

AVANCE Y PERSPECTIVA

Órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.



9 770185 141010

Volumen 20
Enero-febrero de 2001
México ISSN 0185-1411
\$ 25 pesos

Desafíos
ambientales
en el siglo XXI

Verano Científico en Laboratorios Extranjeros

La división de partículas y campos de la Sociedad Mexicana de Física convoca a los estudiantes de recién ingreso a maestría o que estén a punto de terminar su programa de licenciatura en física o áreas afines, a concursar por una de las becas que patrocinan laboratorios de física en los EUA y Europa para realizar estancias de dos meses en el verano del 2001.

Estas becas brindan al estudiante la posibilidad de colaborar en un grupo experimental con reconocimiento internacional, abriéndole así la perspectiva informada de proseguir una carrera científica dentro de la física experimental de altas energías u óptica cuántica. Las becas incluyen gastos de estancia, cubiertos por los laboratorios, y de transporte, cubiertos por las instituciones nacionales.

Laboratorios participantes en el área de la física experimental de altas energías:

- CERN, Ginebra, Suiza
- DESY, Hamburgo, RFA
- FERMILAB, Batavia, ILL, EUA

Laboratorios en el área de óptica cuántica: Universidad Estatal de

- Nueva York en Stonybrook, NY, EUA

Los interesados deberán presentar antes del viernes 15 de diciembre del 2000 los siguientes documentos:

Para mayores informes dirigirse a:

Marco Antonio Reyes Santos
IFM-UMSNH Ed. C3/C.U.
Apdo. Postal 2-82
58040, Morelia, Michoacán
Tel./Fax: (4)3 27 19 97, 3 16 73 74
marco@ifm.umich.mx

Heriberto Castilla
Depto. de Física, Cinvestav
Apdo. Postal 14-740
07000, México, D.F.
Tel./Fax: 5747 3839, 5747 7098
castilla@fis.cinvestav.mx

Lorenzo Díaz Cruz
IF-BUAP
Apdo. Postal 5-48
72570, Puebla, Pue.
Tel./Fax: (22) 45 76 45
ldiaz@ifuap.buap.mx

- Solicitud por escrito manifestando su interés en participar en este programa científico de verano e indicando explícitamente su preferencia hacia óptica cuántica o altas energías,
- Copia de su certificado de calificaciones,
- Carta de recomendación de un profesor, y
- Dirección electrónica y teléfono donde puedan ser contactados.

Los candidatos finalistas serán convocados a una entrevista personal en inglés, que tendrá lugar el viernes 12 de enero del 2001 en el Instituto de Física y Matemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en Morelia, Mich.

La documentación deberá llegar antes del 15 de diciembre del 2000 a:

Verano Científico en Laboratorios Extranjeros
Atención: María Elena Cervantes Martínez, IFM-UMSNH
Ed. C3/C.U., Francisco J. Mújica s/n, Col. Felicitas del Río
58055, Morelia, Mich.

Tel./Fax: (4)3 27 19 97, 3 16 73 74 mary@ginette.ifm.umich.mx



Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

DIRECTOR GENERAL
Adolfo Martínez Palomo
ASESORA DE LA DIRECCIÓN GENERAL
María de Ibarrola Nicolín
SECRETARIO ACADÉMICO
René Asomoza
SECRETARIO DE PLANEACIÓN
Manuel Méndez Nonell
SECRETARIO ADMINISTRATIVO
Jorge Velasco Oliva

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 Álvarez
FOTOGRAFÍA
Carlos Villavicencio
Sección Fotografía
del CINVESTAV
CAPTURA
Josefina Miranda López
María Eugenia López Rivera
María Gabriela Reyna López

CONSEJO EDITORIAL
J. Víctor Calderón Salinas
BIOQUÍMICA
Luis Capurro Filigrasso
UNIDAD MÉRIDA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
María de Ibarrola Nicolín
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
UNIDAD QUERÉTARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD IRAPUATO
Yasuhiro Matsumoto
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Luis Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA
Angeles Paz Sandoval
QUÍMICA
Miguel Ángel Pérez Angón
FÍSICA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Correo electrónico:
avance@mail.cinvestav.mx
Tel. y Fax: 5747 37 46

Consulte nuestra página de Internet:
<http://www.cinvestav.mx/webelct/avance.html>

RESPONSABLE
Valente Espinosa

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Vol. 20

enero - febrero del 2001

- 3 *Desafíos ambientales en el siglo XXI*
Luis Capurro

- 17 *Departamento de Matemática Educativa:
25 años de investigación*
Fernando Hitt Espinoza

LOS PREMIOS NOBEL EN CIENCIAS 2000

- 31 *A. Carlsson, P. Greengard y E. Kandel*
José Antonio Arias Montaña y Ubaldo García Hernández

- 37 *Por sus contribuciones a la física*
Miguel Meléndez Lira

- 43 *Plásticos que conducen electricidad*
Mauricio D. Carbajal Tinoco

PERFILES DE INVESTIGACIÓN

- 47 *Recordando a don Juan*
Julio Muñoz

NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 51 *Jorge Aceves, Premio Nacional de Ciencias y Artes 2000*
Alberto Herrera Estrella, Premio de Investigación 2000 de la AMC
Ma. Dolores Cervera Montejano, jefa del Departamento de Ecología Humana de la
Unidad Mérida
Carlos Ruiz Suárez, jefe del Departamento de Física Aplicada de la Unidad Mérida

DIÁLOGOS

- 55 *Los orígenes de la conciencia*
Javier Álvarez Leefmans y Carlos Chimal

LIBROS Y REVISTAS

- 65 *Cognición, mediación y tecnología*
Luis Moreno Armella
- 69 *Milenio, de S. Jay Gould*
Miguel Ángel Pérez Angón

Portada: El aumento de la población mundial contribuirá a incrementar las emisiones de dióxido de carbono en la atmósfera, a la destrucción de la selva húmeda tropical y al consecuente calentamiento global.

Foto: F. González

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 enero-febrero de 2001, volumen 20, se terminó de imprimir en diciembre de 2000. 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:* Grupo Printer Pack, S.A. de C.V., Av. Azcapotzalco 224, Col. Angel Zimbrón, 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 del 2000 página 48. 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: \$ 150.00



II CONGRESO INTERNACIONAL CREATIVIDAD E INNOVACION ORGANIZACIONAL

UNIVERSIDAD
AUTONOMA
DEL
ESTADO
DE
MEXICO

William F. Sturmer
BUFFALO, N.Y.
*Conferencias magistrales
de apertura y cierre*

Ma. Teresa Robles
MEXICO
*Creatividad en
las humanidades*

Renée Bedard
QUEBEC
*Enfoque creativo
acerca de
las organizaciones*

Noelle Poncelet
CALIFORNIA
*La dimensión mística en
la creatividad femenina durante y
después de la menopausia*

CULTURA
CIENTIFICA

CULTURA
HUMANISTICA

CULTURA
MATERIAL

CULTURA
MISTICA

Marcelino Cereijido
MEXICO

*Importancia del pensamiento
no lógico para hacer ciencia*

Alain Chanlat
FRANCIA
*Dirección humanista
en las organizaciones*

Min Basadur
TORONTO
*Innovación en
los negocios*

José Cruz Ramírez
MEXICO
Creatividad en la mística

HACIA UNA CULTURA INTEGRAL EN CREATIVIDAD E INNOVACION

Informes: 56 73 63 79 y 56 73 14 46
www.fundacre@prodigy.net.mx

Desafíos ambientales en el siglo XXI

Luis Capurro

La última década del siglo pasado presenció el surgimiento de serios problemas ambientales globales: la disminución de la provisión de agua dulce, el daño a los sistemas naturales, el calentamiento global de la atmósfera, la reducción de la capa de ozono estratosférico, la disminución de los alimentos provenientes del océano, o la reducción a la mitad de la cantidad de espermatozoides humanos desde 1950. Muchos expertos están de acuerdo en que estos problemas continuarán y es posible que se agraven durante el presente siglo. Las perspectivas para enfrentar estos desafíos deben preocuparnos, pues a pesar de que los ambientalistas han hecho mucho por llamar la atención del público, no se ha visto gran actividad para enfrentar estas amenazas ambientales que en último análisis afectan a cada especie en el planeta.

Mi primera intención fue presentar en este artículo un análisis de cada uno de los problemas globales arriba mencionados, pero corría el riesgo de extenderlo demasiado pues podría repetir algunos aspectos comunes a varios de ellos; por tal razón decidí abordar los que en mi opinión son los más graves, más globales, y que repercuten en todos los otros: (a) aumento de la población mundial, (b) afectación de los ecosistemas (disfunción) y (c) calentamiento global de la atmósfera.

Es una realidad incuestionable que la población mundial se está expandiendo rápidamente y que sus actividades (antropogénicas) contribuyen a agravar los grandes problemas mencionados arriba. Por ejemplo, la competencia para el uso del agua dulce se hará evidente en el granero mundial, en particular entre los grandes

El Dr. Luis Capurro, investigador titular del Departamento de Recursos del Mar de la Unidad Mérida del Cinvestav, es miembro del Consejo Editorial de Avance y Perspectiva. Dirección electrónica: lcapurro@kin.cieamer.conacyt.mx



productores de granos, ya que las naciones que no puedan contar con agua suficiente para regar sus cosechas deberán recurrir a otros países para la obtención de granos para alimentar a sus poblaciones. "En vista de que importar una tonelada de granos es igual a importar 1,000 toneladas de agua", esta opción será la más eficiente para los países que sufren escasez del líquido. Este problema tiene implicaciones más serias en lo que respecta al agua potable; además de sufrir la reducción arriba mencionada, se debe agregar la pérdida de su calidad por la contaminación de las cuencas hidrológicas; por desgracia, serán pocos los países en los que se pueda beber agua directamente del grifo.

Este último aspecto es otro factor crucial que amenaza al mundo y que se conoce como "disrupción o disfunción del ecosistema" o, en palabras más simples, daños a los servicios que prestan los ecosistemas: purificación del agua y del aire y regulación del clima. La destrucción de los

ecosistemas acuáticos someros por la contaminación de los residuos orgánicos humanos tiene una dimensión adicional para algunas de las poblaciones del Tercer Mundo debido a sus apremiantes condiciones socioeconómicas.

El aumento de la concentración de los gases invernadero en la atmósfera, el responsable del calentamiento del aire, y la transformación de más de la mitad de la superficie terrestre son ejemplos indiscutibles de cómo se daña a la salud de los ecosistemas; esto sucede en todas las escalas espaciales. La reducción de la superficie y el espesor de las capas de hielo polares es otro dramático ejemplo del impacto global del calentamiento atmosférico. Por fortuna existe un aspecto positivo: se conoce el modo de aliviar este serio problema global a través de fuentes de energía no contaminantes, como la solar y el viento. Sin embargo, como veremos más adelante hay otros procesos naturales de emisión del carbono a la atmósfera, como los incendios forestales, que son reforzados por el hombre al fraccionar la selva para sus propias actividades.

Estos temas fueron examinados por un panel de expertos ambientales de primera línea en los EUA, que anticipan que el movimiento ambientalista en ese país tendrá un trabajo muy difícil para persuadir a sus responsables políticos de adoptar medidas que solucionen esos desafíos. Si ese país líder en el manejo ambiental tiene esa preocupación, me pregunto si nosotros tendremos un trabajo más duro para convencer a nuestros políticos al respecto; tal vez nos sea más fácil, por la menor magnitud de los intereses en juego.

Una característica de las interacciones que tienen lugar entre las componentes de los ecosistemas es el "sinergismo", o sea que "la suma de los efectos de cada una de los componentes en forma individual es menor que el efecto integrado de todos ellos". En términos ambientales significa, por ejemplo, que si se desea evaluar la acción del calentamiento de la atmósfera sobre el derretimiento del hielo polar, ello nos dará el volumen de hielo derretido en función de las calorías absorbidas, que es lo que buscamos. No obstante, al mismo tiempo que desaparece la capa de hielo superficial, también desaparece una superficie altamente eficiente para reflejar la radiación solar a la atmósfera y esa fuente de energía que era reflejada es ahora absorbida por el agua y propicia mayor calentamiento. Este fenómeno también ocurre en



las políticas y las acciones sobre el manejo de los sistemas naturales, cuando una medida adoptada para cierto fin refuerza o alivia el impacto integral en el ecosistema.

Deseo destacar también que como la gran concentración humana tiene lugar en el ambiente costero, los ejemplos que daré más adelante se refieren a este ambiente, sin descartar que problemas ambientales igualmente graves tienen lugar en otros ecosistemas del planeta.

Aumento de la población mundial

Sabemos por estudios del clima en el pasado (paleoclimatología) de la existencia de cambios ambientales mucho antes de que la acción del hombre pudiera influir de alguna manera en el ambiente (preantropogénica). Sin embargo, quedan muy pocas dudas de que las actividades humanas hayan modificado la composición y contenido de calor de la atmósfera

terrestre y que esto irá en aumento durante el presente siglo con la "expansión de la población humana, a un ritmo sin precedentes en la historia del orbe". Este crecimiento demográfico es una realidad incontenible, a pesar de las limitaciones que varios países con alta tasa de natalidad están aplicando a sus poblaciones. El simple hecho de que el aumento exponencial depende de la población actual, muy numerosa por cierto, hace que el número de habitantes que se incorpora cada año (reclutamiento) sea motivo de preocupación por la inevitable expansión poblacional global. Se estima que para el año 2030 llegará a los 8000 millones de habitantes, de los cuales el 25% vivirá en extrema pobreza.

Surge entonces la pregunta inmediata: ¿cómo afecta el aumento de la población a la salud de nuestro planeta?

Independientemente de cómo usen los recursos naturales, cuya sustentabilidad no es tema de este artículo, los efluentes de su propio metabolismo y de otras actividades humanas afectan la calidad de los ecosistemas. Por ejemplo, existe una tendencia de concentración en el ambiente costero, y es así que más del 50% de la población mundial habita dentro de 60 kilómetros del litoral (*hinterland*). La simple descarga de sus residuos sólidos y líquidos, y de las propias de la urbanización, afectan la calidad del agua costera, y con ello la de la salud de las especies vivas (biota) incluyendo a la humana. Dos casos ilustran claramente la magnitud de este problema: el primero es un estudio llevado a cabo por la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard, que relaciona la aparición de nuevas enfermedades, y la intensificación y expansión de otras, con la calidad del agua costera, deteriorada por la concentración humana en ese ambiente. Para probar esta hipótesis, se lleva a cabo una investigación en el litoral occidental del Atlántico Norte, desde las costas del Labrador hasta las de Venezuela. El otro ejemplo es el impacto que recibe un arrecife coralino de la Gran Barrera Arrecifal de Australia, ubicado a más de 100 kilómetros de la costa, y atribuido a la calidad del agua costera del continente.

Por otro lado, este aumento poblacional contribuirá a incrementar las emisiones de carbono a la atmósfera, a la destrucción de la selva húmeda tropical y por ende al calentamiento global. En cuanto a su relación con las demandas de agua dulce, su disponibilidad futura es difícil de estimar debido al rápido y complejo cambio de la geografía de la provisión y uso del agua. Experimentos

numéricos que combinan las predicciones de los modelos climáticos, los presupuestos o existencias de agua, y la información socioeconómica según redes fluviales digitalizadas, demuestran que (1) una gran proporción de la población mundial está actualmente experimentando presiones sobre el suministro de agua y (2) que las crecientes demandas de agua superan fuertemente al calentamiento invernal en la definición del estado de los sistemas globales del agua para 2025. La consideración del impacto humano sobre el suministro global del agua está aún pobremente articulada, pero con una faceta muy importante de ser un interrogante dentro del cambio global.

Daños a los servicios ecológicos

Los ecosistemas costeros tienen una importancia vital para los países que poseen costas y mucho más para aquellos marítimos, como lo son México y EUA. Estos ecosistemas proveen la base para la pesca comercial y deportiva, el comercio, hábitat para muchas especies de organismos, sistemas de contaminación—filtración, mecanismos de control de inundaciones, turismo recreacional y amortiguadores de tormentas. Por esas cualidades las crecientes actividades humanas han sometido a estos ecosistemas a grandes tensiones. Las islas de barrera, tan comunes en esos ambientes, se han convertido en el lugar favorito para el desarrollo urbano recreacional; los humedales han sido rellenados para dar espacio a las industrias; los estuarios reciben la carga de la contaminación recogida a lo largo de kilómetros de ríos; y la sedimentación y contaminación degradan los arrecifes coralinos cercanos a las ciudades y a las desembocaduras de ríos. Este fenómeno está ocurriendo en el mundo entero y la reacción de algunos países, en particular los desarrollados, es de época reciente.

Los servicios de los sistemas ecológicos y del capital natural que los produce son críticos para el funcionamiento del sistema de vida terrestre. Estimaciones conservadoras sobre su valor económico para toda la biósfera los ubican entre 16 y 54 billones de dólares americanos por año.

Debido a que estos servicios no han sido reconocidos o “capturados” en los mercados comerciales, o bien no



están cuantificados adecuadamente en comparación con los servicios económicos y el capital manufacturero, a menudo se les da muy poco peso en las decisiones políticas. Esta apatía o negligencia puede en último análisis comprometer nuestra sustentabilidad en la biósfera.

La disfunción o daños a los servicios que prestan los ecosistemas es un tópico muy importante y prioritario en las políticas actuales de manejo ambiental. El “servicio” que caracteriza a un sistema natural es, en realidad, una medida de su utilidad ambiental, y su eficiencia depende



exclusivamente de su funcionamiento; de ahí el término de "disfunción" cuando dicho aspecto es disminuido y al llevarlo a su condición inicial de funcionamiento no perturbado se conoce como recuperación o restauración del sistema. Mantener los servicios de estos sistemas en buenas condiciones es un requerimiento básico de la política de sustentabilidad, tan en boga en la actualidad.

Uno de los daños más preocupantes por su impacto socioeconómico, incluyendo a la salud humana, la vida silvestre, el paisaje y el turismo costero, es la ya mencionada calidad del agua costera, que es la que primero recibe el impacto de los residuos humanos que genera la urbanización del ambiente costero. El exceso de estos residuos provoca lo que se conoce en la jerga científica como "eutrofización". La naturaleza de este proceso es la siguiente: las sales nutritivas o nutrientes, en especial el nitrógeno y el fósforo en su versión de sales, son el alimento básico para el crecimiento vegetal, incluyendo al plancton vegetal (fitoplancton) en el ambiente acuático. El exceso de esas sales contenidas en los residuos humanos, conocidas como residuos orgánicos, puede producir un crecimiento exagerado del fitoplancton; lo que conlleva a su vez a una disfunción del ecosistema por la disminución de la transparencia del agua, y por lo tanto la reducción de la luz necesaria para el desarrollo de los otros componentes vitales del ecosistema.

Este aumento exagerado del fitoplancton propicia el crecimiento de otros organismos, tales como esponjas, pastos y otros organismos oportunistas que compiten por el espacio con los componentes normales del ecosistema, y que pueden llevarlo a su desaparición,

alterando de esta forma su funcionamiento. En los sistemas coralinos el exceso de fósforo debilita la estructura del coral y lo hace susceptible a mayor daño. Esta disfunción de los sistemas naturales es uno de los problemas de más actualidad en la ecología costera.

La mejor forma de ilustrar el impacto que se ha producido a los ecosistemas costeros, donde se concentra gran parte de la población humana, es mostrando algunos ejemplos de costosos procesos de restauración o recuperación. Uno de ellos es el caso del Parque Nacional de Everglades en el sur de la península de Florida, conocido antiguamente como el "Río de Pastos" que constituía un enorme ecosistema con pastizales, árboles cipreses, flamencos y otros pájaros, peces y pequeños animales acuáticos, cocodrilos y panteras. La agricultura y los centros urbanos han devorado la mitad de la extensión original del Everglades. Para empeorar la situación, después de una devastadora inundación en 1948, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EUA construyó un sistema de vallas y canales para controlar esas inundaciones y crear fuentes de agua disponibles para futuros desarrollos humanos. Como resultado, el Everglades se ha hecho más árido, muchos de sus componentes están sufriendo las consecuencias y, por si eso fuera poco, las productivas aguas costeras de Florida han sido dañadas por el exceso de agua dulce hacia esos sistemas salados debido a los muchos cambios al régimen hidrológico del parque. A través de este proceso, el agua dulce se convirtió en un "contaminante". En la actualidad el Cuerpo de Ingenieros espera restaurar al ecosistema a un costo estimado de 11 mil millones de dólares; ya veremos qué resultados se logran.



