen de agua del proceso. Para la nix-

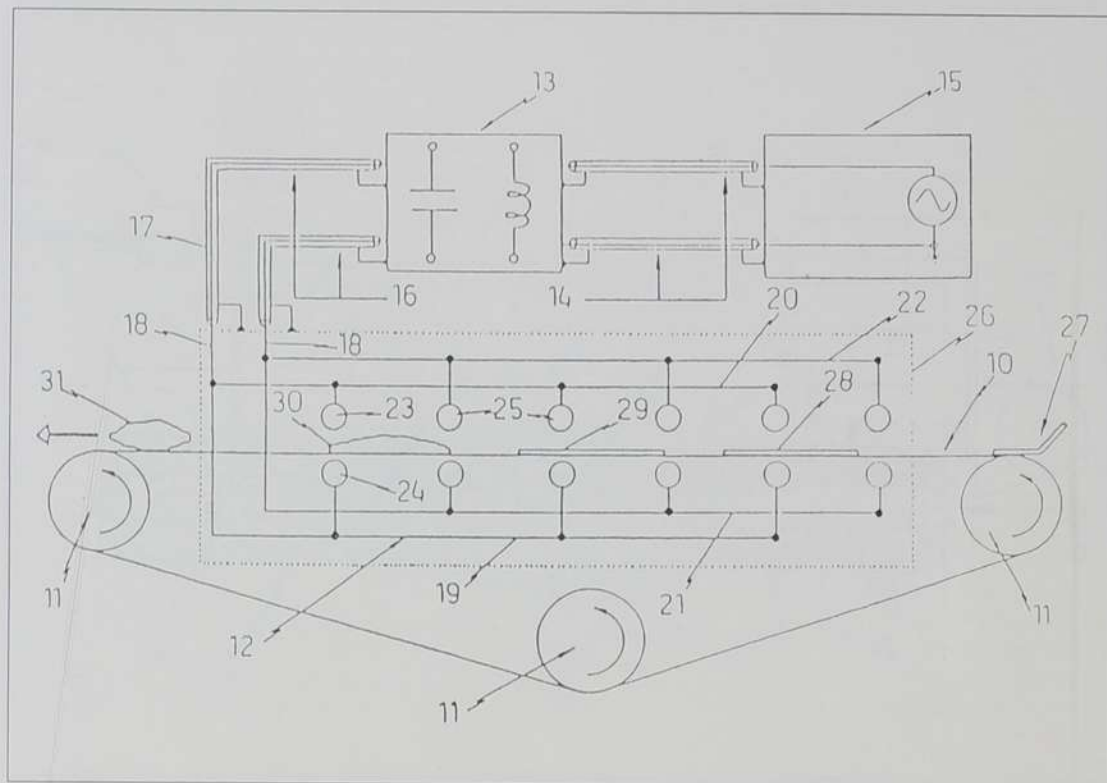


Figura 4. Cocimiento de tortillas con ondas de radio de muy baja frecuencia (RMBF). Patentes 5,553,532 y 5,593,713.

tamalización es necesario calentar volúmenes de agua de 3 m^3 por tonelada de maíz. En el nuevo proceso se necesita calentar solamente el agua necesaria, esto es un m^3 , y se tiene en esta etapa un ahorro del 75% del gasto energético. Se ahorró también agua al utilizar solamente la necesaria para el procesamiento, esto es 75% menos que en el proceso tradicional. Los tiempos de procesamiento se acortaron de horas a minutos. Se incrementó la vida de anaquel y mejoró el olor, aroma y sabor de la tortilla, así como su textura.

Los nuevos procesos no son dependientes del tipo de maíz como lo es el proceso tradicional. Hay maíces de muy buen rendimiento adaptados a ciertas zonas que con el proceso tradicional no se pueden aprovechar eficientemente por su alto desprendimiento de pericarpio durante la cocción y bajo rendimiento de masa. En estos casos los nuevos procesos no son tan sensibles al tipo de maíz y en general pueden proce-

sarse obteniendo altos rendimientos de masa y muy buenas tortillas con todos los tipos de maíces.

Proceso de nixtamalización

La nixtamalización se puede entender químicamente como una gelatinización del almidón; como cualquier reacción química no es instantánea. Datos experimentales han mostrado que la velocidad de reacción esta en función de la concentración del almidón sin gelatinizar, el cual decrece con el tiempo^{18,19}. La velocidad de reacción es función a su vez de la temperatura, según la ecuación clásica de Arrhenius¹⁸. Con algunas modificaciones, esta ecuación explica y cuantifica muy bien el efecto acelerador de la temperatura sobre el cocimiento.^{18,19}

En la década de los años 60 se efectuaron investigaciones tendientes a acelerar el proceso de nixtamali-

zación. El objetivo era acortar los tiempos de procesamiento. Como se dijo, la ecuación de Arrhenius predice que el tiempo necesario para alcanzar un grado apropiado de cocimiento está estrechamente relacionado con la temperatura de cocimiento. El método tradicional de cocimiento tarda varios minutos a temperatura de ebullición (tiempo total de nixtamalización con el reposo 18 horas) y, teóricamente, de pocos segundos a 180 °C. Por ello, en esas investigaciones se empleó vapor de agua como fuente de calor, y en algunos casos la eliminación del reposo^{6,7}. Estas condiciones aceleraron el proceso de nixtamalización, pero la calidad del producto final, masa o tortilla, resultó deteriorada^{7,8}. Esto se debe a que el proceso de cocimiento tradicional depende de la diferencia en temperatura entre la fuente de calor y el alimento²⁰. Un cocimiento uniforme en los granos para obtener esas harinas no se logra debido a la baja conductividad térmica del maíz, nixtamal y la masa, que al aumentar la temperatura sobre-coce o sobre-gelatiniza la superficie más cercana a la fuente de calor derivando en baja calidad de la tortilla.

Las limitantes en la aceleración de la nixtamalización, nuevamente según predice la ecuación de Arrhenius, son la temperatura y la difusión de agua dentro del grano de maíz. En la nixtamalización del grano entero se tiene un sistema en el cual la migración de las moléculas de agua en el interior de los gránulos de almidón encuentra una barrera física que limita la gelatinización del almidón.

Esa condicionante se resolvió según se describe en las patentes 5,532,013 y 5,558,886 de los EUA, adjudicadas al Cinvestav sobre procesos de cocimiento acelerados y equipos para la producción de masa de maíz que describen un método continuo y rápido, con una molienda en seco del grano de maíz para reducir el tamaño teórico de partícula de 150-200 micras. Con este tamaño de partícula el cocimiento de maíz y la difusión del agua necesaria se efectuaba en 1.4 minutos necesarios para llevar a cabo las operación automática y continua de la máquina. La difusión del agua a 80°C es de $1.5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{h}$. Para este caso específico el tiempo de difusión del agua en el gránulo de almidón es de un minuto.

Una vez obtenida la cantidad de agua para efectuarse la reacción, se planteó la reducción del gasto

energético. Para ello se estudió la manera en que la energía se transmite en el material. Se determinó la difusión térmica en función de los parámetros de procesamiento y calentando menos cantidad de agua. En el método tradicional se requiere elevar la temperatura del agua, por calentamiento directo con fuego por lo que existen pérdidas del 50% por convección. En el proceso cubierto en las patentes mencionadas, se emplea un extrusor de bajo cizallamiento con una camisa con resistencias eléctricas. La energía calorífica de las resistencias y la energía mecánica de extrusión son convertidas en presión o temperatura para hacer más eficiente y controlado el proceso. Con este método se obtiene buena calidad de la masa y se reducen los tiempos de procesamiento de 18 horas en el proceso convencional a 1.5 minutos en el nuevo proceso.

Cocimiento con energía no convencional

En ninguno de los métodos mencionados anteriormente se utilizó el cocimiento de maíz con el uso de energía de radio frecuencias u otro tipo de energía no-convencional. El método de cocimiento por extrusión descrito es satisfactorio en cuanto al tiempo de procesamiento para producir masa de buena calidad. Sin embargo, algunos otros métodos presentan importantes deficiencias debido a la difusión térmica generada durante el proceso de cocimiento. La baja conductividad térmica de la masa y la cantidad de energía desperdiciada en calentar el equipo hacen de algunos de estos procesos lentos e ineficientes comparado con las nuevas tecnologías.

Para corregir las deficiencias que presentan los métodos de contacto térmico directo, en el Laboratorio de Investigación en Materiales del Cinvestav hemos explorado el uso de radiación de micro-ondas, infraroja (IR) o radio frecuencias, en donde la energía calorífica se genera localmente por vibración molecular de los constituyentes químicos excitados. El uso de micro-ondas ha sido eficiente en el cocimiento de diversos productos alimenticios. En este proceso se lleva a cabo una deshidratación excesiva, lo cual resulta en un cocimiento no característico debido a que ondas con estas frecuencias penetran todo el interior de la muestra.

Por otra parte, el cocimiento con IR y con ondas de radio de muy baja frecuencia (RMBF) permite el control de la penetración de campos magnéticos al interior de la muestra. Este principio ha sido registrado en las patentes 5,567,459 y 5,589,210 de los EUA para cocimiento con IR y que genera las dos capas externas (0.5 a 1.9 mm) de la tortilla, que tienen la función del inflado y la retención del agua para el cocimiento eficiente de la tortilla. Las patentes 5,533,532 y 5,593,713 registradas en EUA describen el equipo y procesos para el cocimiento utilizando ondas de radio de muy baja frecuencia y también sus contrapartes mexicanas con números de registro 9336544, 946554, 936338, 936330, y 966344, todas adjudicadas al Cinvestav. En estas patentes, el cocimiento a través del MBF depende de la geometría del producto. Por tanto, para cocer productos con formas irregulares se deberá utilizar una antena emisora de la radiación que acople la mayor parte de la energía a la geometría del producto. El cocimiento por infra-rojo (IR) está basado en el acoplamiento de la energía electromagnética a la muestra en el intervalo donde las moléculas de agua presentan la mayor absorción mediante un arreglo óptico de los emisores de IR sintonizados a una longitud de onda descubierta. Esto permite el cocimiento de la tortilla u otros productos en tiempos bastante menores que los empleados en el proceso tradicional.

Otro método de cocimiento no-convencional es el óhmico. El cocimiento óhmico, descrito en otra de nuestras patentes, es un novedoso tratamiento en el cual la corriente eléctrica es pasada a través del alimento para lograr un cierto grado de cocimiento. La corriente genera calor (efecto Joule) transmitiendo la energía a donde se necesite. Si la constitución del alimento no varía mucho, se puede esperar un cocimiento muy uniforme en el alimento²¹. Este método óhmico aprovecha la disipación eléctrica para generar calor para el cocimiento. La técnica consiste en considerar al material de estudio como un circuito eléctrico con una impedancia que tiene una frecuencia de resonancia a la cual se obtiene una máxima disipación de energía. Por medio de espectroscopía de impedancia se obtiene la frecuencia de trabajo a la cual se obtiene máxima disipación de calor. La cantidad de energía aplicada a la muestra es igual al producto de la corriente por el voltaje. La potencia es disipada en la muestra como si fuera un resistor. Esto es, la energía incrementa la temperatura de la muestra y produce el

cocimiento. En las técnicas tradicionales de calentamiento, éste no se efectúa en forma rápida debido a que el calor tiene que ser conducido de donde es generado hacia la muestra, para luego difundirse en ésta hasta homogenizar su temperatura. En el sistema óhmico la velocidad de calentamiento es limitada solamente por la cinética intrínseca de los procesos involucrados; por tanto, la conducción no es una limitante ya que el calor es generado localmente. Una ventaja más de este sistema sobre todos los sistemas de cocimiento mencionados anteriormente es el control del grado de cocimiento. Esto es, el perfil de calentamiento se puede programar de manera casi arbitraria y también monitorar y controlarse con gran precisión, ya sea con una computadora u otro dispositivo más barato.

Logros y perspectivas

Una de las funciones del Cinvestav es la formación de recursos humanos de alto nivel; en nuestro caso, el grupo de investigación sobre la tecnología de la tortilla ha formado también científicos calificados. Se han publicado más de 20 artículos originales en revistas especializadas y dos capítulos en libros sobre el tópico de la tortilla. Nuestro trabajo ha sido reconocido mundialmente por las prestigiadas revistas *Science*, *National Geographic* y la cadena de TV BBC de Londres. En México, el periódico *La Jornada*, en su suplemento de *Investigación y Desarrollo*, le dedicó un espacio. Recientemente nuestro trabajo fue merecedor del primer lugar en desarrollo tecnológico en Querétaro (1996), en 1994 del Premio Coca Cola en la categoría profesional, y contamos con 10 patentes. Aunque siempre ha existido un estrecho vínculo con la industria, desde fines de 1996 la vinculación se ha acentuado con la participación directa de empresarios que han estado aportando recursos necesarios para la adaptación de varias de esas tecnologías a una escala industrial.

Mediante las nuevas tecnologías se podría eliminar el 100% del uso de combustible (gas); se evita la emisión de 130 millones de pies cúbicos de gases nocivos al aire. En la ciudad de México los molineros procesan 2 millones de toneladas de maíz al año y las nuevas tecnologías permitirían ahorrar 43 millones de litros de agua potable al día; y, además, los efluentes se

dejarían de derivar diariamente al drenaje, entre 500 y 550 toneladas de residuos sólidos altamente contaminantes.

En los nuevos procesos se trata de añadir valor al maíz justamente en el momento en que se va a manufacturar la tortilla para distribuirla en el mercado minutos después. En este caso, el problema no es fabricar masa o harina, sino pasar de la manera más sencilla de maíz a la tortilla. Esta nueva tecnología es capaz de incrementar el rendimiento de la tortilla en un 15%, disminuir en 90% el consumo de agua sin producir efluentes contaminantes y optimizar en más del 50% el gasto de energía.

Los nuevos procesos y equipos desarrollados permiten el incremento nutricional de la tortilla. Esto se debe a que la masa y la tortilla podrán ser integrales si se desea. Con ello se contribuirá a que este producto super básico en la dieta de los mexicanos proporcione más nutrientes. Adicionalmente, el calcio involucrado genera propiedades deseables como color, sabor, textura y vida de anaquel, y es esencial en la prevención de pelagra y osteoporosis que se manifiesta como fragilidad de los huesos por pérdida de masa del sistema óseo. Es posible reducir en un 80% los niveles de aflatoxinas en maíz contaminado. Se espera, por tanto, incrementar el valor nutricional y rendimiento de tortilla especialmente en las zonas rurales, sin afectar la calidad y utilizando los utensilios disponibles en esas zonas. La tortilla integral obtenida mediante nuestro proceso tiene los nutrientes de las capas externas del maíz (pericarpio), que en el proceso tradicional se pierden ya que es el ingrediente donde se concentran gran cantidad de proteínas de buena calidad, vitaminas, minerales y fibra dietaria. La fibra, como se sabe, reduce los niveles de colesterol en la sangre, previene la incidencia de enfermedades cardiovasculares y el cáncer de colon. En nuestro proceso la tortilla integral obtenida tiene una textura suave y fuerte para que no se rompa cuando se use como cuchara o plato, con igual olor y sabor que la de nixtamal, contiene alto contenido de proteína, lisina y fibra dietaria.

Los conocimientos profundos y casi místicos plasmados en el proceso tradicional, inventado por las mujeres prehispánicas hace más de 3500 años se conservan en el nuevo proceso. Esto nos hace sentir humildes y nos da mucho ánimo para continuar explorando el potencial tan grande que todavía tiene el

método de nixtamalización para seguir alimentando a nuestro pueblo. ¿No lo cree usted así?

Agradecimientos: Agradecemos a los ingenieros, Marcela Gaytán, Araceli Mauricio y Rivelino Flores, así como a Roberto Tapia por el apoyo brindado en los trabajos de investigación.



Notas.

1. T. F. Torres, en *La industria de la masa y la tortilla* (UNAM, PUAL, 1996) p. 19.
2. E. A. Lomelí, *op. cit.* p. 81.
3. M. Mitastein, *ibid* p. 49.
4. J. D. C. Figueroa, F. Martínez-Bustos, J. González-Hernández, F. Sánchez-Sinencio, J.L. Martínez y M.T. Ruiz, *Avance y Perspectiva* **13**, 323 (1994).
5. D. C. Durán, *Industria Alimentaria* **18**, 20 (1996).
6. M. R. Molina, M. Letona y R. Bressani, *J. Food Sci.* **42**, 1432 (1977).
7. C.M. Vaquero y P. Reyes, Patente No. 4,594,260 (EUA, 1986).
8. *Información Científica y Tecnológica* (ICyT) **1**, 16 (1979).
9. C.G. Vázquez y M.Y. Salinas, *op. cit.* p. 127.
10. A. Trejo-González, A. Feria-Morales y C. Wild-Altamirano, en *Modification of Proteins. Food, Nutritional, and Pharmacological Aspects*, Eds. E.R. Feeney y J.R. Whitaker, *Advances in Chemistry Series* **198**, 246 (1980).
11. Ch. F.A. Iturbe, A.R.M. Lucio y A. López-Minguiá, *J. Food Sci. and Tech.* **31**, 505 (1996).
12. H.D. Almeida y L.W. Rooney, *Industria Alimentaria* **18**, 4 (1996).
13. M. Rubio, *Industria alimentaria* **18**, 9 (1996).
14. H.O. Carrión, *op. cit.* p. 115.

15. J. González-Hernández, J.D.C. Figueroa, M.L. Martínez, H. Vargas y F. Sánchez-Sinencio, *Technological Modernization of Alkaline Cooking Process for the Production of Masa and Tortilla* (World Scientific, Singapur, 1997) p. 162.

16. A. Chavéz, *La nueva alimentación* (PROFECO, Editorial Pax, México, 1995).

17. M.R. Contreras, *op. cit.* p. 119.

18. B.C. Burros, L.A. Youngs y P.A. Carroad, *J. Food Sci.* **52**, 1372 (1987).

19. Bhattacharya y M.A. Hanna, *J. Food Sci.* **52**, 764 (1987).

20. K. Sasaki, A. Shimada y K. Hatae, *Agricultural and Biological Chemistry* **52**, 2273 (1987).

21. K. Uemura, S. Isobe, T. Imai y A. Noguchi, *J. Jap. Soc. Food Sci. Tech.* **43**, 510 (1996).



Síntesis orgánica en fase sólida

Ignacio A. Rivero Espejel

Introducción

Las primeras aplicaciones de polímeros como grupos protectores en síntesis orgánica han estado relacionadas con la síntesis consecutiva de moléculas grandes tales como oligosacáridos, oligonucleótidos y polipéptidos.¹ La fase sólida fue desarrollada originalmente para la síntesis de péptidos por R. B. Merrifield; esta técnica se basa en el uso de una re-sina de poliestireno que se emplea en forma de pequeñas esferas y es insoluble en casi todos los solventes. La síntesis orgánica en solución involucra procesos como aislamiento y purificación que requieren mucho tiempo. La síntesis en soportes sólidos permite que las reacciones sean cuantitativas en cada etapa y requiere procesos simples como lavado y filtración. El éxito de la síntesis en la fase sólida depende de la elección de la re-sina, del soporte y de la estrategia del grupo protector.

Síntesis orgánica en fase sólida

En la actualidad existe un enorme interés en el desarrollo de nuevas aplicaciones de la fase sólida en síntesis orgánica y el número de artículos publicados en esta área es considerable. En la figura 1 se muestran los componentes más importantes de la síntesis orgánica en fase sólida (SOFS).

El Dr. Ignacio A. Rivero Espejel es investigador del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana, Apdo. Postal 1166, 22000, Tijuana, B.C.



Figura 1.

La esfera corresponde al soporte sólido y el grupo espaciador es necesario para que el sitio de unión esté lo suficientemente separado de la superficie sólida para permitir que las interacciones con el reactivo sean más efectivas; en el caso de que el grupo espaciador sea pequeño, los sitios se verán ocluidos o bloqueados por el soporte.

El grupo enlazante es determinante en este proceso, ya que debe cumplir dos requisitos fundamentales: este grupo debe formar uniones lo suficientemente estables a las diferentes etapas a que será sometido el sustrato y deben liberarse fácilmente y evitar la degradación del soporte o del sustrato.

Características de la fase sólida. El soporte sólido es la única característica que distingue la síntesis en fase sólida de otras técnicas. Los requerimientos generales para el uso del soporte son los siguientes: contener sitios activos (figura 2) que formen uniones covalentes con el sustrato, que sean estables a las condiciones físicas y químicas de las diferentes etapas de la síntesis y que se pueda liberar fácilmente.

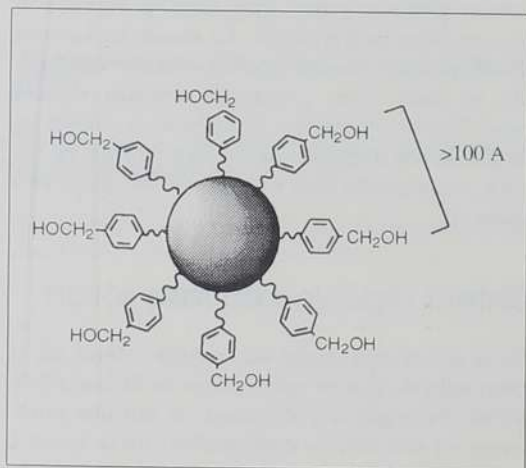


Figura 2.

Tabla 1. Soportes utilizados en síntesis orgánica

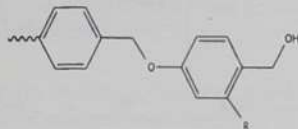
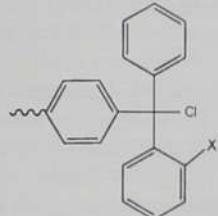
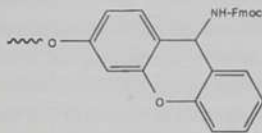
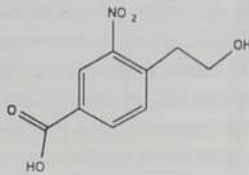
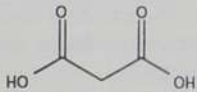
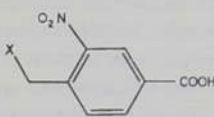
Soporte sólido	Características
Copolímero PE/DVB(1-5% entrecruzado)	Tiene buenas propiedades de expansión: Se expande arriba de 5 veces su volumen seco.
Resinas poliácrid hexametilendiaminas y polímeros relacionados	Resinas polares, buenas propiedades de expansión en agua y dimetilformamida, no se expande en diclorometano.
Poli(N-(2-(4hidroxifenil) etil acrilamida))	Se utiliza en síntesis de péptidos en fase sólida (SPFS).
Pepsina K	Estable a la presión, utilizada en SPFS de flujo continuo, propiedades bajas de expansión.
CPG (vidrio de poro controlado)	Estable al calor y la presión, estable en reactivos agresivos.
Copolímeros tentagel, PEG(poli(etilenglicol))-PE/DVB	Polar, se expande en agua, metanol, dimetilformamida, y diclorometano, estable a la presión, adecuados para bioensayos en resinas.

Soportes y acopladores (enlazantes). En la tabla 1 se muestran algunos soportes que han sido utilizados en la síntesis orgánica², así como las características más importantes de cada uno de los soportes.

La elección del grupo enlazante es uno de los factores más decisivos para el éxito de cada una de las etapas de una reacción. Al igual que los grupos protectores, debe ser estable a todos los reactivos utilizados en la síntesis. Además, estos grupos deben ser fáciles de remover bajo condiciones suaves sin que los productos finales resulten afectados². En la tabla 2 se muestran algunos grupos enlazantes estables en bases y otra con grupos enlazantes estables en ácidos débiles.

Ventajas de la fase sólida. Una aplicación típica de un grupo protector polimérico se muestra en la figura 3, en el que una molécula polifuncional (1) es adherida a un polímero reactivo funcionalizado de manera conveniente por una reacción de acoplamiento, la cual produce un material polimérico soportado (2). Este compuesto funcionalizado puede ser entonces modifi-

Tabla 2. Grupos enlazantes utilizados en fase sólida

GRUPO ENLAZANTE	COMENTARIOS (CONDICIONES DE DESPROTECCIÓN)
ESTABLES EN BASES	
	Grupo enlazante de Wang (R=H); ATF 95%; inmovilización de ácidos carboxílicos. Grupo enlazante SASRIN (R=OMe); ATF 1%; inmovilización de ácidos carboxílicos.
	Grupo enlazante cloruro tritil (X=H); ácidos débiles (HOAc); inmovilización de nucleófilos. Grupo enlazante cloruro de 2-clorotritil (X=Cl); ácidos muy débiles (HOAc, CH ₂ Cl ₂ (1/4)); inmovilización de nucleófilos.
	Amida de Sieber; ATF/CH ₂ Cl ₂ (1/99); inmovilización de ácidos carboxílicos por formación de amidas.
ESTABLES EN ÁCIDOS	CONDICIONES DE ROMPIMIENTO DEL ENLACE; MECANISMO; APLICACIÓN; COMENTARIOS.
	DBU/piperidina; adecuada para la síntesis de péptidos, oligonucleótidos y oligosacáridos en soportes aminometilados; inmovilización de ácidos carboxílicos.
	NaOH; saponificación; inmovilización de alcoholes, aminas (irreversible) en resinas hidroximetiladas PE/DVB.
	Fotólisis (hv=350 nm), bajo gas inerte; X=Halógeno, OH, NH ₂ ; inmovilización de ácidos carboxílicos.

cado en la fase sólida por reacciones con los reactivos adecuados en uno o más pasos sucesivos. El polímero funcionalizado protegido puede ser restaurado al li-

berar el producto (4) en la fase soluble. La reacción de disociación también puede modificar el grupo funcional el cual fue ligado al polímero inicialmente.

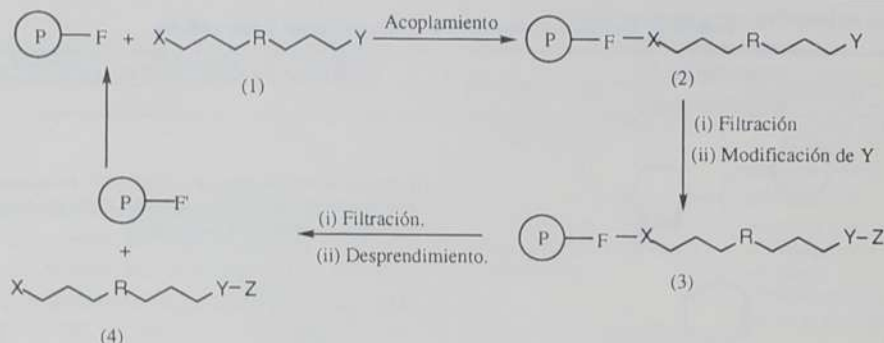


Figura 3.

Las ventajas potenciales de la síntesis en fase sólida son:

- (1) El soporte polimérico activado es fácilmente separado de las especies de bajo peso molecular.
- (2) La fácil recuperación del polímero hace posible regenerarlo y reusarlo en posteriores síntesis. Esto es muy importante en la síntesis industrial desde un punto de vista económico.
- (3) Este método elimina pérdidas por manipulación física porque todas las reacciones se llevan a cabo en el mismo reactor y por lo tanto el trabajo puede ser automatizado.
- (4) La purificación de los intermediarios es un procedimiento rutinario de lavado el cual elimina pérdidas.
- (5) La reacción puede ser llevada a cabo con un exceso del reactivo para forzar que se completen las reacciones individuales, favoreciendo un alto rendimiento del producto final y el reactivo no utilizado puede ser removido fácilmente de la reacción.

El soporte polimérico es inodoro y no tóxico, que son consideraciones importantes desde un punto de vista ambiental.

Las desventajas más importantes son: (a) la selección del grupo enlazante, debido a que comercialmente existe un número limitado de resinas preparadas que son costosas, y (b) el método de análisis para el monitoreo en cada una de las etapas.

Análisis y monitoreo de reacciones en soportes sólidos. El concepto de síntesis en fase sólida es ampliamente utilizado en síntesis de biopolímeros, síntesis orgánica de moléculas pequeñas y recientemente en la química combinatorial. La técnica de síntesis en fase sólida (SFS) combinada con la química combinatorial tiene un gran impacto en el desarrollo de nuevos medicamentos y de la química en general. Esto ha incrementado el desarrollo de métodos analíticos para estudiar la química orgánica en fase sólida. Uno de los puntos débiles de la SFS es que las técnicas tradicionales para monitorear una reacción como TLC y ^1H -RMN no se pueden aplicar a los compuestos soportados en fase sólida³. Por lo tanto se requiere el uso de métodos indirectos para evaluar el progreso de las reacciones tales como pruebas de color (ninhidrina) o la liberación del soporte. Desafortunadamente las técnicas analíticas para las muestras de SFS no se han desarrollado lo suficiente, ya que por lo general el compuesto debe ser liberado de la resina por procesos químicos o fotoquímicos y luego caracterizarlo por métodos convencionales.

El RMN de C-13 puede ser útil para caracterizar la SFS de los productos pero es una técnica lenta para monitorear la reacción. La técnica de ^1H RMN tiene suficiente sensibilidad para analizar rápidamente las reacciones de SFS pero se producen señales bastantes anchas que son típicas de productos soportados en sólidos que impiden realizar una interpretación adecuada. Actualmente se proponen técnicas en solución de ^1H RMN con rotación del ángulo mágico (MAS: *magic-angle spinning*) que originalmente se utilizó en

RMN para sólidos rígidos para eliminar el ensanchamiento de las señales debido a la anisotropía del desplazamiento químico. En trabajos recientes se ha demostrado que MAS es útil para obtener espectros de alta resolución en muestra de fase líquida ya sea en solución o suspensión^{4,5}.

Los métodos espectroscópicos de FT-IR son técnicas usadas para detectar modificaciones en los grupos funcionales del compuesto soportado. Estos análisis son por lo general destructivos y se requiere optimizar la preparación de la muestra. Por lo tanto la calidad del espectro depende de la homogeneidad de la matriz. Esta técnica es bastante útil y se puede aplicar adecuadamente cuando el soporte presenta una alta capacidad de grupos enlazantes; esto aumenta los equivalentes del compuesto soportado por gramo del soporte y por lo tanto las señales son lo suficientemente significativas para identificar de manera adecuada a los grupos funcionales. Además, las modificaciones a la estructura deben ser muy diferentes para poder caracterizarlas. Con estas últimas consideraciones es posible aplicar la espectroscopía de FT-IR convencional. Para estructuras más complejas y con modificaciones menos perceptibles, se presentarán espectros más complicados debido a los efectos de la dispersión y reflexión. La espectroscopía de fotoacústica (FTIR) presenta ventajas sobre técnicas de IR convencional ya que mide únicamente la radiación absorbida y no se ve afectada por los efectos de dispersión y reflexión.

Síntesis en fase sólida de moléculas pequeñas

Inmovilización. Un problema importante es el de proteger selectivamente uno de dos grupos funcionales en un compuesto. Con frecuencia se obtiene una mezcla de derivados mono, di y no protegido, la cual debe ser separada por métodos muy laboriosos. El aislamiento del producto no es necesario cuando se utiliza el soporte sólido como grupo protector y de esta manera sólo uno de los grupos funcionales puede ser protegido por inmovilización en el soporte. Este proceso es un ejemplo general del principio⁶ de anzuelo. En las siguientes reacciones se utilizarán siglas para denotar a los diferentes tipos de resinas: PE=poliestireno, DVB=divinilbenceno, tenta-gel=copolímeros de poliesti-

reno y poli-etilenglicol, CPG= vidrio de poro controlado.

Reacción de Mitsunobu. Esta reacción⁷ constituye un método eficiente y utilizado comúnmente en química orgánica para la síntesis de ésteres y éteres aromáticos con inversión de configuración (figura 4).

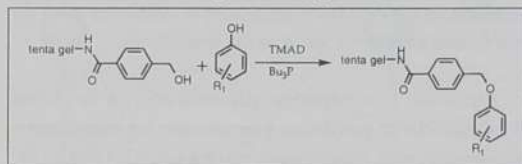


Figura 4

Aldehídos y cetonas. La inmovilización de aldehídos y cetonas en soportes poliméricos se realiza por medio de la acetilación utilizando resinas funcionalizadas con 1, 2- o 1, 3- dioles⁸ (figura 5).

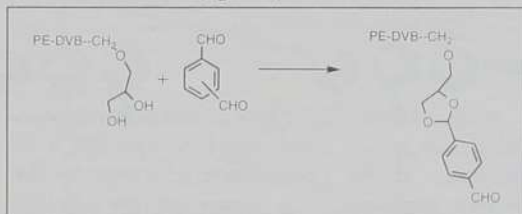


Figura 5

Ácidos dicarboxílicos. Se han obtenido rendimientos altos de monoamidas monoéster en síntesis en fase sólida⁹, estas reacciones en solución generalmente se producen en rendimientos bajos (figura 6).

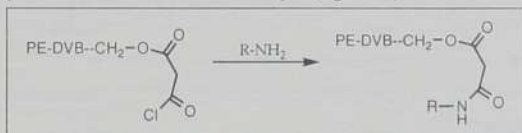


Figura 6

Reacción para formar anillos. Se han soportado enófilos y dienófilos en fase sólida para realizar reacciones de Diels-Alder¹⁰, también han sido utilizados para atrapar intermediarios reactivos (figura 7).



Figura 7

Síntesis de oligómeros

Cuando se establece la actividad biológica de un péptido de bajo peso molecular con características peptidomiméticas pueden ser utilizados como medicamentos orales¹¹. Este hecho justifica el desarrollo de péptidos, y uno de los métodos más eficientes es el de fase sólida para crear bibliotecas específicas.

Peptoides. Los péptidos que contienen a la glicina N-sustituída en pequeños bloques son los compuestos actualmente más relacionados con los péptidos (figura 8).

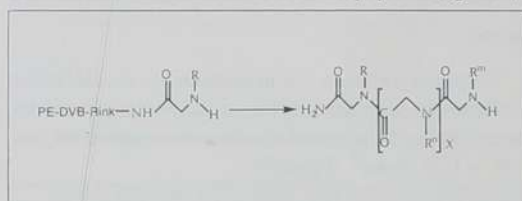


Figura 8.

Oligocarbamatos. La síntesis en fase sólida de oligocarbamatos es una nueva forma de investigar a los oligómeros activos. Comparando a los péptidos con los oligocarbamatos, estos últimos son más hidrofóbicos y más estables en la presencia de proteínas como tripsina y pepsina (figura 9).

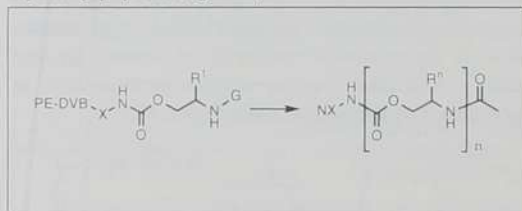


Figura 9.

Ácidos nucleicos-peptidicos. Los oligómeros híbridos con propiedades de oligonucleótidos y péptidos¹², pueden tener aplicaciones en la terapia de insensibilidad del DNA y su diagnóstico (figura 10).

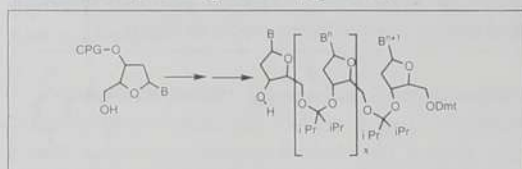


Figura 10.

Química combinatorial

Con el fin de obtener un gran número de secuencias diferentes de aminoácidos en un tiempo más corto, se desarrollaron técnicas alternativas para realizar la síntesis simultánea de péptidos. Estas nuevas técnicas en fase sólida fueron iniciadas por Geysen y colaboradores¹³, los cuales observaron que muchas de las etapas en una síntesis eran rutinarias y podían ser realizadas al mismo tiempo. ¡Con estas técnicas se logra sintetizar más de 10,000 secuencias de residuos en dos semanas! A este nuevo método para la síntesis rápida automatizada de una serie de compuestos oligoméricos y no oligoméricos se le conoce también como "Química Combinatorial". En este proceso ya no es necesario utilizar matraces de tres bocas, condensadores de reflujo, embudos de adición y chaquetas de calentamiento. En su lugar se utiliza un nuevo tipo de reactores múltiples para la síntesis paralela y potencialmente automatizable de una serie de compuestos. Las reacciones en soportes sólidos son especialmente adecuadas para este tipo de síntesis, porque los productos deseados permanecen unidos al polímero y pueden ser separados de los subproductos por simple filtración. Existen dos estrategias para la síntesis de uno o varios compuestos:

- (1) La síntesis múltiple paralela de "compuestos individuales": En este caso, solamente un compuesto es preparado en cada etapa de reacción.
- (2) La síntesis múltiple paralela de una "biblioteca de compuestos": En este método muchos compuestos diferentes que pueden tener un esqueleto similar son sintetizados simultáneamente en cada reactor.