Otro caso bien dramático es la provisión del agua potable a la ciudad de Nueva York proveniente de la cuenca de Catskill en el sistema montañoso del Appalachian y cuya calidad se ha resentido notablemente como resultado de las actividades humanas en esta cuenca acuifera. Las opciones para recuperar la calidad de dicha agua eran (a) construir una planta purificadora a un costo estimado de 3 mil millones de dólares y un costo anual de operación de 300 millones, o bien (b) restaurar la cuenca acuifera a sus condiciones iniciales. Se ha decidido por esta última opción que costará alrededor de 3 mil millones de dólares y cuyos resultados también veremos próximamente.

Las aguas costeras de Maryland, también en EUA y contaminadas desde hace mucho tiempo, serán sometidas a una intensa limpieza durante los próximos 15 años. Este programa se basa en la realidad de que la prosperidad económica y calidad de vida de los residentes y visitantes están directamente relacionadas con una juiciosa protección de este frágil ecosistema costero. Ultimamente la Fundación Mundial de la Vida Silvestre (WWF, por sus siglas en inglés) ha declarado perdidas las playas mediterráneas españolas desde Barcelona a Valencia; esto pasa en un país muy consciente del valor de esos ecosistemas y donde el turismo costero es el mayor en el mundo entero. Podríamos extendernos mucho más y citar ejemplos en otras partes del mundo y en nuestra propia casa, pero quiero invitar a la reflexión, razonando que si este tipo de daño ecológico tiene lugar en países

desarrollados, qué nos puede esperar a nosotros, a no ser que aprovechemos esas dolorosas experiencias y afrontemos como corresponde estos desafíos ambientales.

Calentamiento global de la atmósfera

La otra gran amenaza global es el calentamiento de la atmósfera y el consecuente aumento acelerado del nivel del mar. La mayoría de los expertos acepta que la tasa de calentamiento se está acelerando y que las consecuencias de este aumento de la temperatura de la atmósfera puede transformarse en consecuencias ambientales muy serias. Aun los estudiantes de secundaria saben que con este fenómeno los océanos se calentarán, los glaciares se derretirán causando una elevación del nivel del mar, el agua salada inundará las poblaciones ubicadas en lugares costeros bajos, las regiones aptas para las actividades agrícolas y de ganadería se modificarán, y el patrón climático será más errático y las tormentas más severas.

El proceso del calentamiento atmosférico está bien caracterizado: el espectro de ondas electromagnéticas que emite el Sol como consecuencia de sus procesos termonucleares atraviesa la atmósfera terrestre sin ser casi molestado, con excepción de algunas de ellas que son absorbidas por el anhídrido carbónico, el vapor de agua



y los compuestos fluorados (gases invernaderos) presentes en el aire; esta absorción se traduce en calor. El aumento de la concentración natural de estos gases por las actividades humanas genera mayor absorción y más calor del aire, el que a su vez aumenta la evaporación, es decir, la cantidad de vapor de agua en la atmósfera y por lo tanto mayor absorción de energía solar y entonces mayor calentamiento (sinergia).

El impacto más evidente es que habrá más energía térmica en el aire y por lo tanto los procesos atmosféricos actuales, tales como las tormentas, serán más intensos y de mayor duración, en particular, los huracanes y los fenómenos como ENSO y la Oscilación del Atlántico Norte; los desiertos tenderán a expandirse, las arenas del norte de África podrán invadir el Mediterráneo, y las tormentas de polvo en el medio oeste norteamericano (*dust bowl*) ampliarán su radio de acción. La cantidad del anhídrido carbónico se duplicará en 100 años y su efecto amplificador en la temperatura será de 2.5 °C a 6 °C.²

Una de las mayores preocupaciones del calentamiento es el derretimiento del hielo en las regiones polares. Ello traerá como resultado casi inmediato un aumento acelerado del nivel medio del mar, y como consecuencia la inundación de grandes áreas bajas de la Tierra y la disminución de la salinidad del agua, lo que alterará a su vez la circulación oceánica y modificará la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Estas modificaciones al régimen oceánico alterarán los procesos de intercambio de energía con la atmósfera y por ende el régimen climático (figura 1).

Los niveles del mar y la temperatura de la atmósfera han fluctuado dramáticamente durante la historia geológica del planeta. Por ejemplo, alrededor de 120,000

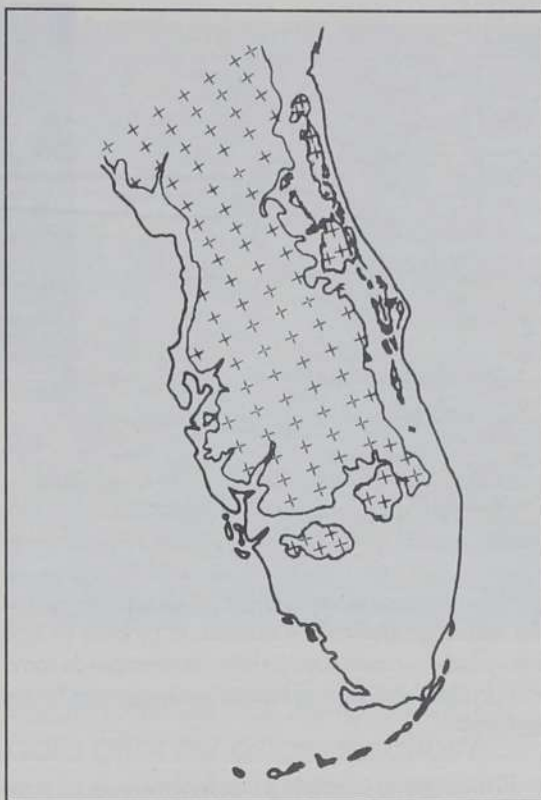


Figura 1. Situación de la península de la Florida después de un posible ascenso del nivel del mar de 7.7 m¹.

años atrás, la temperatura global era uno a dos grados superior a la actual y el nivel del mar estaba como 6 metros más alto; en la última glaciación (hace 15,000 años) la Tierra era 5° C más fría y el mar estaba 100 metros más abajo. En los últimos 3200 años, las mediciones en el Caribe indican que la tasa de ascenso es en promedio de 0.4 milímetros por año, y en el último centenio de alrededor de 1.0 a 2.0 milímetros por año. El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) predice que para 2030 el nivel global del mar estará entre 8 y 29 centímetros arriba del nivel actual, es decir con una tasa de ascenso tres a seis veces mayor que las del último siglo; muchos expertos la consideran conservadora.

Un fenómeno muy sensible a este derretimiento y de gran significancia social es el que tiene lugar en el Atlántico Norte donde se inicia lo que conocemos como "la cinta transportadora" (*conveyor belt*). Es un hecho ya conocido,



hasta por los estudiantes de secundaria, que el clima templado que goza el norte de Europa se debe a que una corriente cálida conocida como la Corriente del Golfo (*Gulf Stream*), que baña sus costas y lleva consigo esa fuente de calor, suaviza el clima en esos países de tan alta latitud geográfica. En realidad el proceso es algo más complejo y constituye un hermoso ejemplo de cómo actúa la naturaleza y cómo interactúan los grandes fluidos geofísicos.

El mecanismo asociado a este fenómeno es un poco complejo: el agua que integra la corriente del golfo es de origen ecuatorial, se mueve a lo largo del Caribe, Golfo de México, costa oriental de EUA, para finalmente entrar a pleno Atlántico Norte y seguir moviéndose hacia el este, hasta las cercanías del continente europeo. Debido a su larga travesía por la región tropical de muy alta evaporación, adquiere una alta temperatura y un alto contenido en sales (salinidad). Cuando llega a las proximidades de Groenlandia se encuentra con la masa de aire polar del norte y en esa oportunidad entrega considerable calor de sus aguas al aire que condiciona al clima del norte de Europa. Al entregar ese calor el agua se enfría y esto, conjuntamente con la alta salinidad, le otorga una densidad mayor que el agua subyacente, lo que provoca su hundimiento hasta encontrar un nivel de profundidad donde su densidad sea igual a la del agua a esa profundidad. Este proceso opera de manera continua y se ha convertido en una característica climática permanente, donde el agua superficial que se hundió llega hasta el fondo (más de 3000 metros) y se desplaza hacia el sur a esas profundidades hasta surgir a la superficie en el Atlántico Sur, próximo al Antártico y volver a fluir hacia el norte (de allí el nombre de cinta transportadora). Los

volúmenes de agua involucrados en este proceso son importantes: la Corriente del Golfo transporta en esa región alrededor de 85 millones de metros cúbicos por segundo; de ese volumen alrededor de 20 millones por segundo se hunden en la región y se incorporan a la cinta transportadora. La gran preocupación por el calentamiento es que el agua dulce proveniente del derretimiento de los glaciares próximos de Groenlandia pueda diluir el agua de la Corriente del Golfo (reducir la salinidad) a un grado tal que el enfriamiento no sea suficiente para aumentar la densidad del agua superficial a un grado tal que pueda provocar su hundimiento, y por lo tanto suprimir la acción de la cinta transportadora. Si esto llegara a ocurrir, la temperatura media del aire en el norte de Europa disminuiría entre 5 y 8°C, y habría otras implicaciones climáticas.

Otro ejemplo dramático de la magnitud de los problemas que puede generar el calentamiento lo tenemos en el caso de *El Niño* 1996-1998, tal vez el más violento y largo del siglo. La sequía que se produjo en el este de Asia por el desplazamiento del área convectiva de lluvia prevaleciente en esa región provocó desastrosos incendios en Indonesia, particularmente en Borneo. Esta región, conjuntamente con la del Amazonas, constituyen las dos selvas húmedas más grandes del planeta. En los últimos 20 años los incendios en Indonesia han aportado a la atmósfera una cantidad de anhídrido carbónico mayor que el antropogénico de EUA, alrededor de un 30% del total. Aquí se ha comprobado otro típico ejemplo de sinergismo entre el fraccionamiento de la selva y los incendios. Se ha comprobado por fechado del carbón, y algunas evidencias arqueológicas, que incendios tan grandes han sucedido en el pasado cuando se producen

grandes Niños, con alrededor de 400 a 700 años de intervalo. Es posible que el calentamiento acorte este lapso de tiempo y ocurra con mayor frecuencia.

Otro campo con efectos no tan familiares, pero con igualmente detrimento, es el de la salud humana. Algunos modelos matemáticos pronostican, en particular, que el calentamiento y otras alteraciones del clima relacionadas pueden ampliar la incidencia y distribución de muchos desórdenes de salud. Como ya se ha mencionado, la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard está muy activa en esta área de la ecología humana y anticipa serias consecuencias del calentamiento:

(1) Las olas de calor y la falta de enfriamiento nocturno duplicarán en algunos lugares el número de muertos para el año 2020. Además favorecerán la formación del smog y de la dispersión de alergias.

(2) Mayor frecuencia de sequías y de inundaciones, que además de causar más ahogados o hambre, pueden promover la emergencia, resurgimiento y dispersión de enfermedades infecciosas. Esto es preocupante pues estas enfermedades son difíciles de combatir.

(3) Las enfermedades relacionadas con los mosquitos, tales como malaria, dengue, fiebre amarilla y varias clases de encefalitis, deben ser motivo de mucha atención. La malaria y el dengue son los más probables para propagarse de manera dramática.

(4) Una seria perturbación en el ecosistema es una de las vías más profundas por la cual un cambio de clima puede afectar la salud humana. El control de pestes es uno de los servicios más eficientes que puede prestar un ecosistema y de los menos apreciados por el hombre. Ecosistemas en buen estado de funcionamiento mantienen diversas especies bajo control. Si el clima perturba al sistema, ello puede dar oportunidad al crecimiento de poblaciones oportunistas que refuerzan la dispersión de la enfermedad. Un ejemplo cercano de este último problema fue el impacto del huracán Mitch sobre América Central: aparte de producir la muerte de 11,000 personas por acción directa generó miles de casos de cólera, malaria y dengue.

(5) Como se ha dicho al principio de este trabajo, la calidad del agua costera debe ser motivo de especial preocupación.



¿Qué puede hacer la ciencia para afrontar estos desafíos?

La calidad de vida en el siglo XXI dependerá en gran medida de la generación de nuevas fuentes de riqueza, de cómo asegurar la salud de nuestro planeta, de las oportunidades para impulsar el desarrollo individual y de la integración de nuestros intereses. En este contexto, el medio ambiente es un tema central, vigoroso y esencial en los asuntos domésticos e internacionales. Este concepto o idea directriz debe ser divulgado y reconocido por todos los niveles de la sociedad.

Si aceptamos la alta prioridad que debemos asumir ante las amenazas para nuestra subsistencia y permanencia en el planeta, entonces se debe aclarar el papel que la ciencia puede jugar ante esas amenazas a la salud de nuestro hábitat. El estado actual del conocimiento, tanto en ciencia como en tecnología, permite afrontar los desafíos que se plantearon más arriba.

El siglo XX ha producido notables avances en la comprensión de los componentes de los sistemas naturales en escalas que van desde lo microscópico a lo macroscópico. En la frontera de la investigación se halla la necesidad de encontrar maneras de integrar esta



información en modelos que describan mejor el comportamiento y la dinámica de los sistemas naturales. En vista de la complejidad de los ecosistemas, y a fin de asegurar el beneficio global de la sociedad, los progresos deben acoplarse a métodos más efectivos para comunicar la información integrada al público en general y a los políticos en particular.

El sistema climático de la Tierra está siendo monitoreado como nunca antes. Los datos obtenidos desde satélites, buques, boyas, mareógrafos y otro instrumental están siendo compilados, intercambiados, incorporados a centros de datos, catalogados, clasificados e interpretados. Sin embargo, el estado diario del tiempo crea mucho ruido en el sistema climático y la recurrencia de eventos de corta vida, como el *Niño*, complica tanto a los modelos que hace difícil llegar a firmes conclusiones sobre la presente naturaleza del clima y de su tasa de variación.

En los EUA se concluyó una investigación de tres años en la que se trataba de conocer el efecto del clima en los sistemas naturales y en los socioeconómicos. Los resultados no han sido muy estimulantes, a pesar de que se usó una gran variedad de modelos: debido a las limitaciones de la ciencia, la evaluación no pudo obtener grandes logros. En su mayoría, estos modelos dan una señal de alerta, pero tienden a dar diferentes predicciones a nivel regional, y no hay forma de saber cuál de ellos es

el mejor. La escala de predicción se reduce y la credibilidad disminuye hasta que cuando se llega a pequeñas regiones, los "datos del modelo no son aceptables". Si bien esta evaluación nacional no ofrece una lista del impacto, región por región, puede mostrar dónde es adaptable y dónde se es vulnerable.

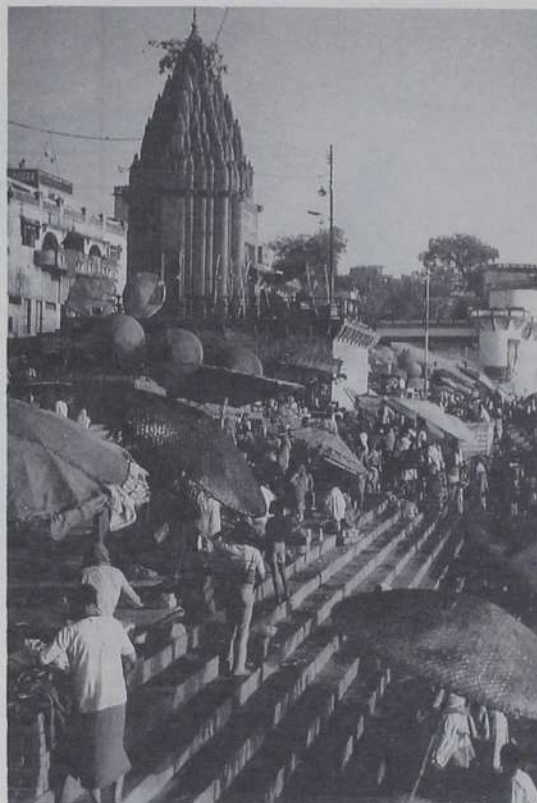
Nuestra problemática ambiental incorpora todos estos desafíos y debemos afrontarlos sin demora y capitalizar las experiencias de otros países. Debemos aceptar que la ciencia y la tecnología juegan un papel preponderante en este enfrentamiento con las amenazas ambientales. Los problemas emergentes son de tal complejidad que no se prestan a soluciones intuitivas; la academia cuenta con talentos y herramientas para aceptar esos desafíos; lo que se requiere es el apoyo para ejercitar esa ciencia y tecnología. El CONACyT es la fuente principal de apoyo a la investigación científica ambiental en nuestro país, que es llevada a cabo por la comunidad académica.

Por lo tanto, en forma consistente con su misión primaria, los fondos disponibles deben asignarse de manera prioritaria a proyectos basados en los méritos de las evaluaciones por expertos externos o nacionales; estas inversiones deben proveer un mayor vigor intelectual y liderazgo en el avance de nuevos enfoques y en el conocimiento fundamental que es básico para atacar la gama de problemas ambientales emergentes. La investigación básica ha elucidado las interacciones físicas, biológicas, químicas, geológicas y sociales, la dinámica y funciones de tales problemas ambientales en la salud y vitalidad de los ecosistemas, de la predicción del tiempo atmosférico, el papel que juegan las corrientes oceánicas en el clima, las proyecciones en el cambio del nivel del mar y la evolución de las especies de plantas y animales en los ecosistemas terrestres y marinos.

La naturaleza y alcance de los problemas ambientales emergentes en escala nacional y global, mencionados de manera somera en este artículo, sugieren la necesidad de evaluar los desafíos y las oportunidades que estos asuntos críticos presentan al CONACyT. Se deben aumentar los recursos en las escalas espaciales y temporales de carácter inter y multidisciplinario para investigación y monitoreo, y apoyos más significativos en investigaciones críticas para comprender la biocomplejidad, incluyendo las ciencias naturales y sociales, así como la tecnología ambiental. El CONACyT ha comenzado a aplicar este esquema con los "proyectos nuevos, emergentes y rezagados" y con

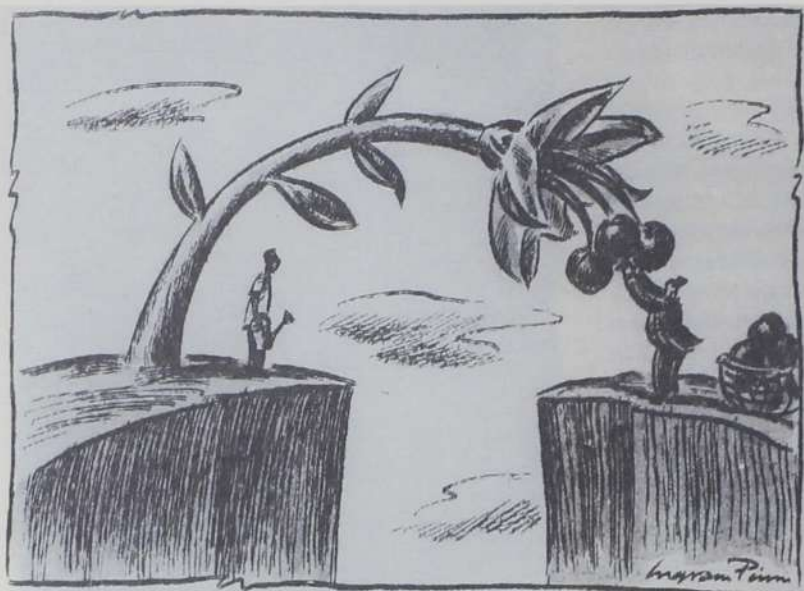
los proyectos de "grupo", pero desgraciadamente con poco reconocimiento de la importancia del medio ambiente.