Las bibliotecas de compuestos se pueden preparar de manera relativamente fácil mediante técnicas de división, acoplamiento y recombinación¹⁴, como se muestra en la figura 11.

Porciones de la combinación resina-grupo enlazante reaccionan separadamente con los primeros componentes (A^1 - A^3). Después de esta reacción las resinas son mezcladas y divididas en porciones del mismo tamaño para asegurar una distribución uniforme de los componentes. Por subsecuentes reacciones con los compuestos constructores B^1 - B^3 , se obtienen nueve diferentes compuestos en sólo dos etapas

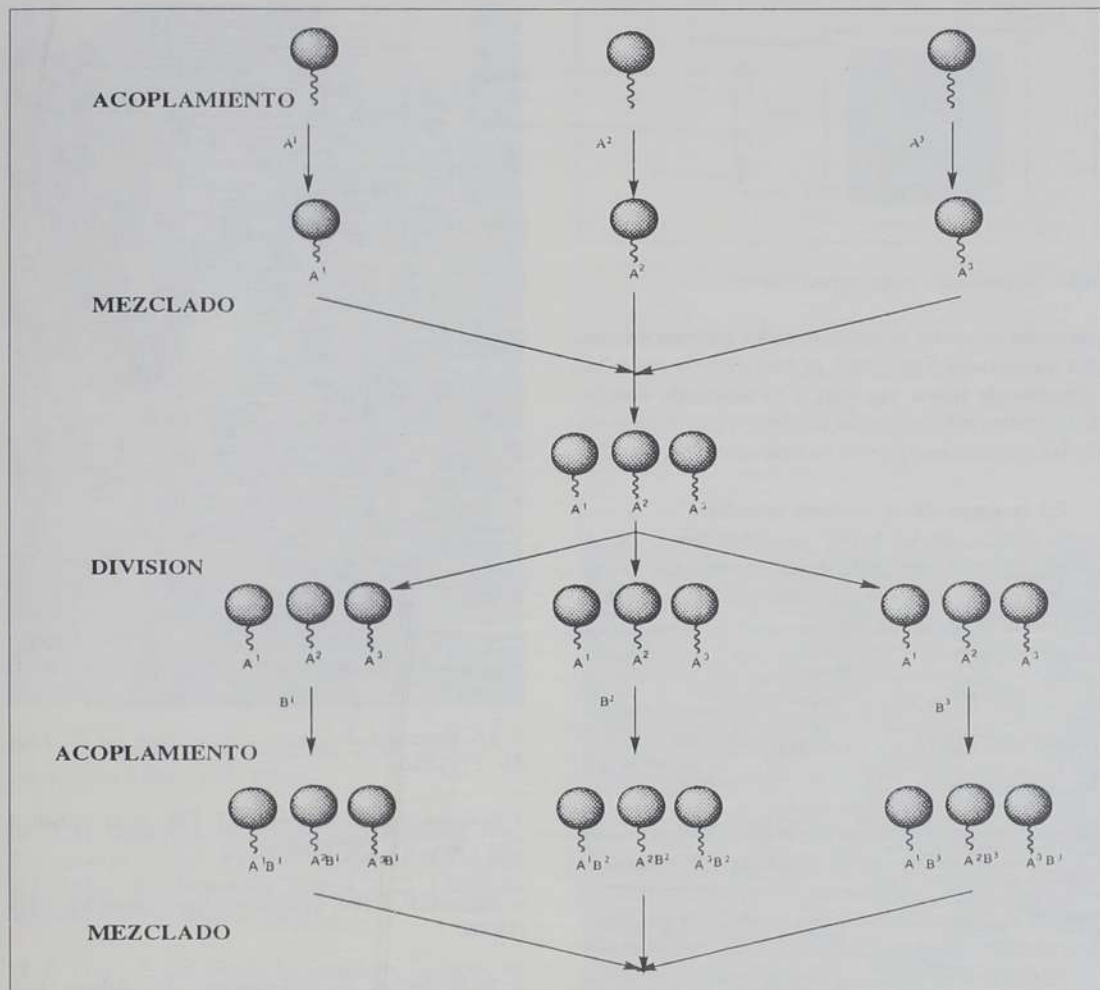


Figura 11. Química combinatorial: método de división, acoplamiento y mezclado.

de reacción. Dependiendo del número de compuestos constructores y de las etapas de la síntesis, se pueden sintetizar miles de diferentes compuestos en cada reactor.²

Existen varias formas para llevar a cabo la química combinatorial, algunas de ellas se muestran a continuación.¹⁵

Barras de polietileno. Son barras de polietileno (4 mm de diámetro por 40 mm de longitud) cubiertas con ácido poliacrílico para soportar el crecimiento de la cadena del péptido. Las barras están ensambladas en un

contenedor de polietileno con el espacio de un microlitro. Las reacciones en estas barras se llevan a cabo en una bandeja de teflón que contiene una matriz en forma de caja acanalada para ensamblar en estos canales las barras.

Resinas en compartimentos. La técnica consiste en acomodar pequeñas cantidades de resina (25 mg) en bolsas de polipropileno, como se muestra en la figura 3. Para las diferentes operaciones durante las etapas de la síntesis (lavados, desprotecciones, etc.), las bolsas de resina se encuentran en un contenedor como reservorio en común. Para acoplamientos individuales, los

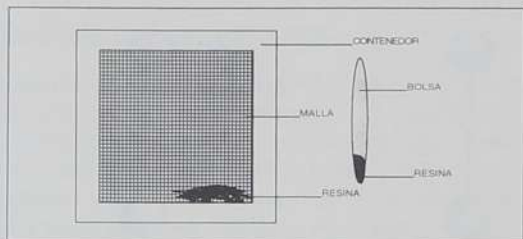


Figura 12. Distribución de los compartimentos.

paquetes de resina se separan, se les agregan soluciones individuales y se agitan. Al final de cada etapa, los paquetes de resina regresan a su reservorio común. Esta técnica ofrece buenos resultados con la mayoría de las reacciones químicas en fase sólida (figura 12).

En la figura 12 se muestra la manera en la cual están distribuidas las bolsas de resina dentro de un contenedor con compartimentos (malla) que se encuentra dentro de otro contenedor que recibe los subproductos no deseados cuando se realizan lavados y desprotecciones.

Perspectivas de desarrollo en México

En la actualidad existe una efervescencia internacional en el área de la fase sólida adaptada a la síntesis de moléculas pequeñas. Esto ha despertado nuestro interés en explorar esta alternativa de síntesis y establecer esta metodología en nuestro laboratorio. Revisando las aportaciones en síntesis orgánica de nuestro país no se ha reflejado el mismo desarrollo de otras instituciones e industrias. Queda de manifiesto la enorme versatilidad de esta técnica y es factible que en un futuro no lejano este método moderno sea de uso general en todos los laboratorios, como así se ha manifestado en muchos centros del mundo académico.



Notas

1. Merrifield, *Angew. Chem.* **97**, 801 (1985); *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **24**, 799 (1985). R.B. Merrifield, *Advan. Enzymol.* **32**, 221 (1969); R.B. Merrifield, *J. Am. Chem. Soc.* **85**, 2149 (1963); G. Barany, R.B. Merrifield, *The Peptides*, Vol 3, E. Gross y J. Meienhofer, Ed. (Academic Press, Nueva York, 1979).



2. J.S. Fruchetel, J. Gunter, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **35**, 17 (1996).

3. F. Gosselin, M. Di Renzo, H.T. Ellis, W.D. Lubell, *J. Org. Chem.* **61**, 7980 (1996).

4. Fitch, C.P. Detre, J. Holmes, *Org. Chem.* **59**, 7955 (1994).

5. S. K. Sarkar, R. S. Garigipati, J.L. Adams, P.A. Keifer, *J. Am. Chem. Soc.* **118**, 2305 (1996).

6. I.T. Harrison, S. Harrison, *J. Am. Chem. Soc.* **89**, 5723 (1967).

7. Mitsunobu, *Synthesis* 1 (1981); D. L. Huges, *Org. React. (NY)* **42**, 335 (1992).

8. Z. H. Xu, C. R. McArthur, C. C. Leznoff, *J. Can. Chem.* **61**, 1405 (1983).

9. J. M. Goldwasser, C. C. Leznoff, *J. Can. Chem.* **56**, 1562 (1978).

10. J. Blazka, H.J. Harwood, *Polym. Prep. (Am. Chem. Soc. Div. Polym. Chem.)* **16**, 633 (1975).

11. Revisiones, R. A. Wiley, D. H. Rich, *Med. Res. Rev.* **327** (1993); G. R. Marshall, *Tetrahedron* **49**, 3547 (1993); W. C. D. V. Ripka de Lucca, A. C. Bach, A. C. Pottdorf, R. S. J. Blaney, *Tetrahedron*, **49**, 3593 (1993); M. Chorev, M. Goodman, *Acc. Chem. Res.* **26**, 266 (1993).

12. S. C. Brown, S. A. Thomson, J. M. Veal, D. G. Davis, *Science* **265**, 777 (1994).

13. H. M. Geysen, R. H. Meloen, S. J. Barteling, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **81**, 3998 (1984); H. M. Geysen, S. J. Rodda, T. J. Mason, G. Tribbick, P. G. J. Schoofs, *Immunol. Methods* **102**, 2 (1987).

14. A. Furka, F. Sebestyen, M. Asgedom, G. Dibo, *Int. J. Pept. Protein Res.* **37**, 487 (1991).

15. K. Smith, *Solid Supports and Catalysts, en Organic Synthesis Ellis Horwood* (PTR Prentice Hall, Gran Bretaña, Capítulo 7, 1992).

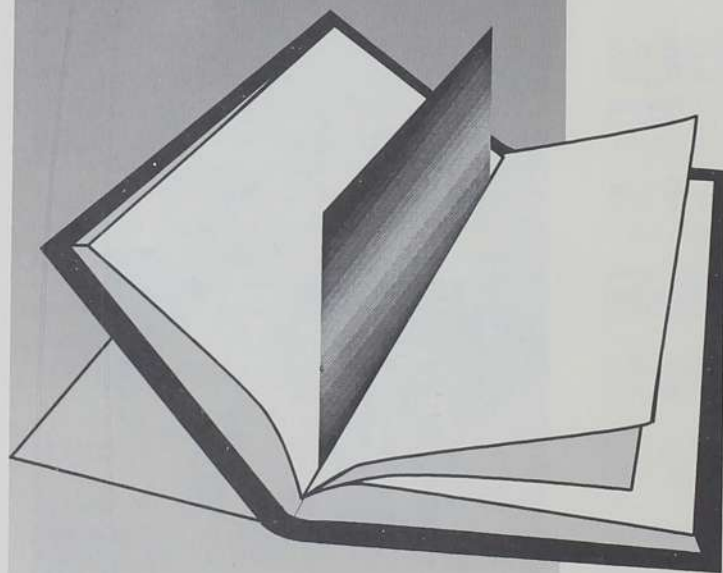




El Colegio Nacional

Colección de textos

Rubén Bonifaz • Olmecas, esencia y fundación
Carlos Chávez • Hacia una nueva música
Leopoldo García-Colín • Contaminación atmosférica
Antonio Gómez Robledo • Dante Alighieri
Miguel León-Portilla • Raíces indígenas, presencia hispánica
Marcos Mazari • Problemas de la Cuenca de México
Ruy Pérez Tamayo • Burke y Hare y otras historias
Octavio Paz • Blanco
Beatriz de la Fuente • Arte prehispánico funerario
Alfonso Reyes • Animalia



Colección de Obras

José Adem
Salvador Elizondo
Enrique González Martínez
Jesús Kumate
Manuel Martínez Báez
Adolfo Martínez Palomo
Marcos Moshinsky
Ezequiel Ordóñez
Arturo Ronsenblueth
Pablo Rudomín
Gabriel Zaid

**OFRECE LOS TÍTULOS DE SUS MIEMBROS
E INVITA A VISITAR SU BIBLIOTECA**

Luis González Obregón núm. 23,
Centro Histórico,
Tel 789 43 30 Fax. 702 17 79
E-mail: col.nal@mail.internet.com.mx.

En memoria de José Adem

Enrique Ramírez de Arellano

José Adem nació en Tuxpan, Ver., el 27 de octubre de 1921. Hijo de Jorge Adem y Almas Chahin, estudió desde la primaria hasta la preparatoria en su ciudad natal, mostrando siempre un gran interés por las matemáticas. En 1941 se dirigió a la Ciudad de México, donde ingresó a la Escuela Nacional de Ingenieros de la UNAM y posteriormente a la Facultad de Ciencias. Se recibió como ingeniero civil y posteriormente como matemático en 1949. Adem desarrolló una inquietud por la investigación en matemáticas puras y realizó estudios de posgrado entre 1946 y 1948, también en la UNAM. Sin embargo, dado el poco desarrollo de la matemática en México en aquel entonces, hubiera sido casi imposible para él adentrarse en esta disciplina.

Fue entonces cuando el célebre matemático Solomon Lefschetz, quien a partir de 1944 visitaba periódicamente México para interactuar con la pequeña comunidad matemática, reconoció en Adem un valioso talento y le consiguió una beca de una fundación norteamericana en 1949 para realizar estudios de doctorado en la Universidad de Princeton. Tuvo la fortuna de estudiar con Norman Steenrod, famoso especialista en topología algebraica y ahí recibió bajo su dirección el grado de doctor en matemáticas en 1952. Su tesis contiene un conjunto de relaciones de fundamental importancia, que permite caracterizar algebraicamente un problema de iteración de operaciones con clases de cohomología y fue publicada en los *Proceedings de la National Academy of Sciences* de los

El Dr. Enrique Ramírez de Arellano es investigador titular y jefe interino del Departamento de Matemáticas del Cinvestav. Este texto fue leído en la ceremonia de inauguración del Auditorio José Adem en las nuevas instalaciones de los departamentos de Física, Matemáticas y Matemática Educativa del Cinvestav en Zacatenco, 2 de septiembre de 1997.

Estados Unidos. Este resultado se difundió rápidamente y es conocido por el nombre de las *relaciones de Adem*, distinguiéndolo internacionalmente como uno de los más destacados topólogos de su época.

Al regresar a México, Adem se incorporó a la Universidad Nacional Autónoma de México, donde realizó labor docente y de investigación. En 1956 participó decisivamente en la organización del primer simposio internacional de matemáticas que se celebró en el país.

En 1956 Adem rescató de su carácter local al *Boletín de la Sociedad Matemática Mexicana*, iniciando su Segunda Serie, de la cual fue editor hasta su fallecimiento. Su propósito fue proporcionar a los matemáticos mexicanos y extranjeros un medio para publicar en México los resultados de sus investigaciones, con el nivel de una revista internacional de prestigio. Con estricto criterio, sometió a rigurosa evaluación a los artículos que se publicaban en el *Boletín*, por lo que llegó a tener un prestigio reconocido mundialmente y no escatimó esfuerzos para lograr una distribución extensa en el extranjero. Por ello es considerada desde hace varias décadas como la única revista de investigación en matemáticas, de importancia internacional, que se publica en México. Adem dio el ejemplo a la comunidad matemática mexicana, publicando la gran mayoría de su obra científica en el *Boletín*, revirtiendo así en parte la tendencia a publicar la investigación de calidad exclusivamente en el extranjero.

En 1961 Arturo Rosenblueth lo llamó para que colaborara en la planeación de este Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, en particular, para que fundara el Departamento de Matemáticas, del cual fue jefe desde su inicio en 1961 hasta 1973. Adem ocupó además el cargo de asesor de la Dirección desde 1966 hasta su fallecimiento y fue indudablemente uno de los principales pilares del Cinvestav.

Con criterio firme y trabajo tenaz, mantuvo un alto nivel académico los doce años que dirigió el Departamento de Matemáticas, organizando su estructura, contratando personal capaz de realizar investigación de frontera, enriqueciéndolo con un programa sistemático de profesores visitantes e impartiendo él mismo cursos, con una claridad que justamente le dio fama de excelente expositor. En este Departamento formó una



Dr. José Adem

sólida escuela y una tradición en topología algebraica que han perdurado con vigor.

Adem trabajó en un gran número de problemas de la topología y el álgebra, en particular en la iteración de los cuadrados de Steenrod y sus relaciones y aplicaciones a la geometría, en operaciones secundarias y la fórmula del producto, y en problemas de inmersión y no inmersión de espacios proyectivos asociado con transformaciones bilineales. Investigó las transformaciones bilineales no singulares, las transformaciones axiales y la construcción de transformaciones normadas y la existencia de conjuntos maximales de matrices que anticonmutan. Además, estudió el problema de Hurwitz sobre la existencia de transformaciones bilineales que preservan la norma, no sólo en el caso real y complejo, sino también en campos arbitrarios.

Tratar de explicar en lenguaje llano el trabajo matemático de Adem (como su famosa fórmula de la composición de los cuadrados de Steenrod), es punto menos que imposible. La simbología y las herramientas utilizadas en cada campo del quehacer matemático



Dr. Solomon Lefschetz

dificultan en grado extremo su comprensión, inclusive a especialistas en otros campos de la matemática, más aún fuera de ella. Permítanme sin embargo dar una somera idea sobre un par de problemas en los que Adem trabajó.

Cuando se define una multiplicación entre elementos de R_n , el espacio euclideo de dimensión n (esto es, una multiplicación entre vectores), surge una pregunta muy natural: ¿existe el inverso multiplicativo? Esto es: ¿se pueden dividir entre sí los vectores? Uno de los resultados importantes de José Adem contesta esta pregunta de la siguiente forma: R_n admite una estructura de álgebra con división sólo cuando la dimensión n es una potencia del número 2 (esto es, 1, 2, 4, 8, 16, 32, etc.). Sorprendentemente este resultado es equivalente al siguiente: las esferas $(n-1)$ -dimensionales son paralelizables únicamente cuando n es una potencia de 2. Mis colegas matemáticos me perdonarán que mencione el conocidísimo ejemplo cuando n es 3, que es la esfera normal de dimensión 2, o sea 3-1. Como aquí n es 3, que no es potencia de 2, el resultado de Adem implica en particular que no se puede



Dr. Norman E. Steenrod

peinar un erizo sin que quede un remolino.

Posteriormente el famoso matemático inglés Frank Adams, inspirado en los resultados de Adem, extendió en forma impresionante el resultado mencionado, demostrando que n solo puede ser 1, 2, 4 u 8, obteniendo así que únicamente existen cuatro álgebras con división: las formadas por los números reales, o por los complejos, o por los cuaternios de Hamilton o, finalmente, por los octonios de Cayley. La demostración de Adams utiliza en forma esencial las operaciones cohomológicas secundarias introducidas por Adem.

El problema de la multiplicación de vectores dentro de un mismo espacio fue generalizado por Hurwicz hace un siglo en el siguiente sentido: ¿cuándo podemos multiplicar vectores de dimensión p por vectores de dimensión q para obtener vectores en otra dimensión r , de tal manera que la norma (o el tamaño) del producto sea igual producto de las normas de los factores? Es sorprendente que este problema, que se puede expresar en el lenguaje de la geometría analítica

elemental, no haya sido resuelto en forma general a la fecha. José Adem construyó en forma explícita ejemplos no triviales de estos productos, como el de R_{11} por R_{11} con valores en R_{26} y conjeturó que 26 es la dimensión mínima en la que existe este producto. A la fecha no se ha mejorado este resultado.

Desde 1968 fue miembro del Comité Internacional de la Escuela Latinoamericana de Matemáticas y de 1969 a 1975 fungió como coordinador del Programa Multinacional de Matemáticas de la OEA, impulsando de esta forma la matemática en Latinoamérica. Estudiantes de varios países latinoamericanos realizaron estudios de posgrado en nuestro departamento y siete de ellos culminaron sus estudios de doctorado.

Adem no dejaba pasar ocasión para insistir en la necesidad de mejorar el nivel de las matemáticas en México y de preparar a personal altamente capacitado. En 1968, esto es, antes de la Reforma Educativa, en un trabajo que le publicó el Centro Nacional de la Productividad, se refirió a la enseñanza de las matemáticas desde la primaria hasta el posgrado, dando un método para estimar el número y nivel académico de los profesores que se requieren en el sistema educativo y de la estructura para formarlos.

A nivel nacional realizó numerosas actividades de asesoría: como vocal del Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC) de 1961 a 1970, como Asesor del CONACYT de 1971 a 1976. Fungió como miembro

fundador de la Junta Directiva de la Universidad Autónoma Metropolitana de 1974 a 1982, como Vocal del Consejo Directivo del SNI de 1984 a 1988 y fue miembro del Consejo Consultivo de Ciencias de la Presidencia de la República.

Recibió los máximos honores del país: en 1960 fue nombrado miembro de El Colegio Nacional y en 1968 se le otorgó el Premio Nacional de Ciencias.

No quiero abrumarlos con la lista de sus múltiples actividades y reconocimientos, que es casi interminable. Concluyo aquí mencionando que fue un investigador infatigable y persistente, y ayudó a formar las bases de la investigación científica en México.

José Adem falleció el 14 de febrero de 1991 a la edad de 69 años, dejando como legado una obra original del mayor calibre y una trascendente filosofía científica de gran valor para México. Tuvimos la suerte de tenerlo como colega y como amigo. Su gran cordialidad y su ejemplo como hombre de ciencia estarán siempre con nosotros.

Adem publicó 26 artículos de investigación en el periodo de 1949 a 1991, 18 de ellos en el *Boletín* y graduó a un estudiante de doctorado.



Derek Barton y la invención química

**Carlos Chimal, Eusebio Juaristi
y Leticia Quintero**

Con motivo de su ingreso a la Academia Mexicana de Ciencias, el profesor Derek Barton estuvo en el Cinvestav y habló para AyP buena parte de una mañana primaveral, a sus 78 años de edad. Obtuvo el premio Nobel de Química en 1969, junto con Odd Hassel, por haber ayudado a establecer el análisis conformacional, es decir, las consecuencias químicas de la estructura tri-dimensional de las moléculas, lo cual revolucionó de inmediato la química orgánica.

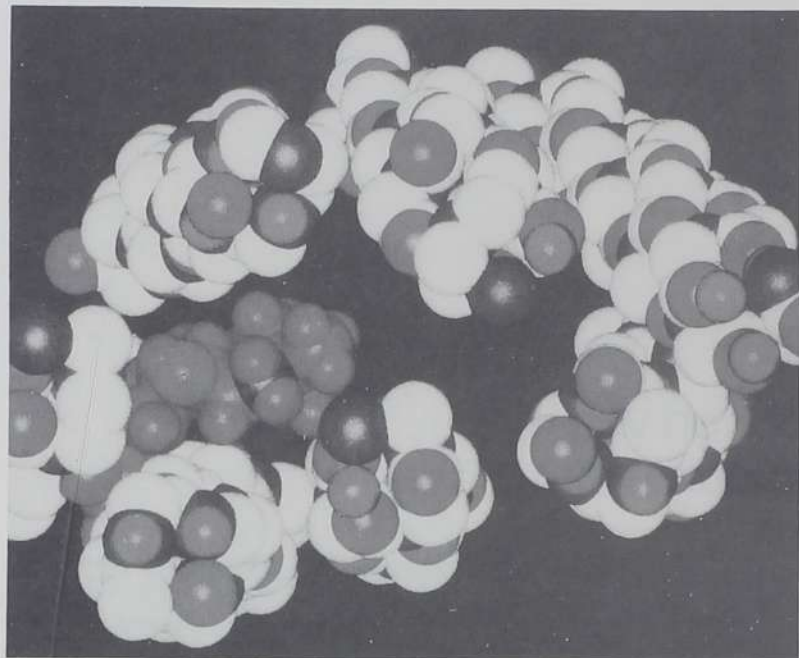
Derek Barton es un hombre grande, erguido, pese a la edad, de una lucidez extraordinaria. "No tomen muchas vacaciones, duerman lo suficiente, hagan de su *modus vivendi* una pasión", dice él, cuando le pedimos consejo para los estudiantes que leen esta revista.

Volarse la barda

El título honorífico de Sir Derek Barton podría sugerir una vida llena de comodidades. No fue así. En su caso, pasaron varios años antes de que "el joven cándido pero no ignorante" de la escuela técnica, hijo de habilidosos carpinteros, dejara de agarrarse de los puños y mostrara su talento al mundo de los químicos. Veinte años en el Imperial College templaron sus nervios.

En 1949, Derek Barton fue invitado por Louis Fieser como profesor visitante de Harvard, mientras R. B. Woodward tomaba un año sabático. Barton y Fieser

Carlos Chimal, escritor interesado en la comprensión pública de la ciencia, es colaborador de Avance y Perspectiva. El Dr. Eusebio Juaristi es investigador titular del Departamento de Química del Cinvestav y la Dra. Leticia Quintero es investigadora de la UAP.



habían sostenido una larga correspondencia sobre síntesis de esteroides, y ahora Barton estaba a punto de iniciar una relación intensa y no siempre fácil con el maestro Woodward, pues éste se había encerrado a trabajar a unas cuantas cuadras.

A diferencia de Fieser y Bastiansen, por mencionar sólo dos químicos de la época, más predecibles, Woodward fue una personalidad difícil, enigmática. "Y, sin embargo, en cuanto lo vi", dice Barton, "reconocí a un verdadero interlocutor. Mis experiencias en Harvard me llevaron a entender la preeminencia de Woodward. Siempre tuvimos intereses químicos muy distintos, tanto en la selección de problemas a resolver como en la manera de resolverlos. Woodward tenía una mente extraordinaria, que sabía resolver, como ninguno, un problema aplicando una lógica estricta. Yo prefería atacar los enigmas por intuición, sobre todo en los últimos años".

Sagaz y convencido de sus habilidades en diferentes áreas, en particular de la físico-química, el profesor Barton escribió durante la primavera del año siguiente un artículo de apenas cuatro cuartillas, "¡porque lo tuve que teclear yo mismo! Si alguien es curioso, puede leer el libro espléndido de Ramsay que relata el

surgimiento de este campo de la química"¹. Debido a ese breve artículo, publicado en *Experientia*, Barton fue premiado y reconocido.

Una vida tan larga no ha sido en vano. "Creo que, al igual que otros distinguidos químicos, como E. L. Eliel, H. C. Brown y R. Hoffman, he sido más prolífico e imaginativo después de recibir premios como el Nobel y otras distinciones. No es fácil entender qué significa ser original."

La ruta del Nobel

Desde muy joven, Barton comprendió, pues, que lo suyo era "saltar la cerca". Este "volarse la barda" toma un rumbo nuevo poco antes del inicio de la Segunda Guerra. Hasta 1936, cuenta él mismo en su autobiografía², se consideraba que no existía una barrera a la rotación del etano y (otras) moléculas alifáticas relacionadas. Las cosas comenzaron a complicarse cuando Kemp y Pitzer anunciaron que la discrepancia entre la entropía calculada por la mecánica estadística y la que se había observado por medios experimentales en el etano, podía explicarse por la existencia de una "barrera" de rotación a 3 kcal.

Una de las dos conformaciones extremas en el espacio, la alternada o la eclipsada³, debía tener un mínimo de energía correspondiente. Kemp y Pitzer no podían elegir entre las dos opciones con base en las pruebas existentes. Si el etano tuviera una conformación alternada, entonces el ciclohexano adoptaría una conformación de "silla". Por el otro lado, si tomara la conformación eclipsada, el ciclohexano mostraría una forma de bote o incluso plana.

Otto Hassel, por su parte, estaba interesado en la determinación de la estructura química mediante métodos físicos; introdujo momentos dipolares y, más tarde, algunas técnicas de difracción de electrones. Sólo que en ese entonces tales técnicas eran consideradas subjetivas, pues las placas fotográficas aparecían muy oscuras y debían interpretarse visualmente. Prevalció, por tanto, la postura de un connotado teórico, Henry Eyring, quien concluyó que se trataba de una conformación eclipsada.

Otros datos contradictorios surgían debido a la incapacidad de los químicos de medir correctamente momentos dipolares. "No así Otto Hassel", nos dice el Prof. Barton, "una lectura cuidadosa de su trabajo anterior a la Segunda Guerra hubiera allanado el camino". Fue hasta su publicación en *Nature*, en 1946, que la comunidad química pudo apreciar lo que Hassel había hecho. Sus investigaciones pioneras y las técnicas aplicadas lo condujeron a calcular con éxito la forma de silla con enlaces alternados en casi todos los derivados de ciclohexanos examinados por él.

A partir de este trabajo seminal, más la colaboración fértil con Louis Fieser, Barton replanteó la química de los esteroides, ya que fue durante un seminario que impartió el mismo Fieser en Harvard, el año de 1948, sobre los efectos estéricos en los esteroides, cuando Barton sugirió que una mejor forma de analizar los problemas que se ventilaban era plantearlos en función de la conformación preferencial de la molécula. Barton había calculado ya, por primera vez, los campos de fuerza a fin de determinar si las conformaciones observadas eran realmente las más estables.

"Así que, en la historia del análisis conformacional", nos dice él en su autobiografía, "uno tenía que dar un salto mortal entre los esteroides y la físico-química. En subsiguientes retos dentro de esta ciencia, tuve que dar

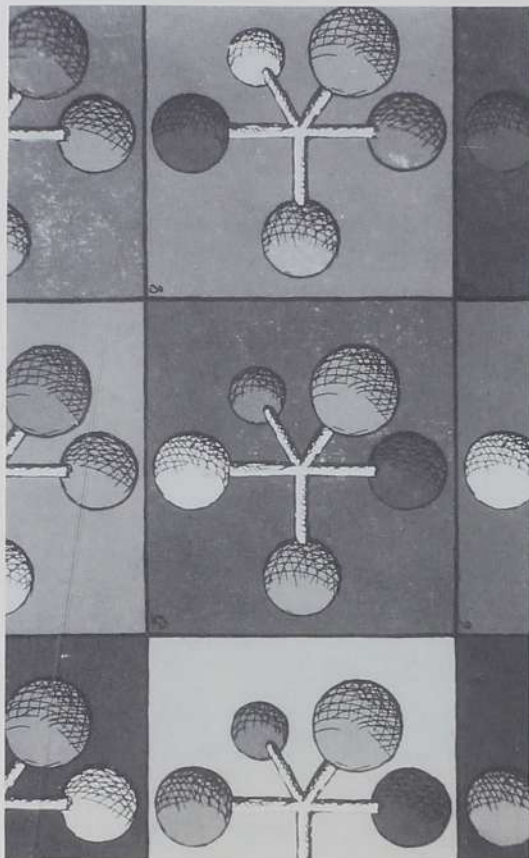


Dr. Derek Barton

el salto entre los hechos generalmente aceptados y los verdaderos. Fue así como comprendí el significado de la teoría de la biosíntesis".

De regreso al artículo que le valió reconocimiento internacional, "¿cuáles circunstancias permitieron que fuera yo y no otro el que resumiera en aquel breve artículo de *Experientia* las bases del análisis conformacional?" Responde: "Yo conocía muy bien la química de terpenoides y esteroides debido a que estaba familiarizado con el método de diferenciación por rotación molecular. Al mismo tiempo, la investigación en el campo de la cinética química en fase gaseosa me había dado las herramientas de la físico-química y había mantenido alerta mi interés por los mecanismos moleculares."

La química de esteroides se encontraba ya en una etapa de madurez y su importancia era evidente en todo el mundo. El descubrimiento, en 1948, de los no-



tables efectos biológicos de la cortisona atrajo la atención de muchos científicos. Barton continuó aplicando con sorprendente imaginación sus ideas acerca del análisis conformacional a problemas estereoquímicos. En esa época fue nombrado profesor de química orgánica en Birkbeck College, en Londres, y más tarde regresó al Imperial College ("una institución no apta para personas susceptibles").

Innovaciones en el laboratorio y en el aula

Durante dos décadas en el Imperial College, Barton renovó por completo la enseñanza de esta ciencia. "Además de instituir el seminario, donde todo mundo debía exponer, insistí en más cursos de química orgánica teórica. Es necesario haber experimentado ampliamente y haberlo leído todo acerca del tema, si se

quiere ser imaginativo. Hay un enigma que deseamos solucionar y no sabemos cómo hacerlo. Ser inventivo significa reconocer con claridad qué queremos saber en el fondo y qué es secundario. A veces se descubre por accidente y a veces por conocimiento, aunque ambas situaciones son igualmente valiosas."

Con estas ideas, "personales, inseparables como un perro fiel", la enseñanza de la química se transformó por completo. Durante su estancia en Glasgow, Barton "perdió" el interés en el análisis conformacional. Así que comenzó a estudiar la biosíntesis de la morfina y luego otros alcaloides fenólicos. Junto con Theodore Cohen, llevó a cabo un trabajo experimental cuyo potencial de predictibilidad le valió, sin duda, nuevos reconocimientos.

En 1954 participó en el descubrimiento e invención de nuevas reacciones fotoquímicas. Pocos años más tarde, se encontraba en la industria farmacéutica, tratando de solucionar problemas concretos de la síntesis química. Finalmente Barton dejó el Imperial College, en 1978, pues "tenía" que jubilarse. Y se fue a Francia, a la edad de 59 años, donde encontró puertas abiertas en el Instituto de la Química de las Substancias Naturales (ICSN) en Gif-sur-Yvette. Casado con una francesa, Barton hizo de Francia una segunda casa.

Si alguien conoce de innovaciones en la educación y la ciencia química es Derek Barton. ¿Cuáles son las tendencias novedosas en la química de los próximos años? "Un campo que sobresale por su interacción con la química", responde, "es la biología molecular. Sin embargo, el campo más interesante desde mi punto de vista es lo que llamó la química de Gif, es decir, la manera como introducimos de manera selectiva grupos funcionales en hidrocarburos saturados. De hecho, en la actualidad tenemos una buena controversia acerca del papel que desempeñan los radicales químicos en este proceso. A mí me parece que es mínimo, aunque otros opinan distinto..."

En cuanto a la desastrosa relación entre el gobierno conservador en Inglaterra y numerosos grupos de la comunidad científica, nos dice: "La química, en realidad, se las arregló bien para sobrevivir en esa época, pues demostró rentabilidad. Hay que saber, también, que la Sra. Thatcher había estudiado en Oxford química y sabía de los gustos pronunciados de muchos pro-

fesores por la buena comida, los paseos largos y las jornadas de trabajo cortas. Esta no es una ciencia muy apropiada para diletantes".

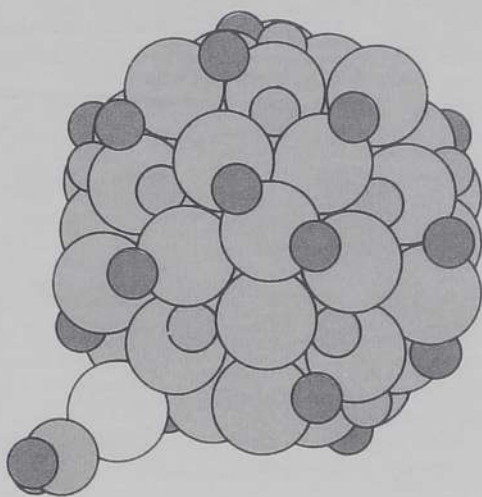
¿Y hoy, con el nuevo gobierno laborista? "El Sr. Tony Blair es una persona joven y carismática, que parece haber llegado en el momento adecuado y con la simpatía popular en todo el territorio".

Para romper la barrera del retiro

Los años en Francia fueron muy productivos. Sin hijos, sin mayores obligaciones sociales, Barton comenzó a idear nuevas reacciones. ¡A inventar reacciones! "Para ello uno debe elegir antes una reacción que sea necesaria, ya sea en farmacia o en alguna otra industria. A la mayoría de los colegas, sobre todo a una edad avanzada, no les gusta hacer esto y prefieren discutir con enorme erudición de reacciones ya conocidas.

"De cualquier manera, ser químico no es fácil, pues resulta incompatible con los hijos y una vida ya no digamos disipada sino simplemente distraída." Aunque, ¿es más fácil si uno es hombre? "Así ha sido, tal vez menos en Francia, donde el estilo de vida es distinto. En cambio, el sistema norteamericano y el inglés desalientan el ingreso de mujeres a la comunidad química. No obstante, en los últimos años se han registrado avances significativos en el número de jóvenes mujeres que estudian ciencias químicas en estos países."