La comprensión y predicción científica del comportamiento del medio ambiente, conjuntamente con una ciudadanía científicamente informada, es un requisito para mantener la calidad de vida de las futuras generaciones. Los servicios ecológicos son esenciales para la humanidad; sin embargo, sus dimensiones y valores no son bien comprendidos. Durante la confección de este trabajo y con la idea de ilustrar conceptos básicos con ejemplos típicos se ha podido identificar y confirmar la relación estrecha entre la naturaleza y el funcionamiento de los tres grandes desafíos mencionados arriba, así como otra característica que se presenta en las investigaciones ambientales y que evidentemente incorporan más complejidad a los problemas ambientales: la sinergia. Los efectos buenos o malos de estos desafíos no se pueden evaluar en términos lineales, es decir sumando sus efectos individuales, sino considerando las interacciones entre los distintos componentes. Incluso, los países avanzados



admiten la dificultad que tienen para que la seriedad de los desafíos ambientales sea reconocida, situación que nosotros compartimos; no obstante, deseo destacar algunas acciones emprendidas por nuestro vecino del norte, que tienen aplicación en nuestro país y que sugeriría cierto apoyo a la investigación ambiental. Estas acciones se concretaron en el reconocimiento a la seriedad del problema para lo cual recurrieron a su máximo organismo científico, la Academia Nacional de Ciencias, para que identificara los Indicadores Ecológicos de la Nación, tarea que fue llevada a cabo por su *National Research Council* y publicada en un libro reciente. Este es un gran paso, pues indica una preocupación de las más altas autoridades de ese país por disponer de información inmediata del estado de salud y los problemas de sus valiosos ecosistemas, que finalmente constituyen nuestro hábitat³.

Otro estudio importante⁴, relacionado con el mar, se generó en este mismo país y en el cual se admite que



EUA es un país eminentemente marítimo y procede a una evaluación del estado de salud de sus mares. Nuestros problemas a largo plazo, y nuestro ritmo de desarrollo, me han convencido que México es también un país marítimo; sus intereses en el mar no deben ser subestimados. Desde sus comienzos a principios de 1980, la Unidad Mérida del Cinvestav ha reconocido el papel importante que el mar juega en la problemática nacional y en particular en la península de Yucatán. Desde entonces estamos realizando estudios de toda índole, incluyendo los aspectos biológicos, físicos y socioeconómicos del ambiente costero, que consideramos el recurso natural más valioso y objetivo a largo plazo de la península. Estamos tratando de imponer este esquema a todos los niveles de la sociedad peninsular y en lo posible a la nacional. La tarea no es fácil pero existe la voluntad de hacerlo.

A principios de octubre último se produjo un fenómeno inesperado cuyas consecuencias globales en la economía y salud pública podrían ser muy serias. Una rama o brazo de la disminuida capa de ozono atmosférica presente sobre el Antártico pasó sobre el sur de Chile, regando a esa región con niveles muy altos de radiación ultravioleta, que alcanzó a producir quemaduras a la gente en tan sólo siete minutos de exposición. A medida que esta capa se reduce, tales ocurrencias serán más frecuentes en otras áreas más pobladas, y si ellas persisten,

esta radiación podrá dañar al ganado, los peces y otros seres vivos.

La capa de ozono se ha ido adelgazando en forma continua desde que comenzó a ser monitoreada en el año 1985, y ello ha sido muy evidente y muy dramático sobre el Antártico, que es el centro de la gran rueda global de la circulación atmosférica. Los expertos de la Organización Meteorológica Mundial, una de las agencias especializadas del sistema de las Naciones Unidas, han manifestado que este agujero en la capa de ozono es el más profundo y grande que se ha generado hasta el presente, con una reducción de más del 50 por ciento en una área tres veces más grande que el tamaño de los Estados Unidos.

El tratado de 1987 en Montreal, que apunta a regular y eventualmente a eliminar los compuestos carbonoclorofluorados, que es el principal agente dañino a la capa de ozono, ha sido ratificado por 140 países. El problema es que según algunos expertos, la capa de ozono necesitaría varios siglos para recuperarse, suponiendo que el daño se detiene en este momento.

Los otros químicos, tales como los óxidos de nitrógeno y metano, ambos producidos en gran cantidad por la agricultura tradicional y la moderna, son más difíciles de separar de la actividad humana.

Este evento del 9 de octubre sobre el sur de Chile, y el hecho de que Australia y Nueva Zelanda, que están ubicadas en la zona de peligro tengan la mayor incidencia de cáncer de piel, deben llamarnos la atención sobre la seriedad del desafío que afrontamos.

Con respecto al abuso que el hombre ha hecho del medio ambiente, y para destacar los serios problemas ambientales que ha generado, me gustaría citar a un colega que ha tocado el aspecto ético de este tema: "En este siglo XX hemos cruzado el umbral moral de la historia de este siglo, en breve se verán los efectos de haber cruzado este umbral".



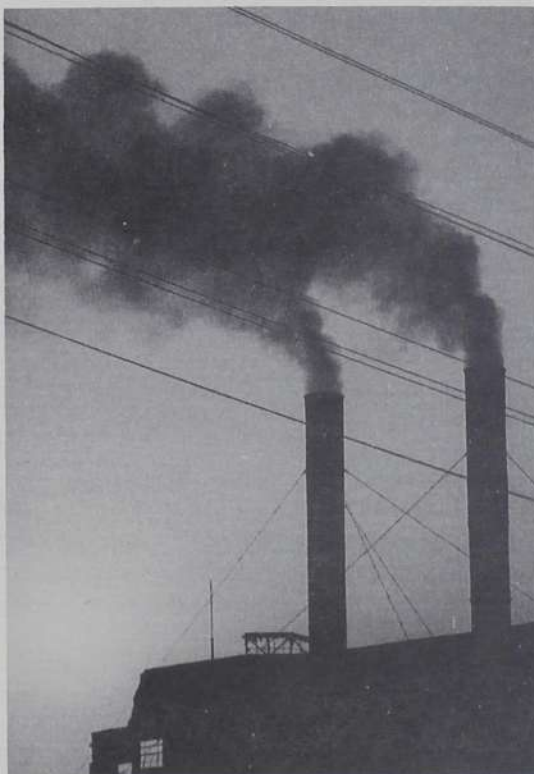
Notas

1. UNESCO *Reports in Marine Science* **54** (1990); Canadian Environmental Agency <http://www.ccc.org/> (1997).

2. En la reunión de Viena sobre Calentamiento Global celebrada en noviembre pasado, ninguno de los grandes países industriales ratificó el acuerdo de Kyoto (1997) para reducir el nivel de dióxido de carbono al que se tenía en 1990.

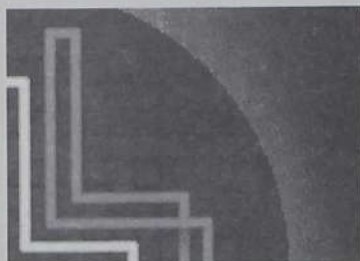
3. J.T. Houghton, B.A. Callander y S.K. Varney, *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* (Cambridge Univ. Press, 1990); *The Supplement Report of the IPCC Scientific Assessment* (Cambridge Univ. Press, 1992).

4. *Climate Change and Human Health*, A.J. Mc Michael, Andrew Haines, Rudolf Sloof y Sari Kovats, eds. (World Health Organization, United Nations Environmental Program, 1996).



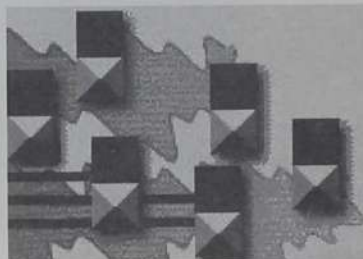
SEMINARIO DE MODELADO

DEPARTAMENTO DE CONTROL AUTOMÁTICO
DEL CINVESTAV



ALGUNOS TÓPICOS A TRATAR

Aeronaves
Algoritmos genéticos
Bioprocesos
Cinética y dinámica de fármacos
Citoesqueleto de Amibas
Climax sexual
Convertidores CD - CD
Convertidores fotovoltaicos
Epidemiología
Fibras musculares
Finanzas
Galaxias
Hipertensión
Imágenes
Procesos agrícolas
Procesos metalúrgicos
Propiedades ópticas de los materiales
Química computacional y modelado molecular
Reactores químicos
Semiconductores
Sistemas estocásticos, teoría de juegos
Sistemas conexionistas
Sistemas a eventos discretos
Sistemas mecánicos
Sistema nervioso central
Sistemas sociales
Software para modelado y simulación



CONFERENCISTAS

Científicos del CINVESTAV de prácticamente todas las áreas del conocimiento que se cultivan en la institución y algunos conferencistas externos en áreas complementarias.

Una conferencia semanal los viernes a las 11:00 hrs
Auditorio de Ingeniería Eléctrica

MOTIVACIONES

El modelado y la simulación han sido actividades centrales en todas las disciplinas de la ciencia y de la ingeniería. Ambas nos ayudan a comprender la naturaleza cuando las utilizamos para analizar fenómenos naturales y sistemas físicos. También resultan de gran importancia y utilidad en el diseño de procesos tecnológicos, pues nos ayudan a predecir su comportamiento dinámico aun antes de construirlos.



INFORMES E INSCRIPCIONES

Dr. J. M. Ibarra Zannatha
Coordinador del Seminario
jibarra@ctrl.cinvestav.mx

Dr. J. C. Martínez García
Coordinador Académico del DCA
martinez@ctrl.cinvestav.mx

www.ctrl.cinvestav/modelado.html
57 47 38 00 ext. 3205, 3238, 3239 y 3244

Departamento de Matemática Educativa: 25 años de investigación

Fernando Hitt Espinosa

Reforma Educativa

En la década de los setenta en México, las autoridades en funciones de la Secretaría de Educación Pública (SEP) impulsaron un proyecto denominado Reforma Educativa. Esas autoridades solicitaron a un grupo de investigadores del Departamento de Matemáticas del Cinvestav elaborar el siguiente material: (a) el curriculum nacional de primaria requerido para la enseñanza de las matemáticas, (b) los planes y programas para el ciclo educativo de primaria y para cada uno de sus grados, (c) la redacción de los textos para ese ciclo escolar.

Las serias reflexiones sobre los problemas de la enseñanza de las matemáticas y la posición crítica de este grupo de investigadores hacia la corriente llamada matemática moderna dieron lugar a unos libros de texto que revolucionaron la enseñanza de las matemáticas en México en el nivel primario. Por señalar un ejemplo, se incluyeron temas totalmente nuevos como la probabilidad y la estadística. El enfoque que imprimieron a esos libros fue innovador para la época.

Enfrentar continuamente problemas de enseñanza con maestros de primaria, preparados de manera deficiente, y luchar en contra de la corriente de la matemática moderna motivó a algunos investigadores a tomar conciencia de la necesidad de crear un órgano que se dedicara exclusivamente al análisis y la búsqueda de soluciones a la problemática de la enseñanza de las matemáticas. Quisiera resaltar este punto ya que en ese entonces el problema que se vislumbraba era precisamente

El Dr. Fernando Hitt Espinosa es investigador titular del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav. Correo electrónico: fhitta@data.net.mx

el de la enseñanza de las matemáticas y no tanto la temática en sí. Poco a poco se profundizó en el entendimiento de los problemas de aprendizaje de conceptos específicos en matemáticas y de la necesidad del estudio de los fenómenos ligados al aprendizaje.

Es hacia finales de 1973 que cuatro profesores del Departamento de Matemáticas (Eugenio Filloy, Luis Gorostiza, Carlos Imaz y Juan José Rivaud) plantearon la necesidad de la creación de una Sección de Matemática Educativa. En el anteproyecto diseñado por estos profesores se explicaba la crisis de la educación en general y de las matemáticas en lo particular de aquella época en México. Argumentando sobre la falta de metodologías propias para la resolución de ese problema, los profesores solicitaron la creación de una sección en el Cinvestav, que tuviera los siguientes objetivos: (1) investigación general sobre los procesos de aprendizaje de las matemáticas y sus métodos de enseñanza; (2) experimentación, revisión y corrección, de manera continua, de los nuevos libros de texto gratuitos de primaria; (3) estudio de las necesidades reales y creación de diversos tipos de materiales auxiliares para los maestros de primaria; (4) estructuración del plan de estudio de las matemáticas en las escuelas normales de maestros; (5) estudio de los problemas de los profesores de matemáticas del nivel medio superior, en particular en las escuelas normales de maestros, los colegios de ciencias y humanidades de la UNAM, las preparatorias de las universidades estatales y los futuros colegios de bachilleres, haciéndose énfasis en la redacción de materiales adecuados a estos niveles, tanto para los maestros como para los alumnos; (6) planeación de una licenciatura enfocada a la enseñanza de las matemáticas, con el propósito de formar profesores de nivel medio superior especializados en la enseñanza de las matemáticas; (7) diseño de programas de maestría y doctorado en esa dirección; y (8) elaboración de materiales de divulgación.

En marzo de 1974 se presentó de manera formal al director del Cinvestav, el Dr. Guillermo Massieu, un nuevo documento relativo a la solicitud de creación de una Sección de Matemática Educativa. El documento entregado al Dr. Massieu inicia de la siguiente manera: "La oportunidad e interés que hemos tenido algunas personas y, en particular, las que suscriben este proyecto, de asomarnos e intervenir en algunos problemas de la educación matemática en México, nos permite asegurar que la situación en este renglón educativo, a todos los niveles, puede resumirse en una palabra: caótica".



Sección de Matemática Educativa

La creación de una sección al interior del Cinvestav contemplaba que sus miembros se dedicaran a la investigación básica y general de los procesos de aprendizaje de las matemáticas, así como a la transmisión masiva y selectiva de esta ciencia. No es sino hasta marzo de 1975, cuando las autoridades de la SEP solicitaron nuevamente el apoyo directo de algunos investigadores del Departamento de Matemáticas, que resurgió la idea de la creación de una sección dentro del Cinvestav para dar respuesta a la problemática antes planteada. En esta ocasión fueron los profesores Eugenio Filloy, Carlos Imaz y Juan José Rivaud quienes impulsaron la creación de dicha sección.

Tensiones internas entre los académicos del Departamento de Matemáticas por un lado, y la posibilidad de crear una sección independiente del Departamento de Matemáticas por el otro, influyeron en la decisión de crear la Sección de Matemática Educativa al interior del Departamento de Investigaciones Educativas (DIE). No obstante, la Sección de Matemática Educativa (SME), desde sus inicios hasta marzo de 1993, funcionó en la práctica de manera independiente al DIE. Por ejemplo, los nombramientos de jefes del DIE y de la SME se nombraban de manera independiente. El DIE y la SME contaban con presupuestos diferenciados para su operación, las instalaciones estaban físicamente separadas. La Sección de Matemática Educativa se convierte en Departamento a partir de marzo de 1995. En la tabla 1 enlistamos al personal académico que ingresó en 1975.

Tabla 1. Personal académico de la SME en 1975.

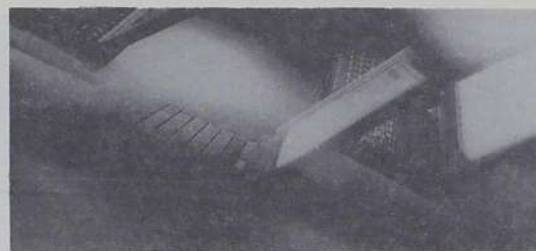
Jesús Alarcón (Papini)	Fernando Hitt
Antonio Antolín	Carlos Imaz
Enrique Antoniano	Jesús Riestra
Guillermo Arreguín	Antonio Rivera
Olimpia Figueras	Ma. Teresa Rojano
Eugenio Filloy	

Debemos recordar que en México en esa época no se contaba con una carrera universitaria que se enfocara a los problemas de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. Una gran mayoría de la planta de profesores del sistema educativo mexicano de los niveles medio superior y universitario se dedicaban a la enseñanza de las matemáticas por cuestiones azarosas, más que por vocación. Más aún, cuando la vida profesional de estos profesores tuvo que ver con la educación matemática, el sistema educativo mexicano no tenía ofrecimiento alguno para que pudieran progresar académicamente.

El programa de maestría

El programa de maestría en ciencias con especialidad en Matemática Educativa venía a cubrir el gran vacío existente entre el profesor de matemáticas, la posibilidad de mejorar académicamente e introducirse en la investigación relativa a los problemas de aprendizaje y enseñanza de las matemáticas. En los inicios de la SME, su personal estructuró un programa de maestría en ciencias con especialidad en Matemática Educativa que incluía la elaboración de materiales y la experimentación educativa (1975).

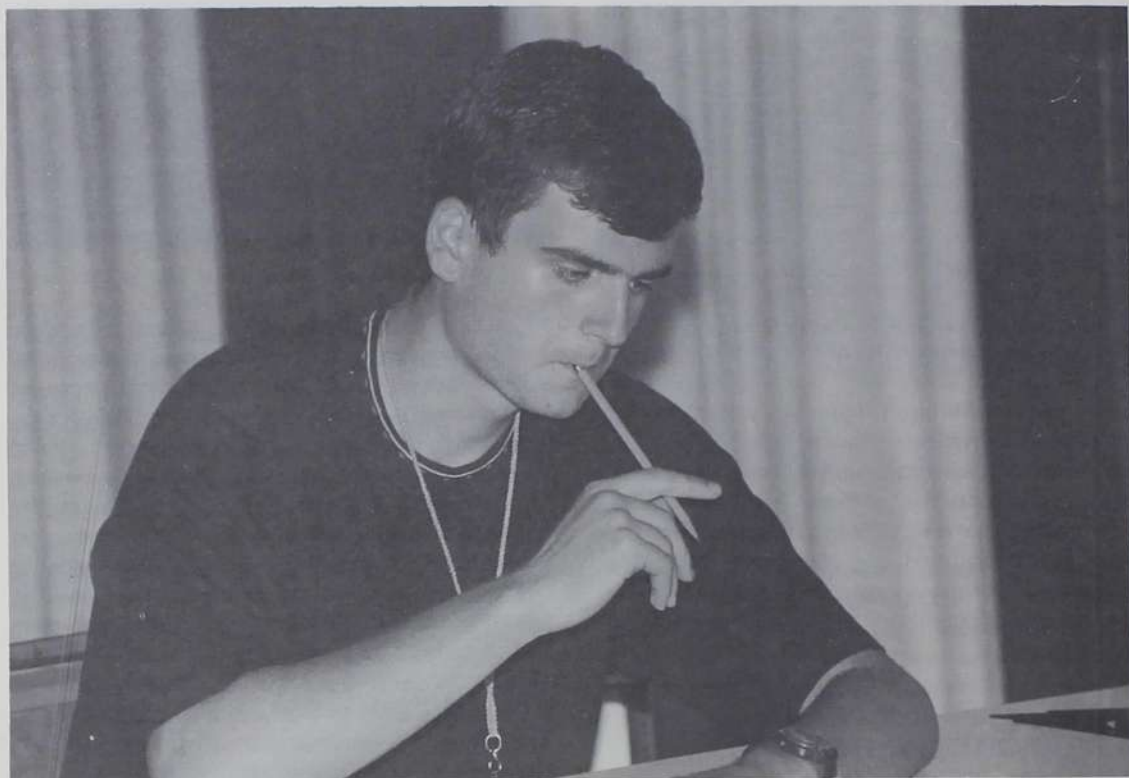
Se consideraba que la historia de la matemática podría jugar un papel importante en la enseñanza de las matemáticas. Es decir, se consideraba a la historia de las matemáticas como un elemento esencial en el entendimiento de las ideas matemáticas y la posibilidad de reflejar ese conocimiento en lecciones atractivas y con mayor impacto en el aprendizaje de las matemáticas. Todo esto en relación a la maestría en ciencias. Otra línea de investigación que prevalecía en ese entonces dentro de la SME era la del diseño curricular. La experiencia adquirida en el diseño y escritura de los libros



de texto de primaria, de manera natural impulsó la reflexión sobre aspectos curriculares en el nivel primaria y hacia otros niveles de la enseñanza. Por ejemplo, se estructuró un libro de texto para el primer año de la escuela secundaria, *Matemáticas I*, una de las primeras acciones de la SME, los participantes en la escritura de ese libro eran casi todos los miembros de la SME¹. Posteriormente, otra parte del grupo de profesores continuó el proyecto de investigación curricular en el nivel de secundaria, obteniéndose como productos los libros *Matemáticas 100 Horas, Volúmenes I, II y III*². Las dos líneas de conocimiento antes citadas pueden analizarse a través de las publicaciones de divulgación en la *Revista Matemáticas y Enseñanza* (1974) anteriores a la creación formal de la Sección de Matemática Educativa³. Estas líneas continuaron desarrollándose posteriormente⁴.