A partir de 1970 y hasta 1990 Derek Barton se mantuvo atento a nuevas síntesis de derivados hidroxilados y estudió la función carboxilo, presente en muchos productos naturales de importancia para la vida. Inventó la reacción de Barton y McCombie, relativa a la deoxigenación radical a fin de elevar la actividad biológica de ciertos antibióticos. Además, encontró un "tercer mecanismo" con respecto a la oxidación selectiva de hidrocarburos saturados, lo que él llama "la familia de sistemas Gif", esto es, mecanismos de oxidación, como se ha dicho, de interés para la vida. Dos de ellos eran ya conocidos: uno, mediante la reacción de Fenton (agua y Fe) que produce radicales hidroxilo; el otro, el sistema de las enzimas P450, porfirina con base en hierro. De acuerdo a sus observaciones, y sobre la base de estudios concluyentes en penicilina cíclica y en lipoxigenasa de frijol de soya, parece que la



naturaleza también se sirve de tal mecanismo. "Este tema, el de la sustitución selectiva de hidrocarburos saturados, es otro espléndido desafío para la química de éstos y los próximos años."

¿Cómo apareció tal mecanismo? "Un día vino a verme un representante de BP (British Petroleum) y me dijo que la empresa planeaba financiar determinados proyectos ambiciosos, imaginativos, en los que podían participar químicos de cualquier edad. Era una buena oportunidad, al menos al principio, de imitar el mecanismo de una de las enzimas P450, aun cuando se sabía que dicho mecanismo implicaba la existencia de radicales. Luego de revisar la bibliografía, encontramos dos sistemas de oxidación de hidrocarburos saturados, confiables y con aceptable selectividad. Postulamos la existencia de dos enlaces intermediarios hierro-carbono y hierro-carbeno y, más tarde, encontramos un reactivo, el diselenuro de fenilo, el cual, bajo ciertas condiciones en uno de los sistemas Gif, atrapa muy bien un intermediario que, nos parece, es el enlace hierro-carbono σ ".

Cuando la vida parecía comenzar a parecerse a un postre repetitivo e insípido, Barton encontró la síntesis de la aldosterona. "Siempre he evitado estancarme y seguir la corriente. He trabajado en muchos campos de la química y, por alguna razón, cuando el campo ha 'cuajado' yo ya estoy haciendo las maletas. He dicho antes que la señal de partir llega en el momento en que

uno ya no puede recordar todos los artículos que se han publicado en ese campo."

Una química más que interesante

Diversas áreas "convencionales" a los ojos de Derek Barton son interesantes, rentables, algunas muy lucrativas y eso es todo. Para aquellos químicos que buscan algo más, ¿hay perspectivas? Por ejemplo, en el análisis conformacional, ¿qué nuevos retos pueden plantearse? "Lo único nuevo está en las grandes moléculas. No creo que nadie vaya a revolucionar la química estudiando moléculas pequeñas".

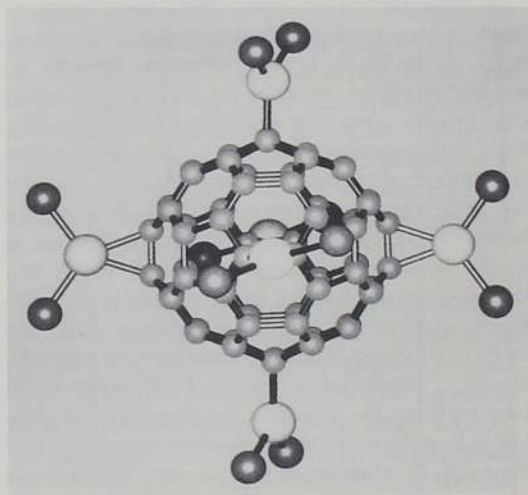
¿Eso significa un uso más intensivo de cálculo teórico, basado en el súper-cómputo? Sir Derek Barton, quien nunca ha sido humilde, nos dice, en un tono irónico: "Bueno, pensándolo bien, la química por computadora es mucho mejor porque nunca rompe uno un vaso, o si lo hace, no pasa nada; nunca hay explosiones reales, incluso resulta muy pulcra, atractiva y natural. Es, incluso, divertida. Pero no inventa reacciones".

Antes de terminar, la nostalgia nos gana. Sabemos que escribe artículos, junto con su esposa, sobre los perros. "En efecto, eso es muy disfrutable" ¿Qué otra cosa recuerda con especial cariño? "Las ocasiones en que una reacción ha funcionado realmente. Eso es insustituible".



Notas

1. O. B. Ramsay, *Stereochemistry* (Heyden, Londres, 1981).
2. En J. Seeman (ed.) *Some recollections of Gap Jumping, Profiles, Pathways, and Dreams* (ACS, Washington, DC, 1991).
3. Véase el artículo de E. Juaristi, *Avance y Perspectiva* **16**, 313 (1997).



Primera piedra de la Unidad Querétaro del Cinvestav

El pasado 27 de agosto, el Lic. Miguel Limón Rojas, secretario de Educación Pública, y el Lic. Enrique Burgos, gobernador del Estado de Querétaro, colocaron la primera piedra de las instalaciones de la Unidad Querétaro del Cinvestav. Se contó, además, con la presencia del Dr. Francisco Barnes, rector de la UNAM, Ing. Diódoro Guerra, director general del IPN, Lic. Carlos Bazdresch, director general del CONACyT y M. en I. Alfredo Zepeda, rector de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), entre otros invitados. Esta unidad está situada en Juriquilla, Querétaro, dentro del proyecto de desarrollo científico impulsado por la UAQ, la UNAM y el Cinvestav. La superficie total del terreno de la Unidad Querétaro es de 15 has., con un proyecto de superficie a construir de 10 000 m² en tres etapas. La primera considera las instalaciones de oficinas y laboratorios del Departamento de Materiales. Se planea terminar ésta primera etapa en el transcurso de 1998. El grupo de doce investigadores que está actualmente integrado a este proyecto, todos ellos con doctorado, está impulsando la creación de un programa de posgrado en materiales en los niveles de maestría y doctorado en ciencias. Se espera que este programa inicie en 1998.



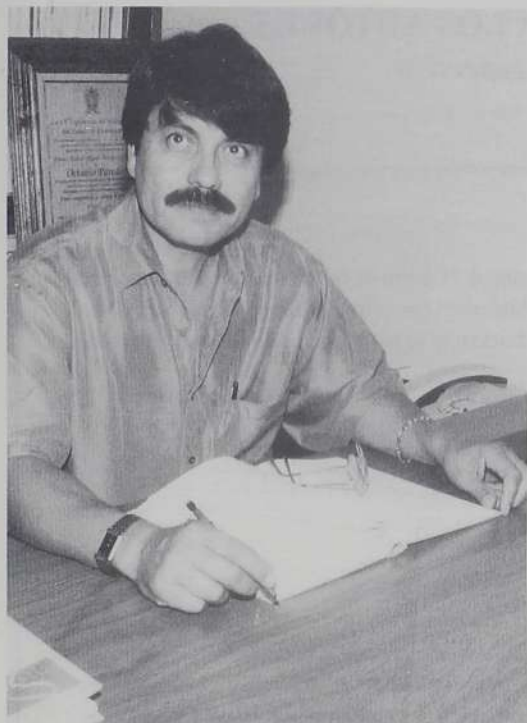
Lic. Miguel Limón Rojas en la instalación de la 1.a. piedra de la Unidad Querétaro

Octavio Paredes López, director de la Unidad Irapuato

El Dr. Octavio Paredes López fue nombrado director de la Unidad Irapuato por un periodo de cuatro años a partir del 1º de septiembre de 1997. Sustituye en el cargo al Dr. Víctor M. Villalobos, quien fue nombrado subsecretario de la Semarnap.

El Dr. Paredes López es ingeniero bioquímico egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, con doctorado en la Universidad de Manitoba en Winnipeg, Ca-

nadá. Su campo de investigación es la biotecnología de alimentos; sobre este tema ha publicado 150 artículos científicos y técnicos, 6 capítulos en libros, una monografía y dos libros. En el área de la formación de recursos humanos dirigió la tesis de 22 estudiantes de licenciatura, 26 de maestría y 8 de doctorado. Entre las principales distinciones académicas que ha recibido, destacan el Premio Nacional de Ciencias y Artes 1991 en el área de tecnología y diseño, Premio Nacional en Química 1991 de la Sociedad Química de México, Presea Lázaro Cárdenas 1993 otorgada por el IPN, Premio Nestlé, Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos otorgado por la



Dr. Octavio Paredes López

Compañía Coca Cola, Premio Luis Elizondo 1994 otorgado por el ITESM y es Investigador Nacional Nivel III.

Ma. Guadalupe Ortega Pierres, jefa del Departamento de Genética y Biología Molecular

La Dra. María Guadalupe Ortega Pierres fue designada jefa del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav por un periodo de cuatro años a partir del 1º de julio de 1997. Sustituye en el cargo a la Dra. Ma. de Lourdes Muñoz.

La Dra. Ortega Pierres es bióloga egresada de la Facultad de Ciencias de la UNAM, con doctorado en ciencias de la Universidad de Bristol, Inglaterra. Su campo de investigación es el estudio molecular de antígenos de super-



Dra. Ma. Guadalupe Ortega Pierres

ficie de *Giardia duodenalis* y su papel en la adhesión e infectividad de este parásito, así como su sensibilidad a diferentes drogas. Ha realizado también estudios sobre morfogénesis y proteasas de este parásito. Otra área de investigación que ha abordado se relaciona con estudios epidemiológicos de triquinosis porcina, equina y humana y sobre respuesta inmune mucosal en cerdos infectados experimentalmente con *Trichinella spiralis*. Sobre estos temas ha publicado 70 artículos en revistas científicas nacionales e internacionales y ha dirigido 16 tesis de licenciatura, 11 de maestría y 6 de doctorado. En 1990 recibió el Premio Miguel Otero otorgado por el Consejo de Salubridad General y el Premio Dr. Everardo Landa que otorga la Académica Nacional de Medicina por el mejor trabajo de ingreso a dicha académica. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el Nivel II.



INFORMACION PARA LOS AUTORES de *Avance y Perspectiva*

La revista *Avance y Perspectiva* (A y P), órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV), es una publicación bimestral con artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos o notas que se propongan para ser publicados en A y P deben enviarse por triplicado a:

Director Editorial, *Avance y Perspectiva*
CINVESTAV
Apdo. Postal 14-740
07000 México, D.F.
Tel. 747 7000-01 ext. 2536
Fax: 747 7076

Los artículos y notas recibidos serán evaluados por especialistas seleccionados por el Consejo Editorial. Los artículos de divulgación deben dar cuenta de los logros o avances obtenidos en las especialidades que se cultivan en el CINVESTAV. Se buscará que su contenido sea ameno y novedoso. Deberán ser escritos a máquina, a doble espacio, con márgenes amplios y extensión máxima de 20 cuartillas. El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud conveniente. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión. Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen al principio, no mayor de cinco líneas, a manera de introducción, que atraiga el interés del lector. Las referencias bibliográficas aparecerán completas al final del artículo; cuando se mencionen en el artículo deberán indicarse con un superíndice y estar numeradas por orden de aparición.

Deberán enviarse los originales de las figuras, gráficas o fotografías que acompañen el texto. Las figuras y gráficas se deben preparar por computadora a línea sin pantallas o con tinta china sobre papel albanene con buena calidad. Los autores recibirán las pruebas de galera de sus artículos con la debida anticipación. Sin embargo, para evitar retrasos en el proceso de publicación, los autores que usen un procesador de textos en microcomputadora, además del texto impreso en papel, deben enviar su texto grabado en un disco flexible. Los procesadores de texto útiles para este propósito son: *Microsoft Word*, *Word Perfect*, *Ami Pro*, *Xy Writer*, *Wordstar* y *Multimate*, guardando el documento con la extensión DOC.

El alma a la luz del microscopio

Eugenio Frixione

La única cosa de la que estoy verdaderamente seguro es que nosotros somos de la misma materia que las otras bestias; y si nosotros tenemos un alma inmortal, es necesario que haya una, también, en los infusorios que habitan el recto de las ranas.

Jean Rostand¹

El siglo XVII fue especialmente problemático para el alma. Con dificultades logró mantener una discutida hegemonía de las facultades mentales pero comenzó a perder su jurisdicción sobre el cuerpo, que pasó a ser una simple máquina. A medida que la antorcha del Renacimiento creaba una penumbra de transición hacia el Siglo de las Luces, tuvo lugar una auténtica materialización de los espíritus. Todos los espíritus encargados por Galeno de la fisiología —naturales, vitales y animales— perdieron sutileza en la visión de los eruditos. El mismo *pneuma* aristotélico se volvió objeto de experimentación materialista.

Por si todo esto no fuera ya bastante serio, el avance científico agudizó un espinoso problema ontológico que desde siempre había sido motivo de enconadas controversias: ¿cuántas clases o niveles de almas existen en realidad? El núcleo de esta cuestión queda bien expresado en el aforismo de Rostand arriba citado, pero va mucho más allá en vericuetos filosóficos. Aunque el asunto reclamó con renovada urgencia una respuesta a partir de prodigiosas observaciones microscópicas, no se aborda como tal en los textos de historia de la ciencia —que evitan en lo posible toda incursión en metafísica—, ni es al parecer un tema frecuentado por los teólogos de la actualidad. No es en-

El Dr. Eugenio Frixione, investigador titular de los Departamentos de Biología Celular y de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav, es miembro del Consejo Editorial de *Avance y Perspectiva*. El presente artículo, publicado originalmente en la *Revista de la Universidad* (55), diciembre de 1996, se reproduce aquí como complemento del texto de Carlos Chimal publicado en *Avance y Perspectiva* (16, 273, 1997) sobre *Ciencia y Conciencia*.



tonces quizás demasiado reproable que un microscopista aventure un breve recuento de la situación y su feliz desenlace, sobre todo si adelanta la advertencia de que se trata de una interpretación puramente personal.

La emancipación del cuerpo

En retrospectiva, la acometida contra el alma empezó con la profanación del cuerpo. La antigua prohibición de examinar el interior del cuerpo humano —ni siquiera en cadáveres, para no interferir con el alma y la resurrección—, y que había sido respetada incluso por Galeno, admitía pocas salvedades. Tradicionalmente sólo una o dos veces al año, en las sesiones llamadas *anatomías*, un profesor universitario tenía permitido conducir la disección del cadáver de algún ajusticiado para enseñanza limitada a los estudiantes de medicina, y desde luego bajo la debida supervisión eclesiástica. Sin embargo, ya desde finales del siglo XV artistas como Leonardo y Miguel Ángel, entre otros, practicaban disecciones clandestinas para estudiar la estructura esquelética y muscular humana a fin de lograr un mayor realismo en sus obras. Poco después Vesalio y otros más hurgaban ya sin disimulo entre todos los órganos internos, e incluso publicaban libros llenos de láminas con ilustraciones pormenorizadas. Las intimidades del cuerpo, morada e instrumento sagrado del alma en este mundo, fueron desde entonces exhibidas sin recato alguno. En la Universidad de Padua, foco principal de esta nueva amenaza para la

fe, el análisis objetivo de la naturaleza recibió un impulso todavía mayor con Galileo. Uno de los más brillantes ex alumnos, William Harvey, elaboró las nociones heredadas de sus maestros italianos hasta dilucidar el funcionamiento del aparato circulatorio con el enfoque de un ingeniero. El corazón, principal asiento del alma según había enseñado Aristóteles, pasó a ser visto como un dispositivo para el bombeo de la sangre. El alma, antes soberana de todas las acciones humanas, quedó confinada a la esfera de los fenómenos mentales.

Esto fue reconocido al fin por Descartes. “Es un error suponer que el alma proporciona al cuerpo su calor y sus movimientos.”² Descartes concluyó que los procesos materiales, en contraste con los mentales, ocurren conforme a leyes y mecanismos automáticos que pueden reducirse a relaciones matemáticas. Decía que uno de los mejores ejemplos de que el alma y el cuerpo pertenecen a dominios irreductibles entre sí se encuentra en los animales, pues sus cuerpos funcionan sin que exista en ellos un asomo de capacidad racional. Ciertamente que en muchos casos sus habilidades son sorprendentes y muy por encima de las facultades humanas. Sin embargo, esto no debería tomarse como evidencia de que posean un alma, porque entonces habría que decir también que un reloj, que mide el tiempo con mayor exactitud y regularidad que cualquier persona, tiene un alma que le faculta para desempeñar su función con tal perfección. En consecuencia, para Descartes el cuerpo animal es sólo una máquina, admirable en tanto que por ser obra divina tiene una complejidad muy superior a la de cualquier artefacto construido por el hombre, pero al fin y al cabo no más que un autómatas o robot. Con gusto habría cambiado el nombre de animal por el de *maquinal*.