El programa de maestría en ciencias se inició en septiembre de 1975 y los cursos se diseñaron con un fuerte contenido matemático e histórico, con énfasis particular en la fundamentación de la matemática. Algunos de los cursos reflejan directamente esas ideas: Historia y fundamentos de la matemática, Matemáticas y conocimiento científico y técnico, Álgebra y geometría, Análisis matemático. Este último integraba una parte sobre el uso de calculadora programable HP-65.

Al hacer un análisis retrospectivo, todo parece indicar que la repercusión de la experiencia adquirida en esas líneas de investigación, que no han quedado del todo abandonadas, no fue lo suficientemente sólida como para impactar de manera determinante tanto en la enseñanza de las matemáticas como en el área de la investigación educativa. Posiblemente se debió a la poca experiencia en la publicación de artículos y de libros de texto del nuevo personal académico de ese entonces, ya que además de los profesores antes señalados, con formación en matemáticas, se contrataron a recién egresados del mismo programa de maestría (algunos de ellos ya



realizaban estudios de doctorado en matemáticas). En la actualidad la presencia del grupo de investigadores de Matemática Educativa en el ámbito educativo ha sido mayor que en años anteriores; sin embargo, en los nuevos planes de estudio se eliminaron aquellos cursos a los que se dedicó un gran esfuerzo y que llegaron a constituir uno de los pilares principales del programa de maestría en ciencias entre 1979 y 1985, aproximadamente.

Los profesores de la SME, inmersos en la problemática del aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas, empezaron a analizar los productos de la investigación en el área de la educación matemática de instituciones del extranjero e iniciaron los primeros contactos. Como lo señaló Filloy⁵, los profesores incorporaron en sus reflexiones marcos referenciales de investigadores estadounidenses, como por ejemplo los trabajos de Tyler⁶ sobre el currículum, de Bruner⁷ acerca de la educación, de Skinner⁸ sobre su tecnología educacional y Bloom⁹ en relación a los objetivos educativos. Otra corriente la marcaba la escuela francesa; por ejemplo, se contactaron

profesores de los *Institutes de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques* (IREM) de Estrasburgo y de Burdeos, Francia, cuyas investigaciones estaban muy centradas en el estudio de los fenómenos ligados al aprendizaje de las matemáticas¹⁰. Se amplió la perspectiva con respecto a teorías e investigaciones, y el grupo de profesores incluyó entre sus discusiones los trabajos de Krutetski¹¹ y la serie *Soviet Studies in the Psychology of Learning and Teaching Mathematics*¹². A estos estudios se añadieron otros como los de Brunshvig¹³, Bachelard¹⁴, Piaget¹⁵ y Piaget y García¹⁶. Recordemos que la historia de la matemática en ese entonces era, y continúa siendo, uno de los elementos importantes como tema de estudio entre los miembros de la SME. Era difícil conciliar tantos aspectos teóricos, pero a su vez, ello proporcionó mayor riqueza a las investigaciones de los académicos del departamento. Un profesor invitado de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, François Pluvinage, alguna vez comentó: "La independencia que ha ganado este grupo con respecto a sus acercamientos teóricos se debe a que conocen a fondo lo que se realiza en muchas

Tabla 2. Programa general de estudios de la maestría en ciencias con especialidad de matemática educativa (1979).

Matemáticas	Análisis matemático I y II Álgebra y geometría I y II Álgebra lineal Álgebra abstracta Estadística Estadística y probabilidad
Análisis teórico de la problemática	Teorías del aprendizaje I y II Teorías del aprendizaje y desarrollo curricular Matemáticas y conocimiento científico y técnico Historia de las matemáticas Desarrollo conceptual del cálculo De la integral de Riemann a la integral de Lebesgue
Didáctica de las matemáticas	Didáctica de las matemáticas a nivel básico Didáctica y probabilidad Experimentación y didáctica Enseñanza de las matemáticas en escuelas de ingeniería Enseñanza del cálculo en bachillerato
Toma y análisis de datos	Experimentación educativa y estadística Evaluación educativa y estadística Álgebra lineal y análisis de datos Tecnología de la enseñanza

universidades del extranjero y han sido críticos con respecto a sus productos, incluso parece natural que sea este grupo el que vaya a tener una influencia muy fuerte hacia Latinoamérica".

En sus inicios, la SME contaba entre su personal académico con tres doctores en matemáticas y 6 maestros en ciencias en la Especialidad de Matemáticas, tres licenciados en matemáticas y una licenciada en psicología. Algunos de estos profesores realizaban estudios de doctorado en el Departamento de Matemáticas del propio Cinvestav. El distanciamiento que de manera natural, dadas las condiciones de creación de la SME, se empezó a dar entre el Departamento de Matemáticas y la SME produjo que algunos de sus miembros regresaran al Departamento de Matemáticas. Ese distanciamiento no solamente fue en términos de líneas de investigación sino que incluso algunos de los miembros de la SME

propusieron que, dado que físicamente estábamos en instalaciones prestadas en Zacatenco, deberíamos solicitar apoyo económico para rentar una casa fuera de la Unidad Zacatenco. Para algunos esta resolución pareció adecuada y para otros no.

Dado que sus miembros fundadores habían estado inmersos en el diseño y la escritura de los textos de primaria, podríamos resumir la primera etapa de la SME de 1975 a 1979 señalando que el grupo de investigadores tenía en mente una aproximación a la solución del problema nacional sobre la enseñanza de las matemáticas. Además, la creación del programa de maestría en ciencias requería de diseño de cursos (tabla 2) y lecturas actualizadas sobre la problemática del aprendizaje de las matemáticas con referencia a marcos teóricos como los antes mencionados. Un producto de ese programa de maestría es la primera tesis de la SME (T. Rojano, 1978).

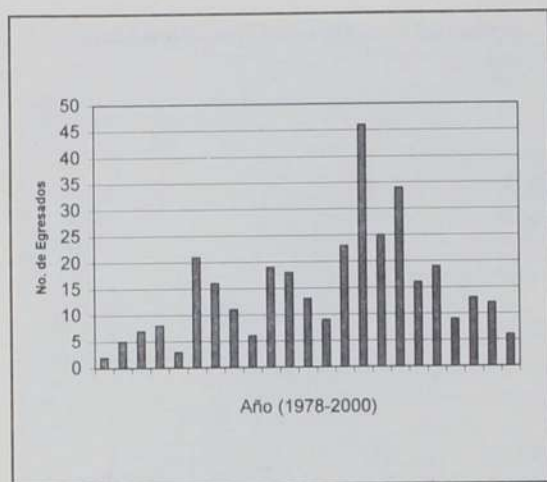


Figura 1. Número de egresados del programa de maestría en ciencias por año desde 1978 al 2000.

Formación del personal académico

La necesidad de contar con un mayor número de investigadores con doctorado con perspectivas diferentes sobre la investigación en educación matemática llevó al planteamiento, en junta de profesores de la SME, de que algunos de sus miembros realizaran estudios de doctorado sobre didáctica e historia de las matemáticas en diferentes universidades del extranjero. Es así que algunos de sus miembros fueron a la Universidad Louis Pasteur (1976 y 1978), otros a la Universidad de París VII (1977 y 1979) y otro a la Universidad de Toronto (1982).

En los primeros años de la década de los ochenta el entonces director del Cinvestav, el Dr. Manuel V. Ortega, envió una carta a los investigadores que no contaban con el grado de doctor requiriéndoles que iniciaran estudios conducentes a su obtención. El fortalecimiento académico de la SME al contar con un buen número de doctores, y la necesidad de proporcionar un programa de doctorado a sus miembros que no contaban con el grado académico, propició que en el año de 1982 se autorizara, por parte de la Dirección del Cinvestav, a través de la Secretaría Académica, la posibilidad de formalizar un programa de doctorado para los miembros no doctores de la SME. La primera tesis de doctorado de uno de los miembros de la SME finaliza en 1985 (T.



Rojano, 1985). Posteriormente se otorgó a la SME la posibilidad de contar con un programa de doctorado sin las restricciones antes señaladas. El primer egresado de ese programa se tiene en 1993 (Salat, 1993).

El nacimiento de la Comisión de Promoción y Estímulos para los Investigadores del Cinvestav (COPEI) tuvo un fuerte impacto sobre el profesorado de la SME. El aspecto positivo generado por la evaluación externa del personal académico de las secciones y departamentos del Cinvestav consiste en que rompió con la subjetividad de algunos jefes de departamento sobre la producción académica de sus investigadores. Además, para muchos profesores fue determinante el hecho de que trabajos que eran considerados incompletos o no refinados eran poco valorados y ello impulsó el trabajo más sistemático para producir y publicar pasando por procesos de arbitraje estricto. Por otro lado, sabemos de los aspectos negativos: algunos profesores se han aprendido tan bien el reglamento de la COPEI que pareciera que su único objetivo es el de la acumulación de puntos. Algunos profesores empezaron a comparar los puntos asignados con los diferentes productos académicos y se llegaron a preguntar sobre lo que "deja más puntos con menor esfuerzo". Por ejemplo, ¿será mejor escribir dos artículos de investigación? o ¿es preferible dirigir dos tesis de maestría? O bien, ¿es mejor dirigir una tesis de doctorado? o ¿escribir un libro? La prioridad de trabajo de algunos de los miembros académicos se vio influida por esa propuesta reglamentaria.



El sentir de la comunidad académica del DME, con respecto al reglamento de la COPEI, es que los trabajos de investigación y la producción hacia el sistema educativo mexicano son poco valorados. La rigidez del nuevo reglamento tal vez pueda resolver el problema de baja producción del personal académico o de los profesores que tienen más de un puesto de trabajo, pero no todos los profesores del Cinvestav se encuentran en ese caso y, por tal motivo, esa medida va en deterioro de las relaciones naturales académicas con otras instituciones. Relaciones que apuntan al desarrollo intelectual en cada una de nuestras disciplinas.

Regresando a la historia de la creación de la SME, aun cuando se contaba con un programa de doctorado hacia finales de la década de los ochenta, se formalizó un proyecto conjunto entre la Universidad de Londres, el Programa Nacional de Formación y Actualización de Profesores de Matemáticas (PNFAPM) y el Cinvestav, con la finalidad de que profesores adscritos al PNFAPM y algunos miembros de la SME iniciaran estudios de doctorado en la Universidad de Londres. Este proyecto propició que algunos de los profesores con grado de maestría realizaran estudios de doctorado en esa universidad y que otros hicieran estancias sabáticas y posdoctorales (1988-1994).

Por esas fechas se contrató un par de profesores con el grado de doctor en ciencias cuya formación académica se había realizado en el extranjero. Tanto el programa de doctorado, como los convenios con universidades del extranjero y estas contrataciones, coadyuvaron a que el grupo académico de la SME hacia principios de la década de los noventa se fortaleciera académicamente.

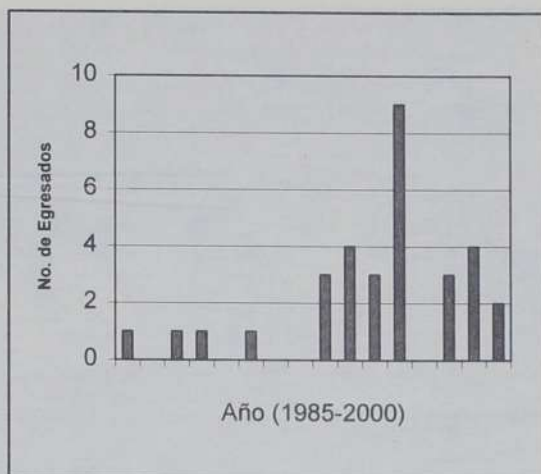


Figura 2. Número de egresados del programa de doctorado en ciencias por año de 1985 al 2000.

Organización del personal académico

La experiencia adquirida en el programa de la maestría en ciencias permitió en 1979 el diseño y la puesta en marcha de un programa de maestría en ciencias semi-escolarizado para profesores de las universidades estatales y, posteriormente, para los institutos tecnológicos. La formación de cuadros especializados con el grado de maestría en esas universidades estatales e institutos tecnológicos permitió la puesta en práctica de un proyecto mucho más ambicioso con respecto a la posibilidad de influir directamente en el profesorado de matemáticas en la República Mexicana.

El proyecto en cuestión es el Programa Nacional de Formación y Actualización de Profesores de Matemáticas (PNFAPM). Es importante señalar que la repercusión de este proyecto fue tal que el entonces secretario de Educación, el Lic. Jesús Reyes Heróles, solicitó a la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica (SESIC-SEP) que se diseñaran programas similares para otras áreas como la de español, biología y física. Las inquietudes que dieron pie al nacimiento de la SME se encauzaron a la planificación del PNFAPM.

En un intento por fortalecer al grupo sobre la problemática asociada al uso de la tecnología en la



enseñanza y aprendizaje de las matemáticas, se crearon dos áreas al seno de la SME a principios de la década de los ochenta: el DAME (Departamento Audiovisual de Matemática Educativa) y el DEMEN (Departamento de Máquinas y Enseñanza). Los grupos que trabajaron en esos proyectos tenían como finalidad el estudio de los nuevos métodos de enseñanza con el uso de la tecnología. Los profesores distribuían su tiempo entre esos proyectos, la investigación en educación matemática, la docencia en la maestría en ciencias, en la maestría semiescolarizada y en el PNFAPM.

A principios de los noventa había cerca de 35 miembros académicos y sus actividades se concentraban en la investigación y los cursos de la maestría. El programa de doctorado tenía muy pocos alumnos y solamente una minoría entre los académicos concentraba sus esfuerzos en ese programa. Es en esos momentos que surgió la necesidad de crear varias áreas dentro de la SME que generaran la concentración de esfuerzos académicos por áreas de conocimiento en correspondencia con los problemas de los diferentes niveles educativos. Se crearon las áreas, y como las instalaciones de la SME eran casas rentadas, en forma natural el personal académico se distribuyó en instalaciones físicas diferentes.

A partir de la organización por áreas, los profesores pusieron su mayor empeño en ese nuevo proyecto de la SME, y se crearon diferentes opciones de orientación en el programa de maestría en ciencias:

- niveles básicos y medio básico
- educación media superior
- educación superior
- microcomputadoras y educación
- ciencias de la cognición y tecnología de la información aplicada.

La organización por áreas creó, como antes lo señalamos, orientaciones diferenciadas del programa de maestría en ciencias, cuyas características generales son las siguientes:

Fase I: Formación básica para la investigación. En el transcurso de ésta se proporcionan los elementos básicos del campo de estudios, sus modelos teóricos, métodos y técnicas, así como los alcances actuales, tanto a nivel nacional como internacional de la investigación en el área de la matemática educativa.

Fase II: *Desarrollo de la investigación*. Durante este período, las actividades están dirigidas al diseño y desarrollo de la investigación de un problema concentrado en una de cinco áreas del departamento.

Fase III: *Producto de la investigación y obtención del grado*. En esta fase final, el estudiante deberá presentar, en la modalidad de tesis, los resultados de la investigación, que defenderá en un examen para la obtención del grado de maestro en ciencias.

El proceso de departamentalización

Las actividades de los profesores de 1975 a 1980 eran, por un lado, la investigación en el área de la educación matemática y, por el otro, la impartición de los cursos del programa de maestría en ciencias. Como lo señalamos antes, las inquietudes de algunos de sus miembros con respecto a la problemática de la enseñanza de las matemáticas en las universidades estatales llevaron a la creación de un proyecto para la realización de una maestría semi-escolarizada. En 1979 se iniciaron actividades con varias universidades estatales e institutos tecnológicos y en 1993 finalizó dicho proyecto. Se formaron en ese programa cerca de 100 maestros en ciencias.

Posteriormente, al tratar de modificar el status de la SME, una de las restricciones que se plantearon a la comunidad de la sección en 1992 era que para transformarse de una Sección a ser un Departamento de Matemática Educativa se tendría que quedar exclusivamente con un programa de maestría y un programa de doctorado en ciencias que cumplieran con los requisitos de CONACyT como programas de excelencia.

La consolidación académica de los miembros de la SME en 1992, tanto en los aspectos de formación de su personal como de su independencia académica, permitió la estructuración de un documento que, después de ser evaluado por las instancias correspondientes dentro del organigrama del Cinvestav, permitió que a la SME se le otorgara el carácter de Departamento. Así, como lo señalamos anteriormente, en marzo de 1993 queda formalmente constituido el Departamento de Matemática Educativa. La tabla 3 muestra la relación de los jefes de la SME y del DME, durante este proceso.

Tabla 3. Relación de jefes de la Sección de Matemática Educativa (1975-93) y del Departamento de Matemática Educativa (1993-2001).

Nombre	Periodo
Carlos Imaz Jahnke	1975-1978
Eugenio Filloy Yagüe	1978-1982
Jesús A. Riestra Velázquez	1982-1983
Luis E. Moreno Armella	1983-1985
Fernando Hitt Espinosa	1985-1987
Guillermina Waldegg Casanova	1988-1989
Eugenio Filloy Yagüe	1989-1993
Fernando Hitt Espinosa	1993-1997
Ma. Teresa Rojano Ceballos	1997-2001

En 1996 el Departamento de Matemática Educativa recibió el ofrecimiento de tener cabida en un edificio en las instalaciones de Zacatenco. La organización por áreas y el hecho de que sus miembros contaban con "instalaciones propias" en las casas que se rentaban implicó cierta autonomía de cada una de las áreas en su manera de operar; al reagruparnos en el edificio de Zacatenco no hubo cambios estructurales que para algunos parecían necesarios. En la actualidad, cierta necesidad de cambio se ha hecho evidente al analizar los perfiles de los estudiantes que ingresan al DME a realizar estudios de maestría o doctorado. Es posible que con otro tipo de organización se pueda proporcionar un mejor servicio al estudiantado y con menor esfuerzo por parte del personal académico, canalizando el tiempo ganado hacia la investigación y producción académica.

La estructuración del departamento por áreas de conocimiento ha permitido organizar nuestro trabajo de manera que podamos canalizar nuestras acciones académicas a diferentes niveles del sistema educativo nacional; tal estructura, sin embargo, está fuertemente ligada al programa de maestría y no al programa de doctorado.

El programa de doctorado actual se muestra sólido y demanda mayor tiempo de los investigadores. La maestría se ve como el paso intermedio hacia el doctorado y no como antes, que era uno de los objetivos prioritarios del departamento. El programa de doctorado obligó al per-



sonal académico a refinar sus productos de investigación y a publicar en revistas de prestigio internacional. La filosofía detrás de esta medida es que un profesor no podría exigirle a un alumno que publique en una revista de prestigio si él mismo no lo ha hecho. Este proceso de refinamiento y confrontación con la comunidad internacional, al publicar en revistas con arbitraje estricto, implicó la consolidación de algunas de las líneas de investigación de los miembros del DME.

Desde una perspectiva global, podemos señalar grandes rubros sobre la producción de los investigadores del DME, que se aglutinan en las siguientes líneas de investigación:

- Desarrollo curricular
- Experimentación educativa con materiales didácticos para la enseñanza media básica
- Análisis exploratorio de datos
- Análisis epistemológico
- Observación clínica
- Diseño de situaciones didácticas y observación en el aula
- Experimentación educativa con profesores de matemáticas y detección de obstáculos cognitivos
- Nuevos métodos de enseñanza y uso de tecnología en el aula
- Resolución de problemas

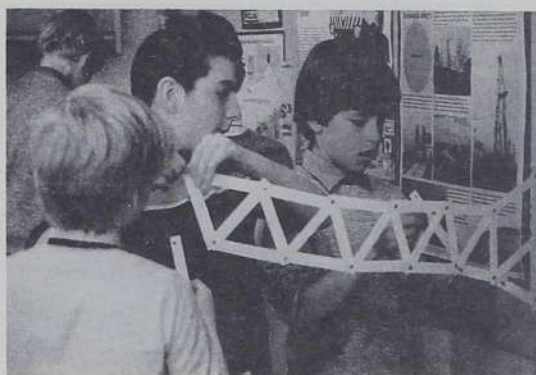
Líneas de investigación

En la tabla 4 proporcionamos un listado del personal académico del DME. Es importante señalar que durante los 25 años de vida académica de la SME y el DME hemos tenido una gran cantidad de profesores visitantes de diferentes universidades de prestigio internacional. Los profesores invitados han estado en estancias cortas y hasta de un año. Por ejemplo, podemos mencionar algunas de esas instituciones como la Universidad de Georgia (EUA), Universidad de Granada (España), Universidad Joseph Fourier de Grenoble (Francia), Universidad de Londres (Reino Unido), Universidad Louis Pasteur (Francia), Universidad de Massachusetts-Dartmouth, Universidad de Quebec en Montreal (Canada) y Universidad de Valencia (España).

Hacia finales de 1997 uno de los profesores fundadores, Jesús Alarcón Bortolussi (mejor conocido como *Papini*), fallece. Ha sido una gran pérdida para el departamento; siempre fue crítico con respecto a lo que realizábamos y, al decir de algunos, se convirtió en la conciencia del departamento. El era uno de los que consideraba que nunca debimos haber salido de las instalaciones de Zacatenco y, sin embargo, falleció un poco antes de que regresáramos a ellas.

Tabla 4. Planta académica actual del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav.

Investigadores	Categoría académica
Claudia M. Acuña Soto	Investigadora titular
Ricardo A. Cantoral Uriza	Investigador titular
Francisco Cordero Osorio	Investigador titular
Carlos A. Cuevas Vallejo	Investigador titular
Rosa Ma. Farfán Márquez	Investigadora titular
Olimpia Figueras Mourut de Montppellier	Investigadora titular
Eugenio Filloy Yagüe	Investigador titular
Aurora Gallardo Cabello	Investigadora titular
Alejandro García Diego	Investigador titular
José Guzmán Hernández	Investigador titular
Fernando Hitt Espinosa	Investigador titular
Carlos Imaz Jahnke	Investigador titular
Hugo R. Mejía Velasco	Investigador titular
Simón Mochón Cohen	Investigador titular
Luis E. Moreno Armella	Investigador titular
Ana Ma. Ojeda Salazar	Investigadora titular
Hatice Asuman Oktaç	Investigador titular
Ricardo Quintero Zazueta	Investigador titular
Jesús A. Riestra Velázquez	Investigador titular
Antonio Rivera Figueroa	Investigador titular
Ma. Teresa Rojano Ceballos	Investigadora titular
Ernesto A. Sánchez Sánchez	Investigador titular
Dora Santos Bernard	Investigadora titular
Luz Manuel Santos Trigo	Investigador titular
Ana I. Sacristán Rock	Investigadora titular
Sonia Ursini Legovich	Investigadora titular
Martha E. Valdemoros Álvarez	Investigadora titular
Gonzalo Zubieta Badillo	Investigador titular
Ignacio Garnica Dovala	Investigador adjunto
Vicente Carrión Miranda	Investigador adjunto



Otro elemento importante a considerar es que existe un equilibrio global en el departamento entre la producción que se publica en el extranjero y lo que se publica en México. Sin embargo, es importante impulsar dicho equilibrio en la producción académica de cada uno de los miembros del departamento. Con ello quiero decir que los profesores cuya producción se realiza mayormente en el extranjero debieran escribir más en revistas mexicanas y con editoriales en México. Asimismo, es necesario establecer un plan para que los profesores cuya producción académica está fuertemente localizada en revistas nacionales y memorias de congresos se orienten a la escritura de artículos en revistas y editoriales del extranjero con arbitraje estricto. Además, es importante promover esta tendencia en los alumnos inscritos en nuestros programas de posgrado.

En esta nueva etapa, no hay duda de que debemos continuar mejorando nuestra producción académica y apoyar a nuestros estudiantes para que además de escribir sus tesis logren publicar en revistas de prestigio internacional y nacional.

A manera de conclusión

En el pasado se pensó que el problema de la enseñanza de la matemática se podría solucionar solamente con la escritura de "buenos materiales" y no se reflexionaba sobre la necesidad del estudio de fenómenos ligados al aprendizaje. Los problemas que han abordado los investigadores del DME ha ido evolucionando; los estudios de éstos han mostrado, a través de su producción académica, que el problema es más complejo de lo que se creía¹⁷.

Reflexiones

Considero que éste es un buen momento para iniciar una reflexión profunda sobre los caminos que deberán tomar los miembros del departamento en relación a sus acciones académicas futuras, que marquen el inicio de una nueva etapa en el desarrollo académico del departamento. Por ejemplo, en estos momentos resulta necesario realizar un análisis crítico de las diferentes modalidades de nuestros programas de maestría y doctorado en ciencias.



Los investigadores en matemática educativa analizan las diferentes variables que intervienen en los procesos de construcción de conceptos matemáticos por parte de los alumnos; por ejemplo, qué representaciones mentales han construido alrededor de un concepto, qué representaciones semióticas han utilizado los profesores de matemáticas y los autores de libros de texto que han provocado la construcción de tal o cual imagen mental, qué cambios en la concepción del estudiante se producen al utilizar tal o cual herramienta tecnológica o una nueva propuesta de enseñanza, qué representaciones semióticas produce el estudiante al explicar o al resolver un problema.

Resolver un problema de enseñanza ha conducido al estudio profundo sobre la construcción del conocimiento. Los resultados de nuestras investigaciones muestran que la naturaleza de cada una de esas variables puede ser muy diferente y el entenderlas y controlarlas en el aula es una tarea muy compleja.

Debemos señalar que la disciplina de la educación matemática es joven sobre todo en nuestro país, y poco a poco se ha profundizado en los problemas de aprendizaje de las matemáticas. No se ve cercana una solución, dado que ello tendría que ver también con un conocimiento profundo del funcionamiento del cerebro y del desarrollo de la inteligencia del ser humano. Sin embargo, tampoco ello quiere decir que no haya habido avances sustanciales. Desde una perspectiva internacional, cada vez se tienen nuevos libros en los cuales se aprecia la influencia que han tenido las investigaciones de la comunidad académica en el área de la educación matemática.



Desde una perspectiva nacional, los altos índices de reprobación en nuestro sistema educativo nos muestran que se está muy lejos de resolver el problema. No sólo hace falta la producción de materiales que tomen en cuenta los aspectos teóricos, producto de la investigación en educación matemática, existe una gran preocupación de los investigadores por que sus productos puedan llamar la atención del profesor de matemáticas con la intención de que los incorpore a su práctica educativa. Es importante que los programas de actualización de profesores sean permanentes y también lo es la promoción de una mayor interacción entre profesores e investigadores.



Notas

1. J. Alarcón, A. Antolín, E. Antoniano, G. Arreguín, O. Figueras, E. Filloy, C. Imaz, Riestra, A. Rivera y Ma. T. Rojano, *Matemáticas I* (PEPSA Editores, 1975).
2. J. Alarcón, F. Figueras, E. Filloy, B. Parra, T. Rojano y G. Zubieta, *Matemáticas 100 Horas* (Ed. Iberoamérica, 1979-1982).
3. *Matemáticas y Enseñanza*, Sociedad Matemática Mexicana (1974-1979). Véanse los artículos de J. Alarcón (1974) E. Filloy (1974), J. Gorostiza y O. Hernández (1974) y J. Rodríguez (1974), así como los libros de texto gratuitos de *Matemáticas* (1974-1975).
4. Véanse artículos en *Matemáticas y Enseñanza* de J. Alarcón (1976 y 1979), J.J. Rivaud (1976 y 1996), A. Rivera (1996).

5. E. Filloy, *Recherches en Didactique des Mathématiques* **2**, 233 (1981).

6. R. Tyler, *Basic Principles of Curriculum and Instruction* (Univ. Chicago Press, EUA, 1949).

7. J. Bruner, *The Process of Education* (Harvard Univ. Press, Cambridge, 1960).

8. J. Skinner, *Tecnología de la enseñanza* (Editorial Labor, Argentina 1972).

9. B. Bloom, *Taxonomía de los objetivos de la educación* (El Ateneo, Buenos Aires, 1975).

10. G. Brousseau, Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Comptes rendus de la XXVIII-CIEAEM*. Louvain-la-Neuve, Bélgica (1976) p. 102; R. Duval, F. Pluvinage, *Educational Studies in Mathématiques*, **8** (1977); G. Glaeser *Heuristique*. Ed. IREM de Estrasburgo (Université Louis Pasteur, Francia, 1978); F. Pluvinage, Tesis de doctorado. Université Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia (1977). PNFAPM (1984-96) Serie de textos. Departamento de Matemática Educativa-SESIC-SEP.

11. V.A. Krutetski, *The Psychology of Mathematical Abilities in Schoolchildren* (Univ. Chicago Press, EUA, 1976).

12. J. Kilpatrick, I. Wirszur, *Soviet Studies in the Psychology of Learning and Teaching Mathematics* (Univ. Chicago, EUA, 1971).

13. L. Brunschvig, *Les étapes de la Philosophie Mathématique* (Librairie Félix Alcan, París, 1912).

14. G. Bachelard, *Épistémologie* (Presses Universitaires de France, 1971); traducción: *Epistemología*, E. Posa (Anagrama, Barcelona, 1973); *La formation de l'esprit scientifique* (Librairie Philosophique J. Vrin., Francia, 1977).

15. J. Piaget, *Introducción a la epistemología genética 1. El pensamiento matemático*. Biblioteca de Psicología Evolutiva (Paidós, Buenos Aires, 1960).

16. J. Piaget y R. García *Psicogénesis e Historia de la Ciencia* (Siglo XXI, 1982).

17. Veáanse por ejemplo, las publicaciones *Investigaciones en Matemática Educativa*, Vol. I y II, 1996, 1998 y *Matemática Educativa: Un cuarto de siglo de investigación* (en prensa).





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. 5747 3800 ext. 6737, 6738 y 6739
Fax: 5747 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.

Arvid Carlsson, Paul Greengard y Eric Kandel

**Jose Antonio Arias Montaña y Ubaldo
García Hernández**

El día 9 de octubre el Instituto Karolinska de Estocolmo, Suecia, anunció que el comité correspondiente había decidido otorgar el Premio Nobel en Fisiología o Medicina de manera conjunta a Arvid Carlsson, Paul Greengard y Eric Kandel. El comunicado señala que los laureados recibirán el Premio por sus "descubrimientos pioneros en relación a un tipo de transducción de señales entre las células nerviosas, denominado transmisión sináptica lenta. Estos descubrimientos han sido cruciales para el entendimiento de la función normal del cerebro, y de cómo las alteraciones de dicha transducción de señales pueden dar lugar a enfermedades neurológicas y psiquiátricas. Sus descubrimientos han conducido también al desarrollo de nuevos fármacos."

En el cerebro humano existen más de 10^{11} (100 mil millones) neuronas, que se conectan entre sí mediante una compleja red de prolongaciones. Un mecanismo de comunicación lo representan los neurotransmisores, mensajeros químicos que son liberados por las terminales de los axones y que se unen a receptores localizados en otras neuronas, desencadenando diferentes respuestas. El sitio donde se lleva a cabo este proceso se denomina sinapsis y cada neurona puede establecer miles de estos contactos con otras células nerviosas.

Un neurotransmisor puede unirse a receptores (ionotrópicos) que son canales que permiten el paso de ciertos iones y producir así cambios eléctricos en la célula receptora que se traducen en excitación o inhibición de la misma dependiendo de los iones involucrados. A este

Los autores son investigadores titulares del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. Dirección electrónica: jaarias@fisio.cinvestav.mx, ugarcia@fisio.cinvestav.mx

proceso se le denomina transmisión sináptica rápida porque ocurre en milésimas de segundo. Existe otro tipo de receptores (metabotrópicos) que al ser activados por el neurotransmisor estimulan a las llamadas proteínas G, que a su vez controlan la actividad de enzimas que producen los denominados segundos mensajeros. A través de diferentes mecanismos los segundos mensajeros regulan la función de un gran número de proteínas, incluyendo a los canales iónicos y a los propios receptores para los neurotransmisores. A este mecanismo de comunicación se le ha denominado transmisión sináptica lenta. Dado que los segundos mensajeros regulan de manera importante la transmisión sináptica rápida, este proceso recibe también el nombre de neuromodulación.

La dopamina, la noradrenalina, la serotonina y ciertos neuropéptidos son neuromoduladores importantes y los cambios que inducen en la función celular pueden durar de segundos a horas. De manera directa la transmisión sináptica lenta es responsable de ciertas funciones del cerebro como el estado de alerta y la emotividad, y al regular a la transmisión rápida regula también funciones como el habla, el movimiento y la percepción sensorial.

Arvid Carlsson¹

*La dopamina, un neurotransmisor importante.*² En la década de los 50, A. Carlsson realizó estudios pioneros que mostraron que la dopamina es un importante mensajero químico del sistema nervioso. Antes de estos estudios se consideraba que esta sustancia sólo era un precursor necesario para la síntesis de otro neurotransmisor, la noradrenalina. Mediante un método de alta sensibilidad desarrollado por él mismo, demostró que la dopamina se encontraba en áreas del cerebro en las que no existían cantidades significativas de noradrenalina, lo que le llevó a postular que la dopamina era un transmisor por sí misma. La dopamina existe en altas concentraciones en las áreas del cerebro denominadas ganglios basales, de gran importancia para la conducta motora, y en la corteza cerebral frontal, donde su función se relaciona con la afectividad y el estado de ánimo.

Fármacos para la enfermedad de Parkinson. En otra serie de experimentos, A. Carlsson utilizó una sustancia natural, la reserpina, que vacía el neurotransmisor de las

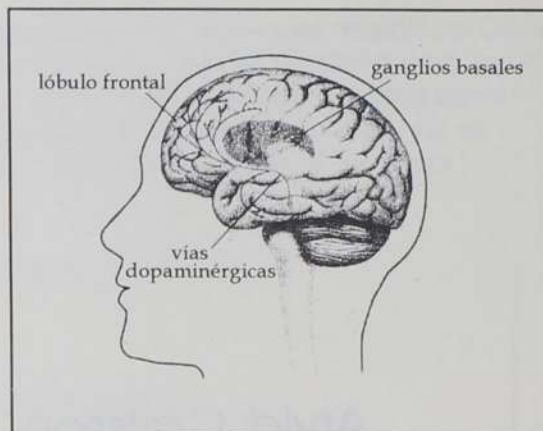


Figura 1. Vías dopaminérgicas del cerebro humano. A. Carlsson demostró la existencia de niveles particularmente altos de dopamina en los núcleos neuronales denominados ganglios basales, cruciales para el control del movimiento. En la enfermedad de Parkinson las células dopaminérgicas que envían axones a los ganglios basales mueren, originando los signos de la enfermedad como temblor, rigidez muscular y disminución del movimiento.

vesículas sinápticas de las terminales nerviosas que liberan dopamina o noradrenalina. Cuando se administró la reserpina a animales de laboratorio, se observó una gran disminución del movimiento espontáneo, y al tratarlos con L-DOPA, un precursor que es transformado en dopamina en el cerebro, recuperaron su conducta motora. En contraste, los animales que recibieron un precursor de otro neurotransmisor, la serotonina, no mostraron mejoría en el movimiento. De manera paralela, A. Carlsson también mostró que la L-DOPA normalizaba los niveles de dopamina en el cerebro y concluyó que las alteraciones causadas por la reserpina eran semejantes a las de la enfermedad de Parkinson, lo que condujo al hallazgo por O. Hornykiewicz de que los pacientes portadores de esta enfermedad tienen bajas concentraciones de dopamina en los ganglios basales. En consecuencia, se introdujo a la L-DOPA en el manejo farmacológico de la enfermedad y a la fecha sigue siendo el tratamiento más eficaz. En la enfermedad de Parkinson las células productoras de dopamina mueren por causas aún no bien conocidas, lo que produce el temblor, la rigidez y la incapacidad de movimiento que caracterizan a la enfermedad. La L-DOPA es convertida a dopamina en el cerebro por las células dopaminérgicas sobrevivientes o por otras neuronas compensando la falta de dopamina y mejorando la conducta motora.

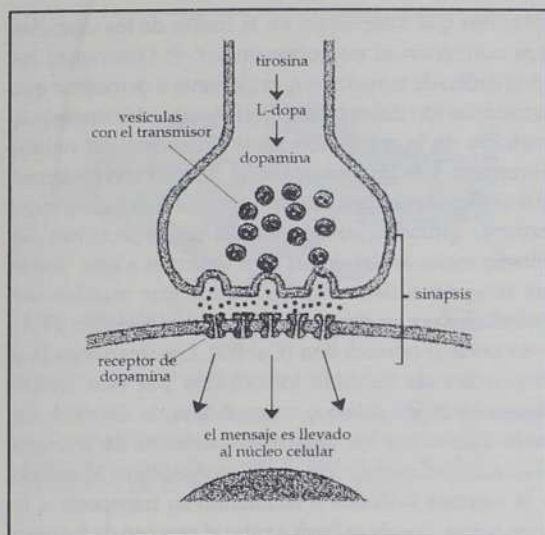


Figura 2. Los mensajes entre neuronas son transmitidos en puntos específicos de contacto (sinapsis) mediante diferentes sustancias químicas. La dopamina se forma a partir de los precursores L-tirosina y L-DOPA para ser almacenada en las vesículas sinápticas de las terminales nerviosas. Cuando un potencial de acción origina la liberación del neurotransmisor, éste se une a sus receptores localizados en la membrana de la célula receptora y origina una respuesta funcional en la misma. En pacientes de la enfermedad de Parkinson la L-DOPA es convertida a dopamina en el cerebro y compensa la falta de este neurotransmisor.

Fármacos antipsicóticos y antidepresivos. Las investigaciones de A. Carlsson han sido cruciales para nuestra comprensión de los efectos de fármacos que afectan al sistema nervioso. Por ejemplo, demostró que los fármacos utilizados en el tratamiento de la esquizofrenia y otros trastornos psicóticos afectan la comunicación sináptica al bloquear a los receptores para dopamina. Otros hallazgos de A. Carlsson han sido de gran relevancia para el tratamiento farmacológico de la depresión, un padecimiento común, al permitir el desarrollo de bloqueadores selectivos de la captura de serotonina, un neurotransmisor que participa en los estados afectivos.

Paul Greengard³

Transmisión sináptica lenta y mecanismos de acción de la dopamina. Al final de la década de los 60 se había

establecido que la dopamina, la noradrenalina y la serotonina eran transmisores químicos del cerebro, pero sus mecanismos de acción eran desconocidos. P. Greengard recibe el Premio Nobel por su contribución a la comprensión de cómo actúan estos neurotransmisores en la comunicación nerviosa.