Este concepto dio origen a la *iatrofísica* (medicina física), en la que toda la fisiología era explicada con principios mecánicos. Los “espíritus animales,” fundamentales para el sistema galénico, fueron concebidos en términos menos etéreos primero por el propio Descartes “como un viento muy sutil, o, mejor, como una llama muy pura y muy viva, la cual sube constantemente con gran abundancia del corazón al cerebro, y corre después por los nervios a los músculos, y pone en movimiento todos los miembros...”³ En los textos de otros autores de la época, como William Croone,

los espíritus animales sufrieron un descenso adicional hacia la palpabilidad al pasar de ser flama pura o viento sutil a un mero "líquido espirituoso," que sale de los nervios para mezclarse con "el jugo nutritivo del músculo" e inducir con ello el hinchamiento de este último "como una vejiga inflada."²

Las teorías iatrofísicas fueron bien recibidas en algunos círculos y ejercieron una enorme influencia. Giovanni Borelli, uno de los más destacados iatrofísicos, consiguió describir gran parte del trabajo corporal como el de una máquina, apoyando su análisis en analogías con aparatos compuestos de tirantes, bisagras, palancas y poleas. Hobbes se propuso explicar cómo funcionan las ruedas y resortes de ese mecanismo gigantesco construido por el hombre, "...ese gran *Leviatán* que llamamos república o estado [...] que no es sino un hombre artificial."⁴ Y en opinión de Montesquieu, una difusión oportuna de los conceptos cartesianos sobre el cuerpo humano podría haber modificado el curso de la historia en el continente americano:

"[...] si un Descartes hubiera llegado a México o al Perú cien años antes que Cortés y Pizarro, y hubiera enseñado a esos pueblos que los hombres, según su composición, no pueden ser inmortales; que los resortes de su máquina se agotan, como los de todas las máquinas; que los efectos de la naturaleza no son otra cosa que una serie de leyes y de comunicaciones de movimientos, Cortés, con su puñado de soldados, jamás hubiera destruido el imperio de México, ni Pizarro el del Perú."⁵

De haber prevalecido el punto de vista de los iatrofísicos, las revelaciones que pronto haría el microscopio no hubieran tenido implicaciones metafísicas en absoluto. Pero la división total de la realidad en dos mundos paralelos —el físico y el mental— distó de satisfacer todos los gustos y fue objeto de ataques en los dos flancos del dualismo cartesiano. Quienes propugnaban las explicaciones materialistas, como los empiristas ingleses del tipo de Hobbes, criticaron como innecesario el contenido metafísico de la doctrina de Descartes; y aquéllos que defendían las posiciones tradicionales vieron con disgusto que se asignara al alma un papel restringido a la sola fenomenología mental. Esta última noción era defendible en el contexto religioso, pues en el Libro del Génesis se lee

claramente que sólo en la nariz del hombre alentó Jehová un sopro de vida para darle alma viviente; pero discordaba por otro lado con la definición de alma dada por Aristóteles, y secundada luego por Tomás de Aquino, como "la primera actualidad de todo cuerpo natural con órganos."⁶ La reducción de los principios espirituales a viles flujos materiales fue causa de amarga desazón y aguda irritación, aun en los medios científicos. Pascal, geómetra inventor de la prensa hidráulica y de la primera máquina calculadora, resintió las propuestas iatrofísicas como una vejación insoportable y escribió sobre Descartes:

"¿Pretende habernos regocijado al decimos que nuestra alma no es sino un poco de viento y de humo, y decirlo todavía con un tono de voz orgulloso y contento? ¿Acaso es cosa que pueda decirse alegremente? ¿No es, por el contrario, cosa para ser dicha tristemente, como la cosa más triste del mundo?"⁷ El escenario estaba listo para el retorno del alma a todos los rincones del cuerpo con el apoyo no sólo de célebres filósofos, sino de uno de los más insospechados descubrimientos científicos.

Los animalcula

Todo sucedió en torno al auge de la industria óptica en los Países Bajos, las tierras que habían visto nacer a Vesalio y que en el siglo XVII comenzaron a figurar de manera sobresaliente en el panorama intelectual y científico de Europa. Nada daría tanto de qué hablar como el producto del exquisito dominio que alcanzaron los holandeses en la tecnología de precisión para el manejo del vidrio. Zacharias Janssen, hijo de un prestigiado fabricante de gafas en Middelburg, tuvo la ocurrencia de montar lentes en los extremos de tubos de varias longitudes y construyó así algunos de los primeros microscopios y telescopios. Ambos inventos tuvieron de inmediato gran demanda como curiosidades y, en el caso del telescopio, como un ventajoso recurso para aplicaciones militares. En cuanto Galileo tuvo noticias de la existencia de tales instrumentos se hizo de sus propios ejemplares, los incorporó a la exploración del universo físico, y la visión del hombre cambió para siempre.

El negocio de las lentes en los Países Bajos no podía ser entonces más próspero. A las ventas de an-

tejos para leer se sumaron las de microscopios y telescopios. Muy pronto los alquimistas de vanguardia emplearon también grandes lentes para concentrar rayos solares y sustituir con ellos el fuego en la calcinación de minerales. Para completar el cuadro, algunos de los principales teóricos en óptica de la época —Snell, Huygens y el mismo Descartes durante algún tiempo— residían en Holanda. Creció el número de talleres dedicados a la producción de lentes y no faltaron quienes cultivaron el oficio por su cuenta. Dos de estos últimos, ambos nacidos en 1632, tuvieron un sitio importante en la historia del alma. Uno de ellos, Spinoza, tallador profesional de lentes además de filósofo metódico, afirmó que el alma y el cuerpo vienen a ser una y la misma cosa. El otro, Leeuwenhoek, un tallador aficionado con modesta educación, dio la pista para que años más tarde otro gran filósofo llegara a la conclusión de que el alma está en cuanto recoveco tiene el cuerpo. Aunque disímiles como las caras de una moneda, estos dos artífices de las lentes propiciaron que alma y cuerpo volvieran a compenetrarse en toda su extensión.

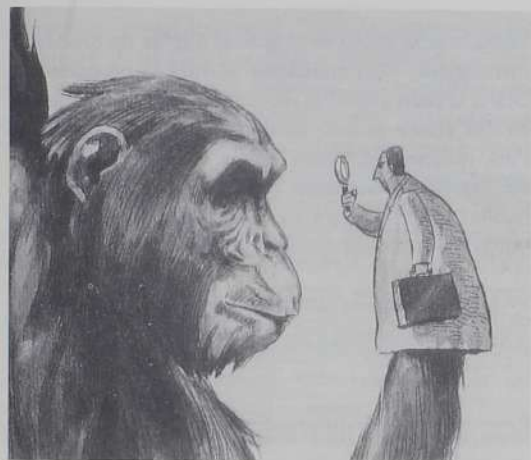
El mundo parecía entonces ensancharse por todas partes. Cuando apenas comenzaban a comprenderse las implicaciones del tamaño real del globo terrestre, luego del hallazgo de América y el Pacífico, Galileo hizo ver la vastedad del espacio interplanetario. Casi al mismo tiempo, Malpighi y Hooke escudriñaban la estructura microscópica de toda clase de materiales, tanto biológicos como inorgánicos. Fue en medio de este frenesí por inspeccionarlo todo con ayuda de las lentes cuando Leeuwenhoek se topó con los microbios. En lugar de microscopios compuestos de dos lentes en un tubo, según el prototipo de Janssen, Leeuwenhoek prefirió usar una sola lente de gran poder y calidad montada en un pequeño orificio entre dos placas de metal. Frente a esta lente situaba la muestra en la punta de un soporte que permitía giros y ajustes precisos de posición mediante un sencillo sistema de varios tornillos. Con este simple dispositivo, iluminado por contraluz con un rayo de sol o el resplandor de una flama, Leeuwenhoek logró ampliaciones de hasta trescientas veces o quizás más, e hizo observaciones tan sorprendentes que al principio no fueron creídas por sus contemporáneos.

Pocos especímenes escaparon a la curiosidad escrutadora de este microscopista aficionado. Sin seguir

ningún orden en particular examinó cristales, levaduras, polen y fragmentos de vegetales, pelos y plumas de diversos animales, así como toda clase de insectos. Estudió los ciclos vitales de la pulga, de la hormiga y de la almeja y mostró que en cada caso existe un origen a partir de huevecillos, y no por generación espontánea, como era la creencia común. Confirmó las observaciones de Malpighi acerca de la continuidad de las arterias y las venas por medio de vasos capilares, apreció que los glóbulos rojos de la sangre tienen una forma definida y describió la estructura íntima del tejido muscular, en cuyas fibras distinguió por primera vez las estriaciones regulares que lo caracterizan. Pero ninguna de estas minuciosas exploraciones proporcionó a Leeuwenhoek tanta diversión y celebridad como su descubrimiento de un espectáculo que nadie antes había siquiera imaginado. En 1674, al inspeccionar una gota de agua estancada, tuvo su primer encuentro con sus famosos *animalcula*. Ante sus azorados ojos aparecieron multitudes de bichos desconocidos que observó "nadar entremezclados, como en el aire un enjambre de mosquitos... moviéndose con gran agilidad, porque tenían varios pies increíblemente sutiles."⁸

Desde esa fecha no dejó de hallar animáculos por todas partes y en todas las formas imaginables. En el semen de diversas especies encontró numerosos animáculos compuestos de una pequeña cabeza y una muy larga cola ondulante, que más tarde serían llamados espermatozoides. Con el auxilio de lentes todavía más poderosas, alcanzó a distinguir animáculos mucho más diminutos que todos los anteriores —bacterias— en un raspado del sarro de sus propios dientes diluido en agua: "Y por todas partes vi con gran admiración, por así decir, en aquella materia tan exigua una multitud de animalillos extraordinariamente pequeños que se movían de un modo alegrísimo."⁸

El escepticismo inicial ante tan fantásticos relatos cedió cuando Hooke, Joblot y otros microscopistas corroboraron la realidad de los animáculos. El rústico Leeuwenhoek fue nombrado miembro numerario de la Royal Society de Londres, y el conjunto de sus descripciones, que hacía traducir del holandés al latín antes de remitirlas al editor, fue publicado en varios volúmenes a partir de 1695 como un compendio de observaciones sobre el aspecto oculto de la naturaleza (*Arcana Naturae*). En poco tiempo los animáculos y su descu-



brido adquirieron celebridad internacional. El zar Pedro el Grande de Rusia y el rey Federico I de Prusia, así como varios monarcas ingleses, se contaron entre las numerosas personalidades que solicitaron asomarse al microscopio de Leeuwenhoek para convencerse de la existencia de ese mundo poblado de bestias increíblemente pequeñas.

El impacto en el terreno de la biología fue aún más profundo, pues casi todas las teorías fisiológicas tuvieron que ser reconsideradas para dar cuenta de seres vivos en la reducida escala que mostraba el microscopio. Si, por ejemplo, el movimiento de un perro, de un pájaro o de un pez se explicaban por la acción de músculos controlados por los nervios —como afirmaban los iatrofísicos—, era entonces preciso concluir que los mismos principios operaban en forma miniaturizada en los animálculos, o bien que éstos se movían por mecanismos totalmente distintos. Las evidencias apoyaban el primer punto de vista, puesto que el microscopio había revelado una compleja organización comparable a la de un perro en el minúsculo cuerpo de cualquiera de sus pulgas. Por consiguiente, cabía pensar en una gradación continua de organismos de diversos tamaños, desde la ballena hasta los microbios, cada uno con órganos semejantes pero proporcionados a sus dimensiones. El propio Leeuwenhoek fue uno de los investigadores que más elucubrarón en torno a este asunto. En sus páginas aparecen minuciosos cálculos sobre el calibre que podrían tener los vasos sanguíneos en un animálculo, cuyo cuerpo llega a ser “mil veces más pequeño que el ojo de un piojo grande.”

El razonamiento anterior trajo consigo la incógnita de si acaso habría un límite en la miniaturización, una cuestión emparentada con el añejo problema de las series infinitas esgrimido por Zenón de Elea, y sin solución convincente pese a los esfuerzos de Aristóteles y otros muchos sabios pensadores. En principio cada criatura podía albergar dentro de sí colecciones enteras de otras criaturas diferentes, que a su vez podrían contener a otras más, y éstas a otras, como en una serie interminable de cajas chinas. Porque no había razón para descartar que los animálculos que vivían en la boca de Leeuwenhoek pudieran tener en sus propias bocas animálculos de menor tamaño, y así sucesivamente. Ni podía tampoco desecharse *a priori* la hipótesis de que Leeuwenhoek y todos sus congéneres vivieran en la boca de un organismo de proporciones astronómicas, que a su vez habitara en la boca de otro ser todavía más descomunal, que a su vez...

El asunto atrajo la atención de numerosos intelectuales durante varias décadas. Swift debe de haber encontrado en ello inspiración para escribir los *Viajes de Gulliver*, a juzgar por uno de sus fragmentos mejor conocidos:

“En la pulga, según la ciencia enseña, vive otra pulga de clase más pequeña, sobre ésta, otra, de tipo más chiquito y, sucesivamente así, hasta el infinito.”⁹

Y Voltaire se valió de la misma idea para su cuento satírico *Micromegas*. Pero otros, que no estaban dotados de un talante tan jovial, vieron con suma desconfianza el rumbo que estaba tomando esta clase de investigación científica. Una vez más puede hallarse en Pascal a uno de los más acerbos representantes de esta actitud. Pasmado ya por las inmensidades astronómicas que mostraba el telescopio, sintió verdadero vértigo ante las profundidades del nuevo cosmos microscópico:

“He aquí dónde nos llevan los conocimientos naturales[...] ¿quién no se admirará de que nuestro cuerpo, que antes no era perceptible en el universo, imperceptible en el seno del todo, sea ahora un coloso, un mundo, o más bien un todo respecto de esa nada a que no se puede llegar? Quien se considere de esta suerte, se aterrará de sí mismo, y considerándose sostenido en la masa que la naturaleza le ha otorgado, entre estos dos abismos del infinito y de la nada, temblará

ante la visión de estas maravillas; y creo que su curiosidad se trocará en admiración y estará más dispuesto a contemplarse en silencio que a investigarlas con presunción. Porque, finalmente, ¿qué es el hombre en la naturaleza? Una nada frente al infinito, un todo frente a la nada, un medio entre nada y todo."⁷

El principal culpable de que hubiera surgido este angustiante panorama era Descartes, y Pascal se propuso combatirlo: "Escribir contra los que profundizan en las ciencias: Descartes."⁷

Un gran científico retrocedía así alarmado ante las implicaciones de lo que la ciencia mostraba. Los filósofos, por otra parte, mantuvieron su proverbial serenidad. En opinión de Berkeley, por ejemplo, todas las dificultades que día a día surgían para comprender el mundo natural podían eliminarse con tan sólo ocuparse únicamente del alma y anular la materia:

"Una vez descartada la noción de materia en la naturaleza, se desvanecen muchas otras nociones escépticas o impías, como también el increíble número de disputas y cuestiones enredosas, que han sido otros tantos tropiezos en el campo de la teología y de la filosofía, y que han dado lugar a un trabajo inmenso y nada fructífero para el progreso del género humano."¹⁰

Desde esta perspectiva, era inútil desperdiciar el tiempo en teorías acerca de los animáculos, puesto que bastaría con dejar de verlos para acabar con su existencia:

"Según nuestra doctrina, los seres no pensantes percibidos por los sentidos no tienen más existencia que el hecho de ser percibidos, por lo que no pueden existir más que en las sustancias inextensas e indivisibles llamadas espíritus, que son las que actúan, piensan y perciben."³

No todos estaban dispuestos a vivir con los ojos cerrados, sin embargo. Era imperativo encontrar alguna respuesta para cuestiones fundamentales planteadas por el hallazgo de los animáculos. Había ahí una realidad perceptible, nunca antes vista, que demandaba insertarse en el esquema racional del universo. Estos organismos estaban por doquier, ante los ojos de quien quisiera atisbar por el microscopio, y con su sola presencia exigían una categorización que cu-

briera la posibilidad de una serie infinita de niveles dimensionales. Esto entrañaba además la necesidad de definir si cada individuo de cada una de las incontables escalas estaría dotado de un principio vital particular. Para quienes defendían aún el contexto metafísico, ello significaba responder a la ineludible pregunta de si habría o no legiones de almas para animar a los pobladores de cada una de tales escalas.

La solución más razonable, elegante y duradera fue aportada por Leibniz a principios del siglo XVIII.

Las almas infinitesimales

En la época en que los animáculos tomaron por sorpresa al mundo, Leibniz estaba vivamente interesado en un problema matemático cuya solución permitiría comprender mejor los fenómenos que muestran variabilidad continua, tales como la velocidad de un proyectil. La clave para analizar comportamientos de este tipo estaba en la división de sus atributos —por ejemplo, la trayectoria del movimiento— en partes suficientemente pequeñas como para considerarlos una serie de puntos, cada uno de éstos definido por valores específicos —digamos, posición y velocidad instantáneas, etcétera—. De particular importancia para dicho método era, desde luego, establecer los límites en la subdivisión de diversas propiedades físicas. El producto de la investigación de Leibniz en este sentido, publicado antes de una década más tarde, sentó las bases del cálculo infinitesimal y ocasionó una agria querrela con Newton acerca de la paternidad de este poderoso recurso de análisis cuantitativo. Independientemente del veredicto final de los expertos acerca de los méritos respectivos en este descubrimiento, es posible imaginar el entusiasmo que suscitaría en Leibniz la noticia de que el reino de lo vivo debería ser estudiado también en términos de partes cada vez más y más pequeñas. Es significativo que el influyente filósofo, matemático y diplomático alemán peregrinara hasta la puerta de Leeuwenhoek en 1676, apenas dos años después del descubrimiento de los animáculos.

Hacia el final de su vida, Leibniz incorporó formalmente en su filosofía el concepto de que toda la realidad está constituida por partes progresivamente más pequeñas, en las que en principio el mundo podría ser dividido, hasta un límite. Este mínimo se alcanzaría al

llegar hasta ciertas sustancias simples e inalterables, sin "figura ni divisibilidad posibles... los verdaderos átomos de la naturaleza," a las que dio el nombre de *mónadas*, refiriéndose también a ellas en ocasiones con el más aristotélico apelativo de *entelequias*. A diferencia de los átomos materiales que habían imaginado Demócrito y Epicuro, las *mónadas* de Leibniz son entidades metafísicas, puntos de energía psíquica dotados en mayor o menor grado de capacidades perceptivas y apetitivas, que confieren una identidad particular a su dominio correspondiente. Puesto que hay en el universo innumerables dominios en una multitud de niveles, existe también toda una jerarquía de *mónadas*, desde la *mónada* suprema y creadora hasta la más ínfima de las *mónadas* creadas en el plano mineral. Una vez aceptado este sistema de organización del mundo, la cuestión del alma depende sólo de ponerse de acuerdo en una convención semántica:

"Si queremos llamar alma a todo lo que tiene percepciones y apetitos en el sentido general que acabo de explicar, todas las sustancias simples o *mónadas* podrían ser llamadas almas; pero como el sentimiento es algo más que una simple percepción, concedo que el nombre general de *mónadas* y de *entelequias* basta para las sustancias simples que no tengan sino eso; y que se llama almas solamente a aquellas cuya percepción es más distinta y está acompañada de memoria."⁴

Todas las *mónadas* tienen la propiedad de estar en armonía con el resto del universo y, cuando se hallan vinculadas a seres vivos, éstos participan en la misma organización:

"El cuerpo que pertenece a una *mónada*, la cual es su *entelequia* o alma, constituye con la *entelequia* lo que puede ser llamado un viviente, y con el alma lo que se llama un animal. Ahora bien, el cuerpo de un viviente o de un animal es en todos los casos orgánico, pues siendo toda *mónada* un espejo del universo, a su modo, y estando regulado el universo dentro de un orden perfecto, es necesario que haya también un orden en el representante, es decir, en las percepciones del alma y, por consecuencia, en el cuerpo, según el cual el universo es representado."⁴

El cuerpo, por su parte, está en realidad compuesto de numerosas *mónadas* subordinadas a una *mónada* principal:

"[...] cada cuerpo viviente tiene una *entelequia* dominante que es el alma del animal; pero los miembros de este cuerpo viviente están llenos de otros vivientes, plantas, animales, cada uno de los cuales tiene, a su vez, su *entelequia* o su alma dominante."¹¹

Se explican entonces los hallazgos de los microscopistas:

"Por donde se ve que hay un mundo de criaturas, de vivientes, de animales, de *entelequias*, de almas en la más pequeña porción de la materia [...] Cada porción de la materia puede ser concebida como un jardín lleno de plantas y como un estanque lleno de peces. Pero cada ramo de la planta, cada miembro del animal, cada gota de sus humores es, a su vez, un jardín o un estanque semejante."¹¹

De aquí que, al igual que la trayectoria de un proyectil se compone de un número infinito de puntos, el movimiento de los seres vivos sea resultado de la integración de una infinidad de movimientos concertados en las *mónadas* subordinadas que los constituyen.