La fosforilación de proteínas modifica la función de las neuronas. P. Greengard demostró que la transmisión sináptica lenta involucra una reacción química denominada fosforilación, en la que grupos fosfato (cedidos por el trifosfato de adenosina o ATP) son pegados a ciertas proteínas de manera tal que la función de dicha proteína se modifica. Las investigaciones de P. Greengard mostraron que cuando la dopamina estimula a ciertos receptores localizados en la membrana de la neurona, este proceso conduce al aumento de los niveles de un segundo mensajero llamado monofosfato cíclico de adenosina o AMPc, formado también a partir del ATP. El AMPc activa a una enzima, la cinasa A de proteína (PKA) que es capaz de transferir grupos fosfato del ATP a proteínas de las células nerviosas que tengan ciertas secuencias de aminoácidos que incluyan a la serina o a la treonina. Entre las proteínas que son afectadas por la fosforilación se encuentran los canales iónicos que controlan la excitabilidad de las neuronas y hacen posible que envíen impulsos eléctricos (potenciales de acción) a lo largo de sus axones y terminales sinápticas. Cada neurona o grupos de ellas poseen un grupo particular de canales que determinan su respuesta y que cuando son fosforilados afectan por lo tanto la excitabilidad y conducción de los potenciales de acción, lo que modifica funciones tan complejas como la memoria y el aprendizaje.

*DARPP-32, una importante proteína reguladora activada por la dopamina.*⁴ No sólo la fosforilación afecta el estado funcional de las proteínas de las neuronas. Una vez que una de ellas ha sido fosforilada, existen otras proteínas denominadas fosfatasas que retiran los grupos fosfato. Así, el tiempo que una proteína permanece fosforilada está determinado por las tasas de fosforilación y de desfosforilación. P. Greengard demostró que la dopamina y otros neurotransmisores que estimulan la formación de AMPc modulan la función de una proteína reguladora llamada DARPP-32. Una de las funciones de esta proteína es la de inhibir a ciertas fosfatasas, lo que se traduce en una mayor duración del estado fosforilado de las proteínas. Así, la dopamina puede regular de

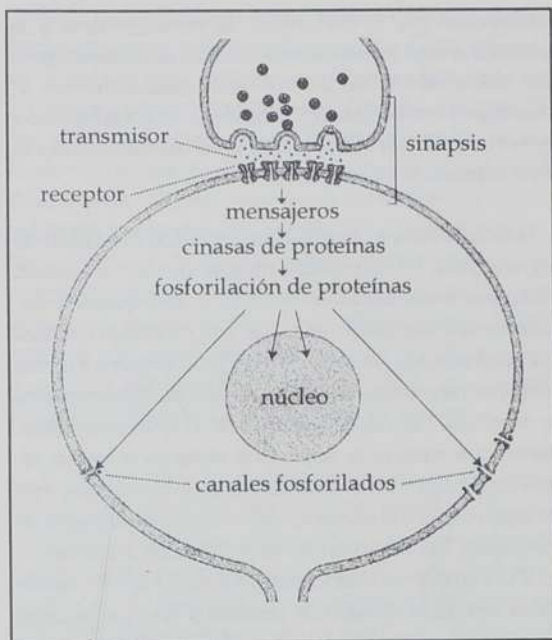


Figura 3. P. Greengard descubrió cómo la dopamina y otros neurotransmisores ejercen sus efectos en las neuronas. Cuando los receptores son activados por el transmisor, se aumentan los niveles de ciertas moléculas, como el AMPc, denominadas segundos mensajeros, lo que activa a su vez a proteínas llamadas quinasas que adicionan grupos fosfato (fosforilación) a otras proteínas. La fosforilación cambia la función de proteínas importantes para las neuronas; por ejemplo, la fosforilación de los canales iónicos de la membrana neuronal modifica la excitabilidad de la célula y su capacidad para enviar impulsos eléctricos a lo largo de su axón.

manera importante la función neuronal en particular modificando la función de los canales iónicos responsables de la transmisión sináptica rápida.

Los descubrimientos de P. Greengard y su grupo han permitido también entender el mecanismo de acción de ciertos neurotransmisores y fármacos que específicamente afectan la fosforilación de proteínas en diferentes tipos de células nerviosas.

Fosforilación y plasticidad sináptica. En las terminales axónicas, la plasticidad sináptica se caracteriza por cambios en la cantidad del neurotransmisor que es liberado al espacio sináptico. Este efecto puede deberse a cambios en el influjo de calcio en respuesta a un potencial de acción, o a acciones directas sobre las

proteínas que intervienen en la fusión de las vesículas que contienen al neurotransmisor. P. Greengard ha contribuido de manera muy importante a demostrar que la fosforilación de las proteínas denominadas sinapsinas participa en la regulación de la liberación del neurotransmisor. Las sinapsinas (Ia, Ib, IIa, IIb) son proteínas que se encuentran unidas a las vesículas sinápticas y cuyo extremo carboxilo puede unirse a varias proteínas del citoesqueleto, anclando así a las vesículas a éste. Todas las sinapsinas tienen aminoácidos que pueden ser fosforilados por las quinasas que dependen de AMPc (PKA) o de calcio y calmodulina (CaMKI). Las sinapsinas Ia y Ib pueden ser también fosforiladas por otra quinaasa dependiente de calcio y calmodulina, la CaMKII. La fosforilación de las sinapsinas debilita de manera importante su interacción con el citoesqueleto, liberando a la vesícula sináptica y facilitando su transporte a la zona activa, donde se lleva a cabo el proceso de fusión y liberación del neurotransmisor. La activación de este proceso puede deberse al segundo mensajero AMPc, que activa a la PKA, o la entrada de calcio durante estimulación repetida, lo que activa a la CaMKI y a la CaMKII. Se ha observado que este mecanismo es de particular importancia en modelos de memoria como la potenciación posttetánica, en la que estímulos repetidos inducen una mayor liberación del neurotransmisor que permanece por segundos o minutos.

Eric Kandel⁵

El molusco marino "Aplysia" como modelo del aprendizaje. E. Kandel recibe el Premio Nobel por sus contribuciones al descubrimiento de los mecanismos moleculares de la memoria. Sus estudios iniciales fueron realizados en mamíferos, pero al concluir que las condiciones eran demasiado complejas para permitir el esclarecimiento de los mecanismos básicos involucrados en la formación de la memoria, empezó a estudiar el sistema nervioso de la Aplysia. Este invertebrado tiene relativamente pocas neuronas (alrededor de 20,000), muchas de ellas de gran tamaño, y muestra un reflejo de retracción de las branquias. E. Kandel encontró que ciertos estímulos amplificaban el reflejo y que esta amplificación podía permanecer por días o semanas, implicando un proceso de aprendizaje. Posteriormente mostró que este aprendizaje se debía a modificaciones de la sinapsis que conecta las neuronas sensoriales con las neuronas que activan a los músculos responsables de la respuesta refleja.

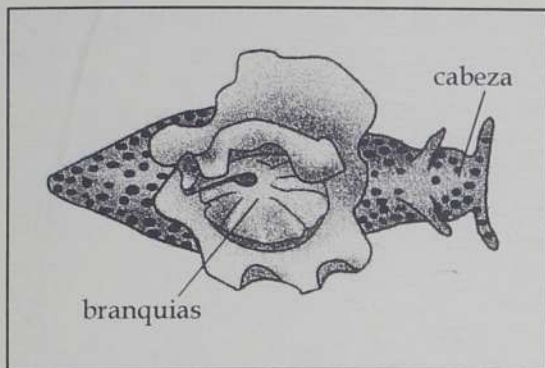


Figura 4. Un molusco marino "Aplysia" que tiene un sistema nervioso sencillo que controla el reflejo de retracción de las branquias, ha sido utilizado por E. Kandel para el estudio de los mecanismos de la memoria y el aprendizaje.

Memoria de corto y largo plazo. E. Kandel mostró inicialmente que estímulos débiles daban lugar a una forma de memoria de corta duración que dura de minutos a horas. Esta memoria de "corto plazo" se debe a que ciertos canales iónicos son modificados en su función de manera tal que más iones de calcio entran a la terminal nerviosa, traduciéndose en una mayor liberación de neurotransmisor en la sinapsis, y por lo tanto en una amplificación del reflejo. Este cambio se debe a la fosforilación de ciertos canales iónicos por la cinasa A de proteína (PKA) que es activada por el AMPc, según el mecanismo descrito por P. Greengard. Estímulos de mayor intensidad y duración resultan en un tipo de memoria que permanece por varias semanas (memoria de "largo plazo"). En este caso, la mayor intensidad del estímulo produce niveles aún mayores del segundo mensajero AMPc y por lo tanto más activación de la PKA. Esta última llega al núcleo de la neurona y al fosforilar a ciertas proteínas reguladoras modifica la síntesis de proteínas que se encuentran formando la sinapsis, aumentando la formación de unas y disminuyendo la formación de otras. El resultado final es la modificación de la forma de la sinapsis aumentando los sitios de liberación del transmisor e incrementando así la función de la sinapsis. En contraste con la memoria de corto plazo, la memoria de largo plazo requiere de la formación de nuevas proteínas. Si la síntesis de éstas es bloqueada, se anula el establecimiento de la memoria a largo plazo, pero no la formación de la memoria de corto plazo.

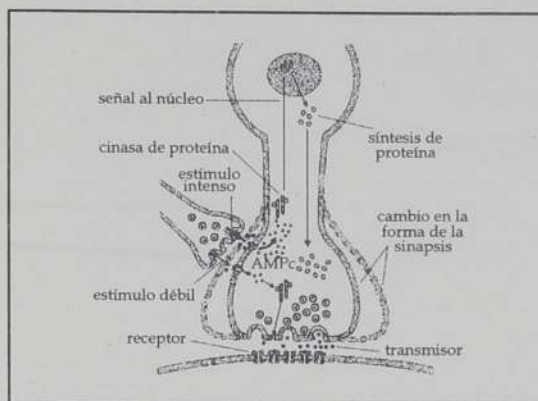


Figura 5. Esquema de cómo los cambios moleculares en una sinapsis producen memoria de corto y largo plazo en la Aplysia. La memoria de corto plazo se forma cuando estímulos relativamente débiles (flechas delgadas en la parte inferior izquierda) producen fosforilación de los canales iónicos de calcio, lo que lleva a un aumento en la cantidad de neurotransmisor liberado. Para el establecimiento de la memoria de largo plazo, se requieren estímulos más intensos y de mayor duración (flechas gruesas en la figura), que aumentan la concentración del segundo mensajero AMPc que a su vez activa a la cinasa A de proteína (PKA). La PKA fosforila diferentes proteínas, entre ellas algunas presentes en el núcleo celular que regulan la síntesis de proteínas. Los cambios en la formación de proteínas afectan la forma y función de la sinapsis, aumentando también la cantidad de neurotransmisor liberado y por lo tanto la eficacia de la misma.

Plasticidad sináptica, un requisito para la memoria.

E. Kandel demostró así que tanto la memoria a corto plazo como la de largo plazo tienen como sustrato cambios funcionales y morfológicos en la sinapsis. Durante los años 90 realizó estudios similares en ratones y mostró que los cambios en la función sináptica observados en la Aplysia también se producen en organismos más complejos. Los mecanismos descubiertos por E. Kandel también se aplican a los seres humanos. Puede decirse que nuestra memoria se localiza en las sinapsis que cambian su función durante el aprendizaje. Aunque el camino hacia la comprensión de los complejos mecanismos de la memoria es aún muy largo, los resultados obtenidos por E. Kandel son claves. Por ejemplo, hoy día es posible estudiar cómo recuerdos complejos son almacenados en nuestro sistema nervioso y cómo es posible recordar eventos pasados. Dado que podemos ahora entender aspectos importantes de los mecanismos celulares y moleculares de la memoria y el aprendizaje, se han aumentado las posibilidades de desarrollar

fármacos que permitan mejorar la memoria en pacientes afectados por diferentes tipos de demencia, como la observada en la enfermedad de Alzheimer.



Notas

1. Arvid Carlsson, del Departamento de Farmacología de la Universidad de Gotenburgo (Suecia), recibirá el Premio Nobel por su descubrimiento de que la dopamina es un neurotransmisor en el cerebro de gran importancia para el control de nuestros movimientos. Sus investigaciones también condujeron a establecer que la enfermedad de Parkinson se debe a la falta de la dopamina en ciertas áreas del cerebro y que la L-dihidroxifenilalanina (L-DOPA, SinemetR) es un fármaco eficaz para el tratamiento de la enfermedad.

2. Existen cinco tipos de receptores para la dopamina. Los receptores D1 y D5 estimulan la formación de AMPc, mientras que los D2, D3 y D4 la inhiben.

3. Paul Greengrand del Laboratorio de Neurociencia Molecular y Celular de la Universidad Rockefeller (Nueva York, EUA), se ha hecho acreedor al Premio Nobel por sus investigaciones sobre el mecanismo por el cual dopamina y otros neurotransmisores actúan en las células del cerebro.

4. DARPP-32. Las siglas de esta proteína derivan de su nombre en inglés **D**opamine and **cAMP-Regulated**

PhosphoProtein que se traduce como fosfoproteína regulada por dopamina y AMPc. El número se refiere al peso molecular de 32 kilodaltones.

5. Eric Kandel, del Centro de Neurobiología y Conducta de la Universidad Columbia (Nueva York, EUA), recibirá el Premio Nobel por sus descubrimientos sobre cómo la eficacia de las sinapsis puede ser modificada, los mecanismos moleculares responsables y su función en la memoria y el aprendizaje.



Por sus contribuciones a la física

Miguel Meléndez Lira

Aparentemente, el otorgamiento del premio Nobel de Física a tres tecnólogos, como lo manejó una cadena de noticias estadounidense, dos físicos y un ingeniero, provoca algunas dudas acerca de la relevancia del trabajo que estos científicos han realizado y que les ha merecido obtener el premio más importante que cualquier científico pueda recibir.

La comunicación de la Real Academia de Ciencias de Suecia especifica que el premio se otorga por trabajo básico sobre la tecnología de la información y comunicación. El premio ha sido dividido en dos partes iguales; una de ellas se otorga a Zhores I. Alferov del Instituto Físico-Técnico A.F. Ioffe de San Petersburgo, Rusia, y a Herbert Kroemer de la Universidad de California en Santa Barbara, por el *desarrollo de heteroestructuras semiconductoras empleadas en optoelectrónica y electrónica de alta rapidez*; la otra mitad a Jack S. Kilby de Texas Instrument, Dallas, Texas, por su *contribución en la invención del circuito integrado*.

Cuando se termina de leer esta comunicación la primera pregunta a formular es: ¿qué hay de física en el trabajo de Jack S. Kilby?; el nombre de heteroestructuras semiconductoras al menos es más exótico, ¿pero el premio Nobel de Física por el circuito integrado?!

A continuación examinaremos el concepto de heteroestructuras semiconductoras, la propuesta de Z. Alferov y H. Kroemer para el láser de doble heterounión; las necesidades que condujeron a la invención del circuito

El Dr. Miguel Meléndez Lira es investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav.

Dirección electrónica: <http://www.fis.cinvestav.mx/~mlira/>

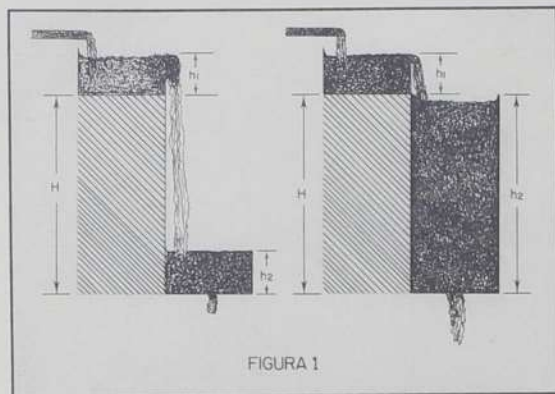


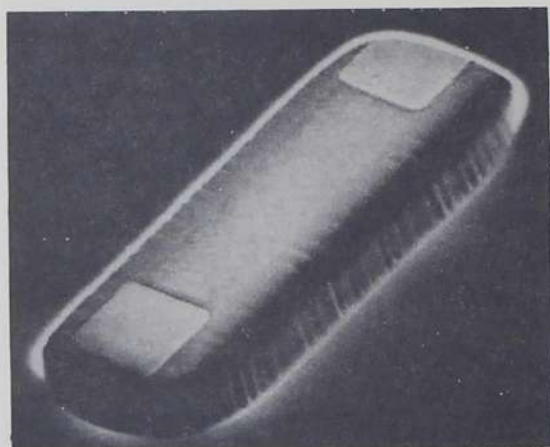
FIGURA 1

Figura 1. (a) El confinamiento del flujo de agua permite obtener un flujo de agua dirigido. (b) Al aumentar la altura de la pared del recipiente 2, se incrementa el flujo de agua que sale por el orificio inferior.

integrado por J.S. Kilby y finalmente mencionaremos algunos de los dispositivos basados en las contribuciones de los recipientes del premio Nobel de Física de 2000 que, sin lugar a dudas, han revolucionado el mundo.

Heteroestructuras semiconductoras

Asumiendo el riesgo de ser demasiado simplista me permitiré utilizar un ejemplo de fluidos antes de pasar a describir el concepto de heteroestructuras semiconductoras. La figura 1 ilustra dos piletas separadas por una pared de altura H ; la profundidad de la piletilla 1 es h_1 y la de la piletilla 2 es h_2 . Si partimos de que ambas piletas están vacías cuando empezamos a verter un líquido en la piletilla 1, es natural que la piletilla 1 contendrá al agua hasta que esta alcance la altura h_1 ; después empezará a caer en la piletilla 2 y estará confinada hasta la altura h_2 . Después de superar esta altura el agua seguirá fluyendo. Si hiciéramos un orificio en la base del recipiente 2, digamos para aprovechar el flujo del agua que sale por este orificio para mover una turbina, ¿qué hacemos para aumentar este flujo? Seguramente no necesitaríamos demasiado tiempo para proponer aumentar la altura de la pared h_2 , por lo menos hasta la altura H , cerrar el orificio en la base, y una vez que el agua alcance la altura H abrir el orificio. De esta forma aumentaremos el volumen de agua en la piletilla 2 y conseguiremos nuestro objetivo de aumentar el flujo de



agua que sale por el orificio. Una de las primeras aplicaciones de las heteroestructuras fue aportar, experimentalmente, barreras adecuadas para confinar el flujo de electrones en materiales semiconductores.

Los materiales semiconductores pueden ser considerados como una piletilla *sui-generis* para electrones (huecos): la base de la piletilla sería la banda de conducción (valencia) y la profundidad de la piletilla la energía de umbral necesaria (el potencial de superficie, eV_s) para establecer una corriente de electrones o huecos fuera del semiconductor.

A la temperatura absoluta de cero grados, la banda de conducción se encuentra vacía y los electrones ocupan completamente la banda de valencia; conforme la temperatura aumenta los electrones pueden pasar de la banda de valencia a la banda de conducción. Otra de las características interesantes de los semiconductores es su capacidad de ser impurificados en forma tal que los portadores mayoritarios sean electrones que ocupan la banda de conducción (material tipo n) o huecos que ocupan la banda de valencia (material tipo p)¹. Como es de esperarse, para evitar que los electrones o huecos abandonen el semiconductor sin la acción de elementos externos al material, se crean barreras (potenciales de superficie) que impiden el movimiento libre del portador mayoritario hacia el exterior y el nivel de Fermi se mueve según el tipo de portadores mayoritarios, describiendo la ocupación de los niveles en las bandas (figura 2). Estas características fueron explotadas en la invención del transistor, que permitió un cambio gradual de los tubos de vacío por dispositivos de estado sólido en la electrónica y

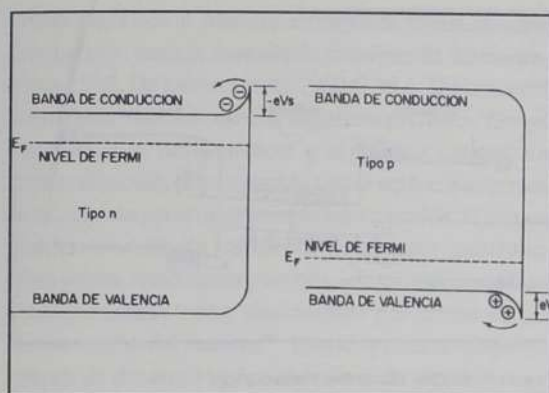


Figura 2. Doblamiento de bandas para materiales tipo n (electrones en exceso) y tipo p (huecos en exceso), eV_s es el potencial de superficie que impide un flujo continuo de carga hacia el exterior del material.

que le valió el premio Nobel de Física en 1956 a William B. Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain.

Durante un buen tiempo la fabricación de dispositivos semiconductores estuvo basada en silicio y germanio, pero al igual que en estos días, la investigación para obtener nuevos materiales semiconductores estaba activa y se descubrió el compuesto arseniuro de galio². Este compuesto semiconductor, a diferencia del silicio, es un material de borde prohibido de absorción directa. Esta es una característica sumamente importante para la optoelectrónica porque implica que la energía en exceso de un electrón en la banda de conducción puede ser liberada en forma de luz cuando regresa a su estado base (la banda de valencia) y se recombina con un hueco. En los materiales de borde prohibido de absorción indirecta el exceso de energía se transfiere a vibraciones de la red.

Láser semiconductor

Al producir una homounión n-p se genera la estructura necesaria para tener un diodo, se generan barreras que pueden ser aumentadas o disminuidas según la polarización de la estructura y permiten o impiden el flujo de portadores. Una homounión es la unión de dos capas del mismo semiconductor. Al fabricar esta homounión con GaAs, empleando un alto dopaje para la capa n y p e inyectar corriente, polarización directa, se genera un

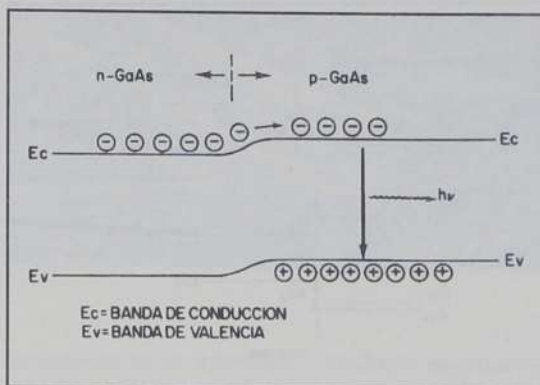


Figura 3. El láser de homounión.

trasape en las funciones de onda de los huecos y electrones que genera la inversión de población necesaria para producir el efecto láser (figura 3)³. ¿Cómo hacer más eficiente este proceso? ¿Recuerdan cómo se aumentó el flujo de agua que sale de la pileta 2, en la figura 1? La idea que Alferov y Kroemer postularon en forma independiente fue, en palabras simples, aumentar la probabilidad de recombinación confinando los electrones en la banda de conducción y los huecos en la banda de valencia del semiconductor activo flanqueando éste por barreras para electrones y huecos⁴.

Heteroestructuras semiconductoras

Una heteroestructura es la unión de dos semiconductores distintos; al fabricar una heterounión es necesario alcanzar el equilibrio eléctrico entre los dos semiconductores, por lo cual se genera un flujo de electrones y/o huecos para alinear los niveles de Fermi de cada semiconductor. Los iones inmóviles dan lugar a un campo eléctrico que se manifiesta en un desalineamiento de las bandas de conducción y de valencia de los semiconductores. Una de las formas en que este desalineamiento se presenta se muestra en la figura 4.b; en ésta las bandas de uno de los semiconductores se anidan en las bandas del otro, generándose lo que se conoce como discontinuidad en las bandas de valencia (ΔE_v) y de conducción (ΔE_c). La heteroestructura propuesta por Alferov y Kroemer para la realización del confinamiento se basaba en la existen-

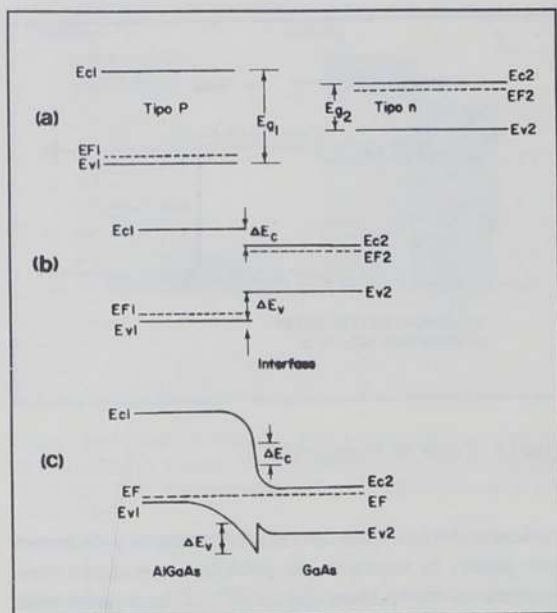


Figura 4. Generación de una heteroestructura. (a) Los semiconductores aislados tienen bordes prohibidos de absorción ($E_{g1(2)}$) diferentes y dopaje distinto; (b) al ponerlos en contacto las bandas se anidan con un desacople de bandas característico (ΔE_c y ΔE_v), para garantizar la neutralidad eléctrica del material existe transferencia de huecos y/o electrones, el nivel de Fermi es el mismo en ambos materiales (c).

cia de dos semiconductores uno con un borde prohibido de absorción mayor que el otro y es ilustrada en la figura 5. La discontinuidad en las bandas de energía es empleada para crear fuerzas eléctricas internas que mantienen a los electrones y huecos en la región activa. Como resultado, las concentraciones de electrones y huecos son mucho mayores que los niveles de impurificado en los contactos, sin un flujo de pérdida de portadores considerable; esta combinación es imposible de lograr con una homounión. De esta manera se alcanzan fácilmente concentraciones degeneradas de electrones y huecos permitiendo tener la inversión de población necesaria para alcanzar la acción láser. Al momento de la propuesta sólo se tenía el material de borde prohibido de absorción menor, el GaAs; sólo después de tres años se descubrió el semiconductor AlGaAs y se generó el otro elemento para llevar a la práctica el láser de doble heterounión en 1970⁵.

A pesar de que en la entonces Unión Soviética se desarrollaron los primeros láseres de doble heterounión

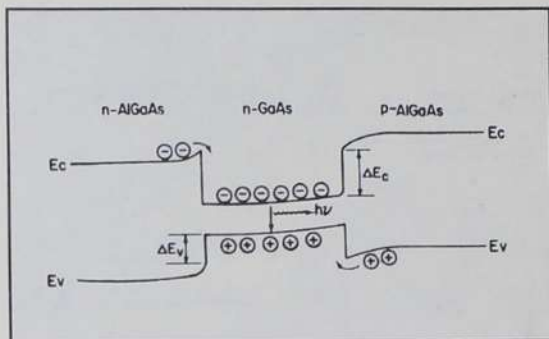


Figura 5. El láser de doble heterounión.

empleando la técnica de crecimiento por epitaxia en fase líquida, fue en Estados Unidos donde se mejoró la idea del láser de doble heterounión llevándolo a mejores niveles de eficiencia gracias al desarrollo, por Y. Cho, del sistema de crecimiento de películas delgadas por epitaxia de haces moleculares⁶. Con este gran avance se lograron reducir las dimensiones de la capa de GaAs hasta espesores de cientos de angstroms, del orden de la longitud de onda del electrón, dando lugar al confinamiento cuántico de los portadores. El confinamiento cuántico ha permitido alcanzar alta eficiencia en los láseres semiconductores y junto con el desarrollo tecnológico de los sistemas de vacío han permitido la producción masiva de dispositivos optoelectrónicos basados en GaAs; además han sido la base para el diseño de la siguiente generación de dispositivos optoelectrónicos de alta eficiencia⁷.

Por cuestiones de espacio he omitido la descripción de la propuesta realizada por H. Kroemer en 1957 para hacer más eficiente el transistor bipolar en aplicaciones relacionadas con amplificación de corriente y alta frecuencia; esta propuesta es conocida con el transistor bipolar de heterounión⁸.

El circuito integrado

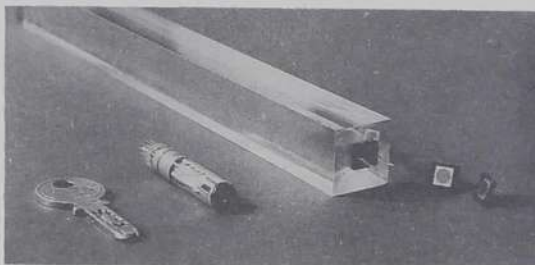
La realización del circuito integrado es otro ejemplo del efecto que la industria militar estadounidense ha tenido sobre el desarrollo tecnológico del mundo. Desde fines de la II Guerra Mundial los militares estadounidenses se dieron cuenta de la necesidad de explorar conceptos que redujeran las dimensiones de los circuitos electrónicos

basados en tubos al vacío. El concepto de miniaturización tuvo un gran empuje después de la invención del transistor en 1948. De hecho, desde 1952 G.W.A. Dummer del *Royal Radar Stablishment* de Inglaterra propuso: "Con el advenimiento del transistor y el trabajo general en semiconductores, parece posible prever equipo electrónico en un solo bloque sin alambres de interconexión. El bloque puede consistir de capas de materiales aislantes, conductores, rectificantes y amplificadores, las conexiones entre elementos serán establecidas por cortes en las diversas capas del material"⁹. Esta idea tuvo un pequeño intento de desarrollo y fue abandonado rápidamente. En 1958 J.S. Kilby se incorpora a Texas Instruments y es asignado a un área relacionada con microminiaturización. Su idea para desarrollar el microcircuito, simple como todas las ideas geniales, fue darse cuenta que todas las componentes necesarias para un circuito electrónico podrían hacerse con silicio: (a) resistencia, las propiedades de volumen del material; (b) capacitores, uniones p-n y por supuesto (c) los transistores. Las interconexiones podían hacerse empleando alambres, sobre el mismo material. El desarrollo de los circuitos integrados fue basado en la idea de Robert Noyce de sustituir los alambres de interconexión por capas de aluminio¹⁰.

El desarrollo del circuito integrado fue rápidamente aceptado por los militares pero la industria necesitó del desarrollo de la calculadora de bolsillo para aceptar completamente la idea de los circuitos integrados.

Aportaciones

La tecnología de la información engloba las tecnologías de la computación y de las telecomunicaciones, en unas cuantas décadas ha cambiado radicalmente la sociedad mundial. Aun cuando su mayor influencia se ha dado en las sociedades industriales, sus efectos son notables aun en sociedades en desarrollo como la mexicana. Un ejemplo dramático de cómo el desarrollo tecnológico, por supuesto basado en la ciencia básica, es capaz de servir a la sociedad lo tenemos en las pasadas elecciones nacionales realizadas en México. Sin las facilidades aportadas por las telecomunicaciones vía la telefonía celular, los enlaces vía satélite, la transmisión de información mediante luz a través de fibra óptica, el



procesamiento de información mediante sistemas de computo de bajo costo, eficientes y confiables, etc., hubiera sido imposible conocer el mismo día los resultados de la elección más importante de los últimos tiempos para México.

Las heteroestructuras juegan un papel estelar en la tecnología de la información: los transistores de heterounión son empleados en amplificadores de alta frecuencia y bajo ruido, utilizados en las comunicaciones vía satélite, así como en el mejoramiento de la razón señal a ruido de la telefonía celular. Los láseres semiconductores, basados en heteroestructuras, son usados en las comunicaciones por fibra óptica, en el almacenamiento de información, como lectores en las unidades de disco compacto, etc. Como dispositivos ahorradores de energía empiezan a emplearse diodos emisores de luz, fabricados con heteroestructuras, en señales de tráfico, en luces indicadores de frenado en automóviles y probablemente en un futuro no muy lejano sustituirán los bombillos incandescentes que empleamos para iluminación.

Asimismo, las heteroestructuras han sido de gran importancia desde el punto de vista de la investigación básica y juegan un papel determinante en las investigaciones de las propiedades de un gas bi-dimensional de electrones que se forma en la interfaz de una heterounión, que condujo al otorgamiento de dos premios Nobel por los efectos Hall cuánticos a K. Von Klitzing en 1985 y en 1998 a R.B. Laughlin, H.L. Stormer y D.C. Tsui.

Es claro que el circuito integrado es más una invención técnica que un descubrimiento en física; sin embargo, su desarrollo engloba una multitud de temas relacionados con la física. Un ejemplo es la interacción entre el silicio y

el aluminio dentro de los microcircuitos. Otro más, que se encuentra cuando se tratan de reducir aún más las dimensiones actuales de los circuitos integrados, son los procesos de tuneo en las capas de dióxido de silicio que hacen que ya no sea un buen aislante.

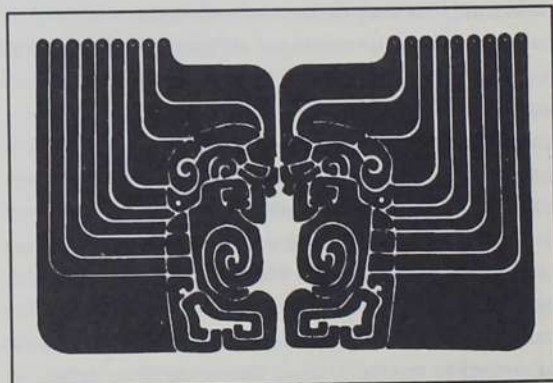
El desarrollo de los circuitos integrados ha propiciado una enorme inversión y desarrollo en la física del estado sólido y con ello una multitud de nuevos aparatos e instrumentos presentes en prácticamente cualquiera de las actividades cotidianas. ¿Y qué decir del servicio que las computadoras, cada día más poderosas y baratas, prestan al desarrollo de todas las ramas de la ciencia y la economía mundial? En un ámbito reducido, se puede decir que el desarrollo actual de la física sería impensable sin la invención del circuito integrado. Un premio Nobel bien merecido, ¿no?



Notas

1. W.A. Harrison, *Electronic structure and the properties of solids* (Dover, Ontario, 1989).
2. H. W. Walker, *IEEE transactions on Electron Devices* **ED-23**, 664(1976).
3. Un excelente resumen de muchos de los conceptos relacionados con opto-electrónica se encuentra en J. Mendoza Alvarez, *Avance y Perspectiva* **8**, 15(1989).

4. H. Kroemer, *Proc. IEEE* **51**, 1782(1963).
5. Zh.I. Alferov, *Physica Scripta* **T68**, 32(1996).
6. A.Y. Cho, R.W. Dixon, H.C. Casey, Jr. y R.L. Hartman, *Appl. Phys. Lett.* **28**, 50(1976).
7. M. López López y M. Meléndez Lira, *Avance y Perspectiva* **16**, 243(1997).
8. H. Kroemer, *Physica Scripta* **T68**, 10(1996).
9. J.S. Kilby, *IEEE transactions on Electron Devices* **ED-23**, 648(1976).
10. M.F. Wolff, *IEEE Spectrum* **13**, 45(1976).



Plásticos que conducen electricidad

Mauricio D. Carbajal Tinoco

El Dr. Mauricio D. Carbajal Tinoco es investigador adjunto del Departamento de Física del Cinvestav. Correo electrónico: mdct@fis.cinvestav.mx

Descubrimiento afortunado

El título del presente artículo habría resultado absurdo hace tan sólo unos treinta años, cuando todo mundo daba por sentado que los plásticos no podían ser otra cosa que aislantes. Nada más cotidiano que utilizar cables eléctricos de cobre aislados por un material plástico, el cual está constituido esencialmente de polímeros. Sin embargo, después de ciertas modificaciones, un polímero puede convertirse en conductor de electricidad. Los materiales conocidos como polímeros conductores combinan las propiedades eléctricas de los conductores metálicos con las múltiples ventajas de los plásticos. Por este descubrimiento innovador, el Premio Nobel de Química del 2000 fue otorgado a Alan Heeger, Alan MacDiarmid (ambos norteamericanos) y al japonés Hideki Shirakawa. Los polímeros conductores son materiales con enormes posibilidades de aplicación: ser sustitutos del cobre y otros metales, para generar pantallas de teléfonos celulares y de computadoras portátiles, o para ser utilizados como nervios artificiales, que serían prácticamente inertes dentro del cuerpo humano.

Un polímero está formado por moléculas que repiten su estructura en forma periódica, dando como resultado una cadena muy larga. Los principales componentes de dichas moléculas son átomos de carbono e hidrógeno, además de otros elementos como el nitrógeno, el azufre y el oxígeno, ninguno de los cuales destaca como buen conductor de la electricidad. ¿Cómo surgen entonces los polímeros conductores? Los polímeros conductores se

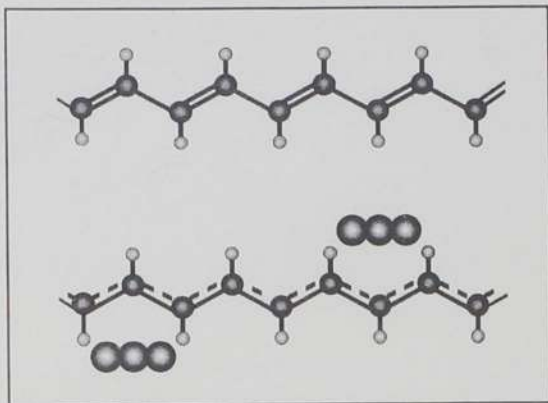


Figura 1. Se representan dos moléculas de poliacetileno: sin dopar (arriba) y con moléculas dopantes (abajo). Los enlaces dobles bien definidos de la molécula sin dopar la hacen ser mal conductora, mientras que los enlaces difusos (líneas discontinuas) representan a las bandas semillenas de la molécula conductora.

elaboran mediante un procedimiento no muy diferente al de la primera síntesis¹, la cual fue resultado de una afortunada equivocación. A principios de la década de los años 70, un estudiante de Hideki Shirakawa (en aquel entonces en el Instituto Tecnológico de Tokio) se encontraba realizando la síntesis de un polímero conocido como poliacetileno a partir del gas de acetileno (esta reacción se conocía desde los años 50). En lugar de obtener algo así como un polvo oscuro y opaco, el estudiante obtuvo una película lustrosa, con apariencia de aluminio y al mismo tiempo plegadiza como plástico para envoltura. Dicho producto presentaba, además, una conductividad inusualmente elevada. Al investigar el origen de estos asombrosos cambios, resultó que tal *alquimia* había sido originada por un error. Durante el proceso de polimerización, el susodicho estudiante agregó por lo menos mil veces más catalizador que el requerido en las instrucciones de preparación. Aunque la función del catalizador es favorecer la reacción de polimerización, una cantidad excesiva de este reactivo provocó importantes cambios en la estructura del polímero.