"Por tanto, cada cuerpo orgánico de un viviente es una especie de máquina divina o de autómatas natural, que sobrepasa infinitamente a todos los autómatas artificiales. Porque una máquina hecha por el arte del hombre no es máquina en cada una de sus partes [...] Pero las máquinas de la naturaleza, es decir, los cuerpos vivos, son, sin embargo, máquinas en sus menores partes hasta el infinito [...] cada una de las cuales tiene su propio movimiento."¹¹

Leibniz intentó así mediar entre todas las partes en discordia. Su sistema conservó la separación cartesiana entre lo material y lo espiritual, pero inundó de almas de todas clases y tamaños el universo entero, lo que en cierto sentido era una concesión a Spinoza. Los iatrofísicos podían quedar satisfechos con la explicación mecánica del funcionamiento orgánico, mientras los guardianes de la religión encontrarían la intervención del orden divino hasta en el menor vuelco del más insignificante de los animálculos. La cadena de correspondencias entre diferentes escalas, desde el macrocosmos hasta el microcosmos con el hombre como centro, contaría con el apoyo de los últimos parcelianos. El mismo Pascal hubiera debido obtener algún consuelo en la certidumbre de que, después de todo, los infinitos tienen un límite.



A pesar de esta hábil labor de negociación, es casi seguro que ninguno de los más célebres contendientes habría estado de acuerdo con Leibniz. No obstante, para cuando éste publicó su tratado de *Monadología* todos ellos, salvo Berkeley, eran ya mónadas incorpóreas. La síntesis leibniziana arraigó para nutrir una de las dos principales corrientes del pensamiento biológico en los siguientes doscientos años. La doctrina de las mónadas, procedente de una de las mentes más respetadas de la época, avaló la reacción frente a las ideologías materialistas. El cuerpo podía ser concebido como una máquina, pero de un tipo especial en el que la perfecta organización en todos sus rincones corresponde con la del alma, o más exactamente, con la de diminutas almas locales subordinadas al alma dominante.

Las especulaciones metafísicas de Leibniz comenzaron a tener diversas repercusiones aun antes de que aparecieran publicadas. En Inglaterra, donde el filósofo alemán era poco estimado a raíz de la polémica con Newton en torno a la invención del cálculo infinitesimal,

la acogida de la monadología queda expresada en el seco comentario que Locke escribió a un amigo: "Usted y yo hemos tenido bastante de este tipo de juguetes."¹² Pero en el norte del continente europeo, poseído entonces por el fervor religioso de la Reforma luterana, cundió el *animismo*. Según Stahl, su principal abanderado, todos los procesos fisiológicos están en última instancia gobernados por un principio rector —el *ánima*—. Esta fuerza directriz ejerce un control inmediato sobre las reacciones químicas que en conjunto dan como resultado el trabajo coordinado de los órganos del cuerpo. Así cada porción de materia viva ejecuta la partitura que le corresponde bajo la dirección de una batuta inmaterial. El *ánima*, contrariamente a lo que pensaron Descartes y Spinoza, dirige paso a paso la fisiología. Esta concepción —rebautizada como *vitalismo* y más tarde como *Naturphilosophie*— fue sostenida casi universalmente en el mundo germánico hasta mediados del siglo XIX, y cuenta con representantes todavía en nuestros días. Esto último, sin embargo, es ya otra historia por completo ajena a los microscopistas.



Notas

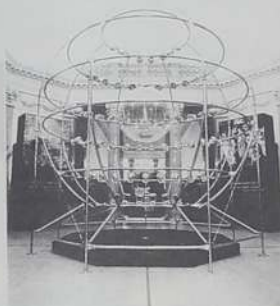
1. J. Rostand, *El Hombre y la Vida. Pensamientos de un Biólogo* (FCE, Colección Popular, Núm. 14. México, 1964) p. 60.
2. M.A.B. Brazier, *The historical development of neurophysiology*, en *Handbook of Physiology*, Vol. 1. *Neurophysiology*, J. Field, H. W. Magoun, V. H. Hall, eds. (American Physiological Society, Washington 1959) p. 6-7.
3. R. Descartes, *Discurso del Método* (SARPE, Grandes Pensadores, Núm. 21. Madrid, 1984) p. 131.
4. T. Hobbes, *Leviatán*, Vol. 1 (SARPE, Grandes Pensadores, Núm. 24. Madrid, 1984) p. 25.
5. Montesquieu, *Discurso sobre los motivos que deben estimularnos a las ciencias*, en *Ensayo Sobre el Gusto* (Espasa-Calpe Argentina. Colección Austral, Núm. 862, Buenos Aires 1948) p. 106.
6. Aristotle, *De anima*, 412b6 (Penguin Books Ltd. Harmondsworth, Middlesex, 1986) p. 157.
7. B. Pascal, *Pensamientos* (Espasa-Calpe Argentina. Colección Austral, Núm. 96, Buenos Aires, 1967) p. 23, 46.
8. P. De Kruif, en *Los Cazadores de Microbios* (Editorial Diana, México, 1963) p. 9-31.
9. G. Somolinos, *Historia de la Medicina* (Editorial Pormaca, México, 1964) p. 101.
10. G. Berkeley, *Principios del Conocimiento Humano* (SARPE, Grandes Pensadores, Núm. 67, Madrid, 1985) p. 134, 137.
11. G. W. Leibniz, *Monadología y Discurso de Metafísica* (SARPE, Grandes Pensadores, Núm. 54, Madrid, 1985) p. 32, 49, 52.
12. B. Russell, *Locke's theory of knowledge*, en *A History of Western Philosophy* (George Allen & Unwin, Counterpoint Edition, 1984) p. 589.



CERN COURIER

International journal of high energy physics

VOLUME 27 6 JULY-DECEMBER 1997



Un nuevo modelo de evaluación por pares, Roger W. Poultney

Bancos de preprints

Durante la última década, algo realmente innovador ha estado a punto de producirse en el mundo de las publicaciones científicas. No obstante, a pesar de que los visionarios continúan prediciendo la inminente caída del actual sistema

editorial, el *status quo* permanece incólume. ¿Significa esto que a pesar del predominio de las nuevas publicaciones electrónicas¹, nada cambiará del todo en los mecanismos básicos de publicación? Nadie conoce la respuesta, pero aún parece vislumbrarse que un cambio dramático está a la vuelta de la esquina. Desde principios de la presente década, nuevas iniciativas de distribución de artículos en su versión de pre-publicación (*preprints* o preimpresos) han desafiado la práctica tradicional de publicación de los físicos de altas energías: los servidores electrónicos de *preprints* mantienen accesibles versiones completas de nuevos trabajos aun mucho antes de que hayan sido sujetas a cualquier "evaluación por pares", como el creado por Paul Ginsparg en el Laboratorio Nacional de Los Alamos¹.

Evaluación por pares

¿Cómo se inserta esta nueva tendencia en la manera en que los físicos publican sus trabajos cien-

El Dr. Roger W. Poultney, físico experimental de altas energías, es editor ejecutivo de *Eagle Intermedia* y de la revista *Nuclear Physics B* (1991-1994). Su interés actual es generar nuevas revistas científicas accesibles en internet para organizaciones científicas europeas. La versión en inglés del presente artículo fue publicada en *Europhysics News* 27 (Feb. 1996) y *CERN Courier* (Jul. 1997), dirección electrónica: roger@eagle.co.uk.

tíficos? Paul Ginsparg cree que estos nuevos desarrollos tendrán profundas implicaciones: "Puesto que la publicación de un artículo en una revista ya no constituye una guía especialmente útil, los lectores se ven forzados a realizar la mayoría de sus selecciones utilizando su propio criterio. En consecuencia, el actual sistema de evaluación por pares deberá rediseñarse por completo a raíz de la puesta en operación de los nuevos métodos electrónicos de publicación y distribución". Mientras que algunos científicos argumentan que sin ningún control de calidad se generará una proliferación de información sin precedentes, otros creen que, por el contrario, con ello se logrará un sistema de evaluación más justo y objetivo. Con este propósito se ha propuesto considerar el número de citas que registran los *preprints* electrónicos. Sin embargo, a este último indicador está asociado el inconveniente de que artículos controversiales (y que no necesariamente son correctos) provocan de manera invariable una reacción en cascada; por lo tanto, el número de citas por sí solo no representa un indicador de calidad.

No obstante, tampoco lo es la revisión por pares, que se percibe a menudo como un proceso arbitrario y subjetivo. A propósito comenta Ginsparg: "uno de los problemas más complejos en el presente es la gran cantidad de información perdida en el proceso de revisión por pares tradicional, con el resultado neto de una única decisión binaria, de todo o nada. Aun cuando este método puede resultar conveniente para validar investigaciones que son determi-

CERN COURIER

International journal of high energy physics

VOLUME 11 4 MAY 1997



nantes en la asignación de puestos de trabajo o de financiamiento de proyectos científicos, este proceso proporciona pocos beneficios al lector promedio."

Un método de evaluación más democrático

En última instancia, lo que sobrevivirá con mayor probabilidad es un sistema dual: todo artículo será archivado de manera sistemática en los bancos de *preprints*, los cuales a su vez incluirán un resumen comprensivo sobre la literatura científica que servirá de guía hacia las revistas científicas más destacadas. El mismo Ginsparg resume en forma clara esta situación: "como no existen por ahora barreras materiales o financieras para una distribución amplia en el medio internacional, es posible imaginar la existencia de un archivo relativamente 'virgen' que permita libre acceso a los *preprints* sin retrasos innecesarios. Cualquier

otra información podría ser incorporada al archivo básico de cada *preprint* y preservada por un equipo independiente de terceros". Este sistema tendría la ventaja de que el material almacenado en los archivos de *preprints* estaría escrito "en bruto", mientras que los sistemas comprensivos de revisión serían más dinámicos y podrían ser modificados para incluir nuevos artículos de manera retrospectiva según vaya evolucionando cada campo. Esta última situación es característica precisamente de la física teórica de altas energías, donde el verdadero impacto de nuevas ideas suele percibirse sólo muchos años después. Con este sistema nunca se presentará el rechazo indiscutible de artículos no convencionales que luego resulten importantes. Con ello los buenos resultados científicos nunca serán ignorados en base a prejuicios de editores o de árbitros y prevalecerá un método de evaluación más democrático.

Varias organizaciones editoriales y científicas están desarrollando sistemas comprensivos de revisión conforme al esquema de este nuevo modelo. Entre ellos se incluye *Virtual Review* de Paul Mende y *Particle Physics* de Eagle Intermedia 1. Estos sistemas funcionan bajo los mismos principios: "árbitros" voluntarios proponen artículos en sus respectivos campos de investigación para ser considerados en el sistema de revisión. En *Virtual Review* los artículos son citados como enlaces de hipertextos dentro de una reseña general sobre un tema, mientras que en *Particle Physics* se compilan listas de hipertextos de

artículos seleccionados cada dos meses, una vez que las propuestas originales son respaldadas por editores consultados de manera independiente. La principal diferencia en este sistema radica en que los artículos son propuestos inicialmente de manera espontánea, mientras que el sistema tradicional de publicación los propios autores remiten de manera activa sus trabajos para ser considerados en una revista científica. Como consecuencia, los autores no son frenados por retrasos innecesarios en el proceso editorial y tienen la libertad de proseguir la publicación de su trabajo en cualquier otro medio.

Diferentes prácticas de publicación

Por supuesto, no se pone en duda que la evaluación por pares tradicional mantiene cierto control de calidad. Esto siempre se debe requerir, y los autores podrían solicitarlo por su propia iniciativa. De hecho, los artículos producidos por las grandes colaboraciones internacionales en la física experimental de altas energías (como las de los grandes laboratorios de aceleradores en Fermilab, CERN y DESY) siempre están sujetos a revisiones críticas y voluntarias dentro de la misma colaboración. En todos estos grupos, comités internos verifican los resultados antes de distribuir los *preprints* al exterior. Como resultado, se tiene que los artículos experimentales casi no requieren de una evaluación adicional antes de su publicación final.

Al poner un mayor énfasis en los *preprints* como el "producto fi-

nal" de los investigadores, los físicos teóricos podrán seguir esta nueva tendencia y hacer un seguimiento de sus propios trabajos. Sin embargo, cómo se desarrollará esta cultura en otras áreas del conocimiento dependerá de sus propias prácticas de publicación. A los observadores externos les sorprende con frecuencia las diferencias que existen en las prácticas de publicación aun en áreas relativamente cercanas. Por ejemplo, Bertran Duplantier, editor activo y físico teórico de Saclay que colabora con biólogos en la estadística de macromoléculas de ADN, está intrigado por las diferencias en la práctica de publicación entre físicos y biólogos: "la distribución de resultados a través de *preprints* está ampliamente aceptada entre la comunidad de físicos de altas energías y los nuevos sistemas de correo electrónico se han hecho muy populares. Pero en la comunidad de biólogos existe un gran temor al plagio en el periodo de prepublicación, y en consecuencia la distribución de *preprints* es menos importante."

Ya sea que el impulso por el cambio esté determinado por cuestiones tecnológicas o por una necesidad genuina de reforma en el sistema de revisión por pares, por ahora contamos con opciones para replantear el sistema editorial de las publicaciones científicas. La comunidad de físicos debería dar su apoyo decidido a los nuevos sistemas, ya que todo dependerá del interés que le asignen los mismos investigadores. Solamente el tiempo dirá si tienen la razón aquellos que creen en un cambio radical (incluido Ginsparg).



Sin embargo, sin una alta "participación de la audiencia", las nuevas iniciativas podrían perder su impulso. En último caso sería una tragedia real para la comunidad de físicos de altas energías (la que inventó precisamente la tecnología que soporta la red *World Wide Web*), y por supuesto para el medio de las publicaciones científicas.

Notas

1. Consúltese, por ejemplo, los servidores de los grandes laboratorios de partículas:

en el CERN,
<http://preprints.cern.ch/>;

en Los Alamos National Laboratory (LANL),
<http://xxx.lanl.gov/>;

Particle Physics (noticias y reseñas),
<http://www.eagle.co.uk/ppi/home.htm/>;

Virtual Review (noticias y reseñas),
<http://www.het.brown.edu/physics/review/index.htm/>.

Indice del volumen 16 Indice de materias

Biomedicina

El Premio Nobel de Medicina 1996	
L. Santos Argumedo	123
Efectos del plomo sobre la salud	
J. V. Calderón Salinas	181
Capacitación en la comunicación escrita sobre asuntos biomédicos	
R. Mendoza Zepeda y B. Badillo Dávila	215
Enfermedad de Chagas	
R. Pérez Fuentes	307

Biología celular

Máquinas vivientes: ¿cómo se mueven las células?	
R. Pérez Tamayo	337
Movimiento celular	
H. Pasantes	339
Motilidad celular	
G. Ortega Pierres	341
¿De verdad se mueven las células?	
E. Frixione	342

Biotecnología y genética de plantas

XV Aniversario de la Unidad Irapuato	
Victor M. Villalobos	3
Microorganismos en la agricultura	
J. P. Martínez Soriano, G. Vandermark y V. Olalde Portugal	7
Los insectos en la biotecnología	
J. E. Ibarra y M. Vázquez Arista	15
Virus de plantas: ¿terribles patógenos o interesantes modelos de estudio?	
R. Rivera Bustamante y L. Silva Rosales	21
Biología molecular de hongos de importancia agronómica	
A. M. Bailey Moreno, A. Herrera Estrella y J. Ruiz Herrera	27
Estudios de la regulación de la expresión genética en bacterias de interés agronómico	
A. Alvarez Morales, R. Marsch Moreno y G. Olmedo Alvarez	37
Cultivo de células, tejidos y órganos vegetales: el chile como sistema modelo	
N. Ochoa Alejo y E. Lozoya Gloria	43
Uso de marcadores moleculares en la agronomía	
A. Mendoza-Herrera y J. Simpson	53
La genética y la fisiología molecular en el estudio de las plantas	
P. Guzmán y M. A. Gómez Lim	59

Transformación genética de plantas	
L. Herrera Estrella, A. Jofre y Garfias, G. Argüello y J. Simpson	67
Dos aproximaciones a la bioquímica de las plantas	
A. Blanco Labra, L. E. González de la Vara y S. E. Valdés Rodríguez	75
Productos naturales	
M. G. López y J. Molina	81

Ciencias marinas

La problemática oceanográfica en México	
L. Capurro	259

Desarrollo institucional

Compartir el conocimiento adquirido	
P. Rudomín	127
El proyecto Juriquilla	135
Programas de doctorado: dudas y certidumbres	255
Informe de labores 1996	
A. Martínez Palomo	323
Definir el perfil de las universidades estatales	
J. L. Morán López	137
Primera piedra de la Unidad Querétaro	
M. Limón Rojas	395
Un nuevo modelo de evaluación por pares	
R.W. Poultney	409

Diálogos

Ciencia y conciencia: el museo de la mente	
C. Chimal	273
Derek Barton y la invención química	
C. Chimal, E. Juaristi y L. Quintero	389

Distinciones

El Premio Nobel de Química 1996	
A. Paz Sandoval	113
El Premio Nobel de Física 1996	
P. González Mozuelos	119
El Premio Nobel de Medicina 1996	
L. Santos Argumedo	123
Premios Nacionales de Ciencias 1996	
J. L. Morán López A. Guzmán Arenas	143
Investigadores eméritos del Cinvestav	141
Investigadores eméritos del SNI	212
M. S. Morales, Premio Martín de la Cruz 1996	270
R. Pérez Fuentes, Premio J. Rosenkranz 1996	271

Educación

Un nuevo currículo de ciencias para Preparatoria	
L. M. Lederman	207
Paulo Freire: pedagogía de la indignación	
E. Ferreiro	320
Programas de doctorado: dudas y certidumbres	
A. Martínez Palomo	255

Física

El Premio Nobel de Física 1996	
P. González Mozuelos	119
El descubrimiento de la superconductividad	
R. Baquero	163
Soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein-Maxwell	
V.M. Manko	227
Pozos, hilos y puntos cuánticos	
M. López López, M. A. Meléndez Lira	243
Agujeros negros y ondas gravitacionales	
N. Bretón	301
La escalera del Universo	
J. G. Hirsch	149
Introducción a la superconductividad	
R. Baquero	349

Ingeniería Eléctrica

Servicios móviles inalámbricos	
V. Kontorovitch, C. Ruiz Sánchez y M. Lara Barrón	99
Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones	
D. Muñoz Rodríguez, D. Sandoval Morantes y J. Alvarez Gallegos	291
El transistor cumple 50 años	
A. Cerdeira Altuzarra	355

Libros y revistas

La escalera del Universo	
J. G. Hirsch	149
Profiles, Pathways and Dreams	
E. Juaristi	151
Máquinas vivientes: ¿cómo se mueven las células?	
R. Pérez Tamayo, H. Pasantes, G. Ortega Pierres y E. Frixione	337
37 modos de hacer ciencia en América Latina	
M. A. Pérez Angón	345
Introducción a la superconductividad	
R. Baquero	349
Un nuevo modelo de evaluación por pares	
R. W. Poultney	409

Matemáticas

Sistemas semióticos de representación	
F. Hitt Espinosa	191
En memoria de José Adem	
E. Ramírez de Arellano	385

Matrices

Auto-nomía	
L. E. Moreno Armella	153

Neurociencias

Ciencia y conciencia: el museo de la mente	
C. Chimal	273
El alma a la luz del microscopio	
E. Frixione	399

Nombramientos

Gerardo Gold, director de la Unidad Mérida	144
J. V. Calderón Salinas, jefe de la Unidad Mérida	145
R. Huerta Quintanilla, secretario académico de la Unidad Mérida	211
J. Mustre, jefe del depto. de Física Aplicada de la Unidad Mérida	211
M. A. Olvera Novoa, jefe del Depto. de Recursos del Mar de la Unidad Mérida	211
V.M. Villalobos, subsecretario de Recursos Naturales	267
M. T. Rojano, jefa del Depto. de Matemática Educativa	269
O. Paredes López, director de la Unidad Irapuato	396
M. G. Ortega Pierres, jefa del Depto. de Genética y Biología Molecular	398

Perfiles de investigación

¡Salam ha muerto!	
R. Baquero	131
Paulo Freire: pedagogía de la indignación	
E. Ferreiro	320
En memoria de José Adem	
E. Ramírez de Arellano	385

Perspectivas

La frecuencia de la desnutrición y sus factores socioeconómicos en Yucatán	
G. Balam Pereira	197
Una nueva generación de investigadores	
I. Meza	317

Política científica

El siglo del conocimiento	
H. Vasconcelos	219
37 modos de hacer ciencia en América Latina	
M. A. Pérez Angón	345
Una nueva generación de investigadores	
I. Meza	317

Química

El principio isótopo	
H. Hommer	107
El Premio Nobel de Química 1996	
A. Paz Sandoval	113

Moléculas que rompen las leyes del análisis conformacional

E. Juaristi 313

Profiles, Pathways, and Dreams

E. Juaristi 151

Síntesis orgánica en fase sólida

I. A. Rivero Espejel 375

Derek Barton y la invención química

C. Chimal, E. Juaristi y L. Quintero 389

Tecnología

El concreto fibrorreforzado

A. Manzano, M. Ibarra y J. Castillo 235

Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla

J. D. Figueroa, J. González Hernández, G. Arámbula Villa y E. Morales Sánchez 363

Índice de Autores

A

Aguilar García, R.

El origen del maíz 91

Alvarez Gallegos, J.

Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones 291

Alvarez Morales, A.

Estudios de la regulación de la expresión genética en bacterias 37

Arámbula Villa, G.

Tecnologías ecológicas para la producción de la tortilla 363

Argüello, G.

Transformación de plantas 67

B

Badillo Dávila, B.

Capacitación en la comunicación escrita sobre asuntos biomédicos 215

Bailey Moreno, A. M.

Biología molecular de hongos 27

Balam Pereira, G.

La frecuencia de la desnutrición y sus factores socioeconómicos en Yucatán 197

Baquero, R.

¿Salam ha muerto! 131

El descubrimiento de la superconductividad 163

Introducción a la superconductividad 349

Blanco Labra, A.

Dos aproximaciones a la bioquímica de plantas 75

Bretón, N.

Agujeros negros y ondas gravitacionales 301

C

Calderón Salinas, J. V.

Efectos del plomo sobre la salud 181

Capurro, L.

La problemática oceanográfica en México 259

Castillo Tovar, J.

El concreto fibrorreforzado 235

Cerdeira Altuzarra, A.

El transistor cumple 50 años 355

Chimal, C.

Ciencia y conciencia: el museo de la mente 273

Derek Barton y la invención química 389

F

Figueroa Cárdenas, J. D.

El origen del maíz 91

Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla 363

Fraxione, E.

¿De verdad se mueven las células? 343

El alma a la luz del microscopio 399

Ferreiro, E.

Paulo Freire: pedagogía de la indignación 320

G

Gómez Lim, A.

La genética y fisiología molecular de plantas 59

González de la Vara, L. E.

Dos aproximaciones a la bioquímica de plantas 75

González Hernández, J.

Tecnologías ecológicas para la producción de la tortilla 363

González Mozuelos, P.

Superfluidez del helio 3 119

Guzmán, P.

La genética y fisiología molecular de plantas 59

H

Herrera Estrella, A.

Biología molecular de hongos 87

Herrera Estrella, L.

Transformación genética de plantas 67

Hommer, H.

El principio isolobal 107

Hirsch, J. G.

La escalera del universo 149

I, J, K

Ibarra Silva, M.

El concreto fibrorreforzado 235

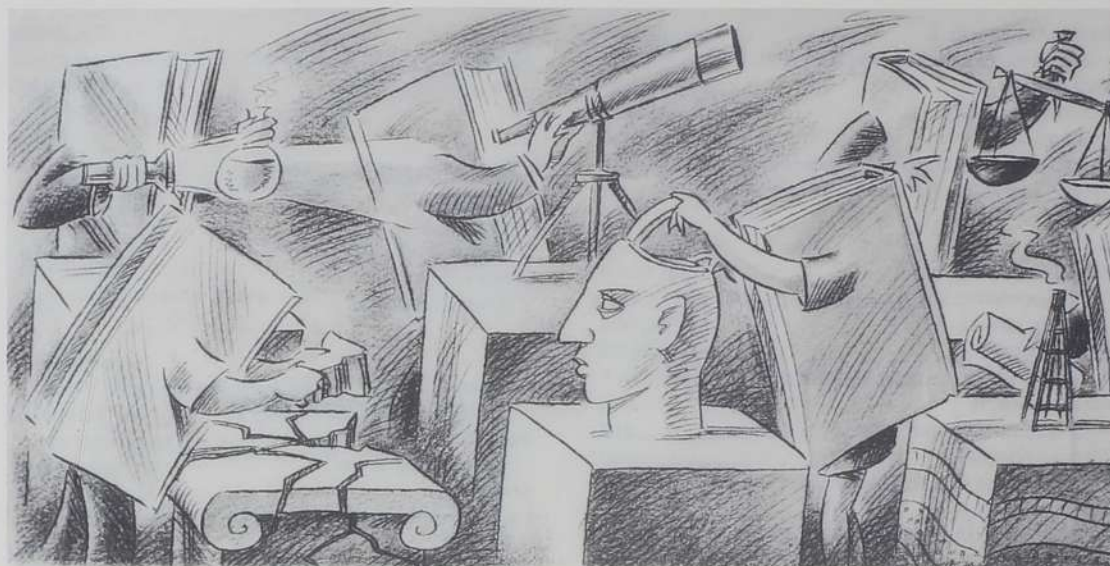
Ibarra, J. E.			
Los insectos en la biotecnología	15	Morán López, J. L.	
Jofre y Garfías, A.		Definir el perfil de las universidades estatales	137
Transformación genética de plantas	67	Moreno Armella, L. E.	
Juaristi, E.		Auto-normia	153
Profiles, Pathways, and Dreams	151	Muñoz Rodríguez, D.	
Moléculas que rompen el análisis conformacional	313	Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones	291
Derek Barton y la invención química	389	O	
Kontorovitch, V.		Ochoa Alejo, N.	
Servicios móviles inalámbricos	99	Cultivo de células, tejidos y órganos vegetales	43
L		Olalde Portugal, V.	
Lara Barrón, M.		Microorganismos en la agricultura	7
Servicios móviles inalámbricos	99	Olmedo Alvarez, G.	
Lederman, L. M.		Estudios de la expresión genética en bacterias	37
Un nuevo currículo de ciencias para Preparatoria	207	Ortega Pierres, M. G.	
M. Limón Rojas		Ensayo sobre motilidad celular	341
Primera piedra de la Unidad Querétaro	395	P	
López López, M.		Pasantes, H.	
Pozos, hilos y puntos cuánticos	243	Movimiento celular	340
López, M. G.		Paz Sandoval, A.	
Productos naturales	81	El Premio Nobel de química 1996	113
Lozoya Gloria, E.		Pérez Angón, M.A.	
Cultivo de células, tejidos y órganos vegetales	43	37 modos de hacer ciencia en América Latina	345
M		Pérez Fuentes, R.	
Manko, V. S.		Enfermedad de Chagas	307
Soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein-Maxwell	227	Pérez Tamayo, R.	
Manzano Ramírez, A.		¿Cómo se mueven las células?	337
El concreto fibrorreforzado	235	Poultney, R.W.	
Marsch Moreno, R.		Un nuevo modelo de evaluación por pares	409
Estudios de la regulación de la expresión genética en bacterias	37	Q	
Martínez Palomo, A.		Quintero, L.	
El proyecto Juriquilla	135	Derek Barton y la invención química	389
Programas de doctorado: dudas y certidumbres	255	R	
Informe de labores 1996	323	Ramírez de Arellano, E.	
Martínez Soriano, J. P.		En memoria de José Adem	385
Microorganismos en la agricultura	7	Rivera Bustamante R.	
Meléndez Lira, M. A.		Virus de plantas	21
Pozos, hilos y puntos cuánticos	243	Rivero Espejel, I. A.	
Mendoza-Herrera, A.		Síntesis orgánica en fase sólida	375
Uso de marcadores moleculares en agronomía	53	Rudomín, P.	
Mendoza Zepeda, R.		Compartir el conocimiento adquirido	127
Capacitación en la comunicación escrita sobre asuntos biomédicos	215	Ruiz Herrera, J.	
Meza, I.		Biología molecular de hongos	27
Una nueva generación de investigadores	317	Ruiz Sánchez, C.	
Molina, J.		Servicios móviles inalámbricos	99
Productos naturales	81	S	
Morales Sánchez, E.		Sandoval Morantes, D.	
Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla	363	Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones	291

Santos Argumedo, L.	
El Premio Nobel de Medicina 1996	123
Silva Rosales, L.	
Virus de plantas	21
Simpson, J.	
Uso de marcadores moleculares en agronomía	53
Transformación genética de plantas	67
V	
Valdés Rodríguez, S. E.	
Dos aproximaciones a la bioquímica de las plantas	75
Vandermark, G.	
Microorganismos en la agricultura	7
Vasconcelos, H.	
El siglo del conocimiento	219
Vázquez Arista, M.	
Los insectos en la biotecnología	15
Villalobos, V. M.	
XV aniversario de la Unidad Irapuato	3

Índice Onomástico

A	
Aceves, J.	
Investigador emérito Cinvestav	141
Investigador emérito SNI	212
Argüello López C.	
Fallecimiento	269
Arias, C. F.	
Donativo Fundación H. Hughes	212
Asomoza, R.	
Asociación de egresados Departamento de Ingeniería Eléctrica	143
C	
Calderón Salinas, J. V.	
Jefe Depto. de Bioquímica	145
Candela, M. A.	
Representante CAC	268
Castro Linares, R.	
Ingreso AMC	146
Cebrián García, M. E.	
Ingreso AMC	145
Cerbón Solorzano, J.	
Investigador emérito SNI	212
Cerejido, M.	
Investigador emérito SNI	212
Clapp, A. C.	
Donativo Fundación. H. Hughes	212

D	
Díaz Cruz, J. L.	
Premio TWAS 1996	144
E	
Escalante Acosta, B. A.	
Ingreso AMC	145
Escobosa, A.	
Representante CAC	268
Estefani, E.	
Director CONICET	269
G	
Gamba, G.	
Donativo Fundación H. Hughes	212
García, A.	
Representante CAC	268
García, R.	
Nombramiento STMC	144
Gómez, C.	
Mejor trabajo en Simposio	142
González Arias, C.	
Premio J. Rosenkranz 1996	271
González Mariscal, L.	
Ingreso AMC	145
Gold, G.	
Director de la Unidad Mérida	144
Gurevich, Y.	
Ingreso AMC	146
Distinción AIT	146
Gutiérrez Vázquez, J. M.	
Biblioteca DIE	142
Guzmán Arenas, A.	
Premio Nacional de Ciencias y Artes 1996	143
H	
Helman, J. S.	
Fallecimiento	144
Herrera Estrella, L.	
Donativo Fundación H. Hughes	212
Hitt Espinoza, F.	
Jefatura DME	268
Huerta Garnica, M. A.	
Fallecimiento	144
Huerta Quintanilla, R.	
Secretario Académico de la Unidad Mérida	211
I, J, K	
Joseph Nathan, P.	
Investigador emérito Cinvestav	141
Kielanowski, P.	
Ingreso AMC	146
Limón Rojas, M.	
Unidad Querétaro	395



López Casillas, F. Donativo F. H. Hughes	212	Possani, L. D. Donativo Fundación H. Hughes	212
M		Q	
Morales, M. S. Premio Martín de la Cruz 1996	270	Quintana Owen, P. Ingreso AMC	146
Morán López, J. L. Premio Nacional de Ciencias y Artes 1996	143	R	
Mustre, J. Jefe Depto. Física Aplicada Unidad Mérida	211	Ramírez de Arellano, E. Jefe interino Depto. Matemáticas	269
O		Rivaud Morayta, J. J. Jefe Sección TMC	144
Ojalde Portugal, V. Premio sobre Tecnología Aplicada	143	Rojano Ceballos, M. T. Jefa Depto. Matemática Educativa	268
Olvera Novoa, M. A. Jefe Depto. de Recursos del Mar Unidad Mérida	211	Rosales Encina, J. L. Premio J. Rosenkranz 1996	271
Orozco, E. Simposio bases moleculares Donativo Fundación H. Hughes	142 212	Rudomin, P. Investigador emérito Cinvestav Investigador emérito SNI	141 212
Ortega Pierres, M. G. Jefa Depto. Genética y Biología Molecular	398	S	
P		Sánchez Guillén, M. C. Premio J. Rosenkranz 1996	271
Paredes López, O. Director Unidad Irapuato	396	U, V	
Peña Chapa, J. L. Unidad Mérida	144	Villa Treviño, S. Representante CAC	268
Pérez Fuentes, R. Premio Rosenkranz 1996	271	Villalobos Arámbula, V. M. Subsecretario de Recursos Naturales Director Unidad Irapuato	267 396
Plebański, J. Investigador emérito Cinvestav Investigador emérito SNI	141 212		

Maestría y Doctorado en Ciencias

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica
sección de

CONTROL AUTOMÁTICO

Teoría de Sistemas

Se investigan las propiedades de los distintos sistemas: Sistemas Lineales Variantes e Invariantes en el Tiempo, Sistemas No Lineales Variantes e Invariantes en el Tiempo, así como los problemas básicos de control de estos sistemas, tales como: estabilidad, regulación, seguimiento, análisis a perturbaciones, análisis de incertidumbres. Se emplean técnicas de Control Óptimo, Control Adaptable, Control Estocástico, Control Robusto, Estructura de Sistemas, Redes Neuronales, Lógica Difusa y otras.

Robótica y Visión Artificial

Se realiza investigación en Modelado y Control de Robots, Procesamiento y Reconocimiento de Imágenes, Control de Robots con Información Visual y Control de Sistemas a Eventos Discretos, así como aplicación de estas técnicas a nivel prototipo de laboratorio con el propósito de aplicación en la industria.

Control de Procesos

Se realiza Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos para la prueba de algoritmos de control con el fin de su posterior aplicación en prototipos de laboratorio y potencial aplicación a procesos industriales.

Becas

Las personas admitidas al programa de Maestría o Doctorado contarán con el apoyo institucional ante el organismo al cual solicitan beca. Es importante recordar que el CONACYT pide, entre otros requisitos, el tener un promedio superior a 8.0/10.0.

Correspondencia

Coordinación Académica
Sección de Control Automático
Depto. de Ingeniería Eléctrica
CINVESTAV-IPN
Av. I.P.N. #2508, Esq. Ticoman
Col. San Pedro Zacatenco
C.F. 07350, México, D.F.
Tel. 747 7000 y 01 Ext. 3208
Fax: 747 7089

e-mail: coordaca@ctrl.cinvestav.mx
http://www.ctrl.cinvestav.mx



Física de altas energías (teoría y experimento)
Física del estado sólido (teoría y experimento)
Física estadística (teoría y experimento)
Relatividad general
Física matemática
Física nuclear

LIC. ~~XXXXXXXXXXXX~~
Encargada de la Biblioteca
Depto. Ingeniería Eléctrica

Se apoyará en los trámites de becas a todos
los estudiantes admitidos a la maestría
y al doctorado



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Departamento de Física

Maestría, Doctorado, Posdoctorado

exámenes de admisión

maestría: 2-3 de marzo y 1-2 de junio de 1998

doctorado: cualquier época del año

cursos propedéuticos de 3 meses en marzo y junio

Departamento de Física, Cinvestav
apartado postal 14-740, 07000 México, D.F.
Tel/Fax: (52-5) 747 7096, 747 7097, 747 7098

admission@fis.cinvestav.mx
<http://www.fis.cinvestav.mx>