Conductividad y densidad

A partir de ese momento, el estudio de los polímeros conductores se convirtió en blanco de atención de Shi-

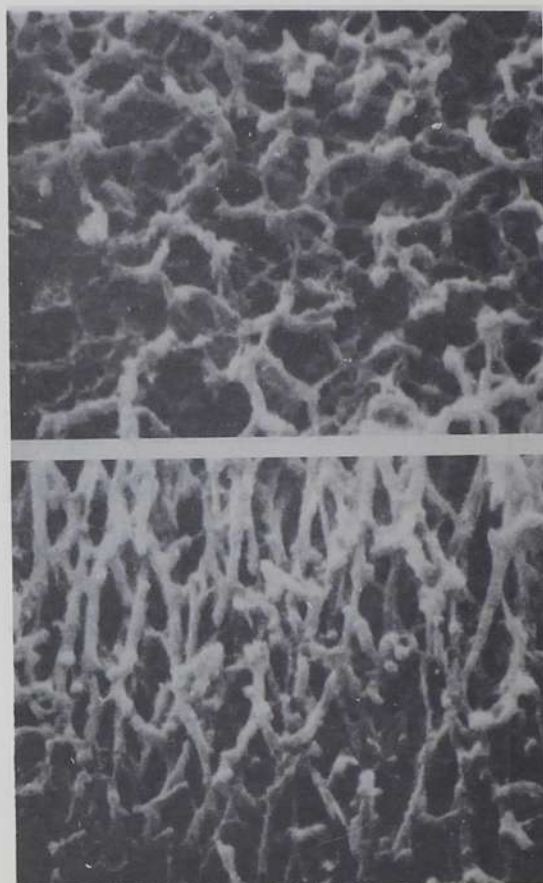
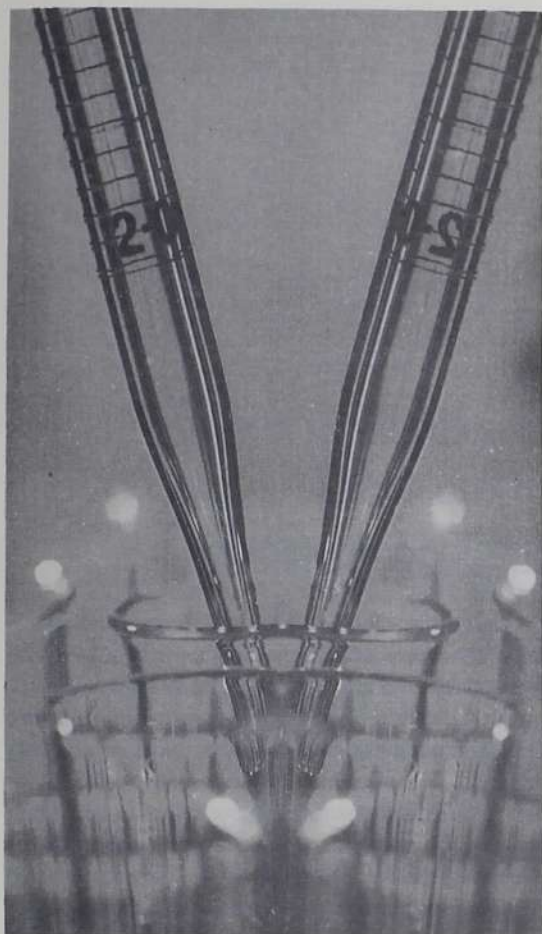


Figura 2. Al enfriarse las películas de polímeros las fibras se alinean y aumenta la conductividad en la dirección de estiramiento. En estas electromicrografías se muestran hebras de poliacetileno antes (arriba) y después (abajo) del estiramiento. Cada fibra consiste de alrededor de 1500 cadenas de polímeros.

rakawa, así como de otros investigadores, notablemente Heeger y MacDiarmid. A mediados de los años 70, los tres investigadores realizaron importantes avances en el desarrollo de estos novedosos materiales. Esto fue posible gracias a la invitación recibida por Shirakawa para pasar un año en la Universidad de Pennsylvania, lugar donde se encontraban los dos investigadores norteamericanos. Tal y como ocurre con los materiales semiconductores, los polímeros pueden ser dopados mediante la adición de pequeñas cantidades de ciertos átomos que modifican sus propiedades físicas. Al dopar el poliacetileno con va-



por de yodo, dichos investigadores lograron aumentar su conductividad en mil millones de veces². Desde entonces se ha podido emplear el dopaje en diversos polímeros, como las polianilinas, logrando nuevamente un aumento considerable de la conductividad. La conductividad es una propiedad intrínseca de un material, que puede ser expresada en mhos por centímetro. También es el inverso de la resistividad (no confundir con la resistencia, la cual además depende de la geometría). En términos de conductividad, la diferencia entre buenos aislantes y buenos conductores es enorme. Como comparación, podemos mencionar que buenos aislantes como el teflón o el poliestireno poseen conductividades muy cercanas a los 0 mhos por centímetro, mientras que los buenos conductores como el cobre y la plata tienen conductividades de casi 1 000 000 mhos por centímetro. Algunos

productos comerciales, derivados de una forma muy pura del poliacetileno, pueden llegar a tener una conductividad de hasta 200 000 mhos por centímetro. Aquí entra en juego un factor muy importante: la densidad de los materiales en cuestión. Tanto el cobre como la plata son mucho más densos que el poliacetileno; por lo tanto, si la comparación es realizada a masas iguales, la conductividad del polímero duplica a la del cobre. Esta propiedad es de especial importancia en aplicaciones donde el peso resulta crítico, como es el caso de los transportes aéreos y espaciales. Aunque estas propiedades no dejan de ser sorprendentes, resulta poco intuitivo que un producto como el yodo, normalmente empleado como antiséptico, pueda efectuar cambios tan dramáticos. Si bien existen algunas interrogantes, ya se tiene una idea de cuáles son los mecanismos responsables de la conducción de electricidad en polímeros. Dichos mecanismos se describen brevemente a continuación.

Islas y bandas

El flujo eléctrico proviene del movimiento de electrones en un conductor, los cuales pueden moverse dentro y a través de estados discretos de energía, conocidos como bandas. Cada banda tiene una capacidad finita de ser ocupada por electrones y las bandas también pueden estar vacías. El movimiento de los electrones ocurre únicamente entre bandas parcialmente llenas y la conducción de electricidad no puede llevarse a cabo ni en bandas completamente llenas ni en bandas vacías, como es el caso de los aislantes o de los semiconductores. Por el contrario, los metales poseen bandas parcialmente llenas. Existen dos tipos de bandas que determinan las propiedades de conducción de electricidad. Por una parte, la banda que tiene el mayor grado de ocupación es llamada banda de valencia, mientras que la banda superior a ésta es conocida como banda de conducción. Los polímeros ordinarios se comportan como aislantes, ya que tienen una banda de valencia llena y una banda de conducción vacía. Cabe mencionar que en el caso de materiales aislantes existe una importante separación energética entre estas dos bandas, mientras que en el caso de los semiconductores esta separación, también conocida como brecha, es algo menor. Por otra parte, los polímeros conductores difieren de los polímeros aislantes debido, principalmente, a la presencia de agentes dopantes que modifican la cantidad de electrones en las

distintas bandas. Los dopantes conocidos como tipo p remueven electrones de la banda de valencia, dejando a la molécula cargada positivamente. Los dopantes tipo n agregan electrones a la banda de conducción; de esta manera, la carga de la molécula resultará de signo negativo.

El proceso físico involucrado ocurre de la siguiente forma³: mediante el proceso de dopaje, la carga agregada al esqueleto del polímero (o removida de éste) produce un cambio pequeño, pero significativo en la posición de los átomos. Dichos cambios dan como resultado la aparición de "islas" de carga que pueden ser de tres tipos distintos, llamados solitones, polarones y bipolarones. En forma natural, estas islas se forman alrededor de los iones de la sustancia dopante. Cuando se tienen niveles elevados de dopantes en las cadenas poliméricas, las islas se empiezan a traslapar, dando como resultado bandas semillenas, a través de las cuales los electrones pueden fluir libremente (figura 1). El polímero se convierte así en conductor de electricidad. Dependiendo de la molécula empleada como dopante y de su concentración, la conductividad del polímero puede variar en varios órdenes de magnitud. La conductividad puede ser maximizada si las cadenas de polímero se encuentran alineadas en la dirección del flujo eléctrico. Este alineamiento puede lograrse simplemente mediante el estiramiento de la película polimérica (figura 2). La pureza del polímero también afecta su conductividad. Sin embargo, no siempre se desea tener la mayor conductividad posible.

¿Microcomputación?

En ciertas circunstancias los polímeros conductores presentan propiedades semiconductoras, lo que los hace muy interesantes en el desarrollo de la electrónica molecular. En el futuro será posible construir transistores y otros componentes electrónicos a partir de una sola molécula. Dichos elementos son los principales constituyentes de las computadoras, por lo tanto, al disminuir considerablemente las distancias de recorrido de los electrones en cada cálculo, la velocidad de procesamiento de información podría incrementarse espectacularmente. Asimismo, el tamaño de las computadoras podría reducirse mucho más todavía.



Notas

1. H. Shirakawa y S. Ikeda, *Synth. Met.* **1**, 175 (1980).
2. R. B. Kaner y A. G. MacDiarmid, *Sci. American* **106**, 60 (1988).
3. M. Winokur, Y. B. Moon, A. J. Heeger, J. Barker, D. C. Bott y H. Shirakawa, *Phys. Rev. Lett.* **58**, 2329 (1987).

Recordando a Don Juan

Julio Muñoz

Don Juan García Ramos, fisiólogo de viejo cuño, oriundo de Querétaro, donde nació en 1915 y murió en 2000, vivió dos épocas de la historia fisiológica mexicana y fue parte del pivote de giro de una época a otra. Médico militar graduado en 1936, después de varios tumbos propios de la época y de su profesión ligada a lo castrense, por azares del destino fue comisionado como ayudante del laboratorio de Fisiología en la Escuela Médico Militar. Por aquel entonces, el maestro José Joaquín Izquierdo daba un excelente curso de laboratorio que basaba en su libro *Análisis experimental de los fenómenos fisiológicos fundamentales*, libro excelente en verdad. Don Juan, animado por el curso, descubre su vocación y se pone a estudiar fisicoquímica por su cuenta.

Sin duda fue un estudiante destacado pues poco después lo invitaron a trabajar en el muy prestigiado Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales, que por aquel tiempo, según parece, tuvo la reputación de ser el mejor o uno de los mejores del mundo en su especialidad. Escogió el laboratorio del Dr. Eliseo Ramírez, quien poco después fallece y es reemplazado por el Dr. Zozaya que había estudiado Farmacología en la Universidad de Harvard. El Dr. Zozaya le asigna a García Ramos su primer problema experimental: encontrar una forma de medir la concentración de sulfamidas en sangre sin necesidad de hacer la punción venosa, maniobra que podría resultar molesta para un paciente en caso de tener que hacerse con frecuencia. Don Juan resuelve el problema en el ámbito experimental con su ingenio característico. Mide la concentración de las sulfamidas en sangre y en el

El Dr. Julio Muñoz es investigador titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav.



conducto parotídeo, y encuentra que están en concordancia. El maestro Zozaya se entusiasma y le asigna un nuevo problema que da lugar a la primera publicación de don Juan, en 1944: "Contribución al conocimiento de la farmacología de la aloxana", que publica en la *Revista Mexicana de Historia Natural*. Para esa fecha ya trabaja en el recientemente fundado Instituto Nacional de Cardiología gracias a que el Dr. Zozaya le recomendó con don Arturo Rosenblueth. Con quien don Juan inicia su despegue definitivo como fisiólogo en aquella primera época, quizá difícil, pero feliz y productiva de la fisiología mexicana: la época en que no había becas de posgrado y el apoyo a la ciencia era más magro que el de hoy.

En 1948 se le otorga la beca Guggenheim y realiza una estancia de un año con Lorente de Nó en el *Rockefeller Institute for Medical Research*. Fue una estancia del tipo que hoy llamaríamos "posdoctoral", aunque don Juan obtiene el grado de Doctor en Fisiología y Biofísica, en el Cinvestav, hasta 1964. Después viene la exigencia de los estudios de posgrado como paso

necesario o indispensable para acreditarse como investigador. Don Juan hubo de doctorarse para que dicho departamento contase con una planta académica que pudiese justificar el otorgar doctorados. Un año después del doctorado de don Juan ingreso yo al Cinvestav entusiasmado por Pablo Rudomín y me asigna a don Juan como tutor, no sin cierto miedo de mi parte, pues un año antes, durante un congreso de la Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas, había tenido yo la osadía, siendo un mozoalbete, de discrepar en público con alguna tesis del célebre García Ramos. Grande fue mi sorpresa cuando el maestro me recibió en su laboratorio del Cinvestav con toda cordialidad. Me ofreció cuanto recurso tenía a su alcance para poder trabajar en el proyecto experimental que yo decidiese mientras realizaba mis estudios de posgrado e incluso trabajé en aquella época con Pablo Rudomín sin que don Juan manifestase ninguna oposición. Dos trabajos publicados, desde luego en la línea de Pablo, atestiguan esa colaboración.

No se preocupen quienes estén leyendo estas reminiscencias. No intendo hacer la biografía de don Juan



ni su exégesis. Sólo pretendo que dediquemos unos minutos a recordar a un hombre que participó de manera importante en la gestación de la etapa actual de nuestra pequeña historia. Mencioné algunos datos de sus primeros pasos en este oficio de investigador para poner en evidencia las diferencias que nos separan de aquellos tiempos y lo distintos que son los caminos que en nuestros días se siguen para llegar a ser investigador.

Don Juan García Ramos publicó la mayor parte de su obra en revistas mexicanas o latinoamericanas, sobre todo en el *Acta Fisiológica Latinoamericana*, lo que se explica por varios factores. El primero, quizá es que por los años 40, y aún en los 50, privaba un sentimiento más nacionalista del que hoy tenemos. Parece ser que quienes gestan lo que hoy llamamos "la comunidad científica mexicana" tenían entonces más confianza en sí mismos de la que hoy nos tenemos y de la que nos tiene la burocracia que ha crecido envolviéndonos. No trato de hacer juicio de valores sino apreciación de hechos y circunstancias.

Aunque García Ramos también publicó artículos en prestigiadas revistas internacionales, compartía con Rosenblueth la idea de que un trabajo es bueno independientemente de la revista en que se publique. Don Juan tuvo colaboradores tan distinguidos como Cannon, Rosenblueth, Rudomín, Wiersma, Pradac, Miledi, Wiener, Pitts, Alanís y Bulbring. Su colaborador más frecuente fue Rosenblueth, pero buena parte de su obra la publicó como único autor. Don Juan tuvo varias características como investigador y como maestro. Como investigador, tuvo una versatilidad temática absolutamente impensable en un investigador de nuestros días. Basta con consultar su *curriculum* para confirmar esta aseveración. De manera muy resumida menciono que trabajó en la fisiología



pulmonar y la integración en el sistema nervioso de los movimientos respiratorios, en el corazón y el sistema circulatorio, en el músculo liso intestinal, en la retina y en temas muy diversos de la neurofisiología, desde el nervio periférico hasta la corteza cerebral pasando por la médula espinal. Esta amplitud temática se explica por cuatro factores. Primero, una gran capacidad para entender los problemas a los que se enfrentaba. Segundo, su dominio de diversos recursos experimentales y su capacidad de improvisación. Tercero, fidelidad académica con la institución en la que trabajaba cuando ésta estaba dedicada a una especialidad; por ejemplo, la mayor parte de sus trabajos sobre el corazón y la circulación las hizo siendo investigador del Instituto Nacional de Cardiología, y los relacionados con la fisiología pulmonar los hizo en el Instituto Nacional de Neumonología. Cuatro, su capacidad de adaptarse a las condiciones y trabajar en lo que se pudiese, de lo que dio muestras sobradas en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro, así como en el Centro Universitario de Investigaciones Biomédicas de la Universidad de Colima. Aún en vida de don Juan, este Centro y sus jóvenes investigadores reconocieron la influencia del maestro dándole su nombre a uno de sus edificios.

Como maestro tuvo características y conductas que quienes fuimos sus alumnos recordamos muy bien. Con los jóvenes interesados y trabajadores, era de una generosidad incomparable, con su tiempo y con el laboratorio a su cargo. No importaba el nivel de conocimiento de los alumnos. Con trabajo e inteligencia simplemente humana, pensaba él, se remedia la ignorancia. Fuera del laboratorio, el maestro se convertía en un amigo afectuoso y afecto a la diversión. No había

que rogarle para que tañese la guitarra. Con los perezosos y de escaso interés, por el contrario, don Juan era absolutamente implacable. Recuerdo que en el Cinvestav reprobó a un grupo completo. Entonces mostraba su gesto más adusto.

De los muchos recuerdos que guardo de don Juan, hay uno que me sigue sorprendiendo. Tenía fama de severo y no faltaba quien lo tratase de arbitrario, y con toda razón, pues en ocasiones tomaba decisiones a su arbitrio sin contar con el parecer de aquellos compañeros de trabajo a quienes frecuentemente tomaba como sus subordinados. Ahora le entiendo un poco mejor. Don Juan venía de un mundo en el que el director o el jefe podía ser o el protector dadivoso, o el señor feudal de horca y cuchillo cuyas decisiones de ninguna manera podían ponerse en duda y mucho menos en discusión. Sin embargo, es en este terreno donde don Juan, al menos para mí, mostró lo mejor de sí mismo. El hombre reconocía sus posibles falencias, no con palabras, sino con hechos, y deshacía los entuertos que él mismo había formado. Para que su actitud cambiase sólo se requería que se le manifestase el desacuerdo con claridad y que se fuese capaz de sostenerlo. Conforme lo fui conociendo, lo fui comprendiendo. Él mismo había sido un incorforme muchas veces, como lo cuenta en su libro *Paisajes en la senda de mi vida. Memorias*. Siendo don Juan mi tutor de tesis doctoral, discrepé con él acerca de la interpretación de un hecho fisiológico y nunca nos pusimos de acuerdo. No obstante, me dijo que en ciencia eso era normal y me dejó en absoluta libertad de sostener mi

interpretación y continuar mi trabajo sosteniendo ésta. Publiqué parte de lo que fue mi tesis doctoral aunque, claro está, sin incluir su nombre.

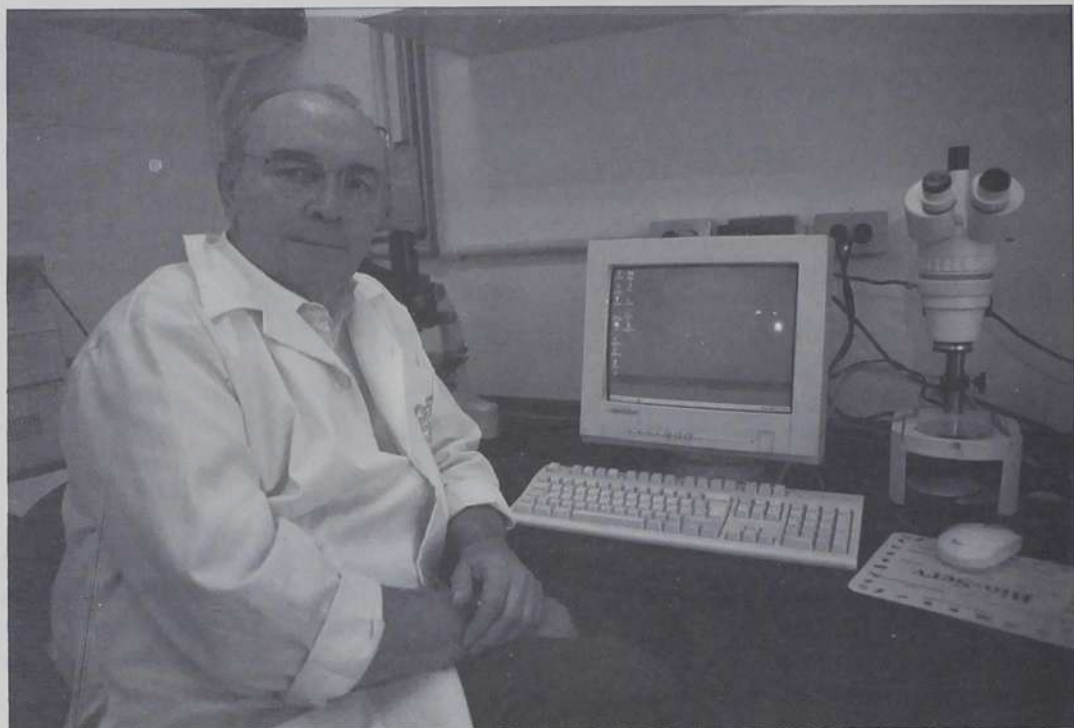
Mientras escribo esta reflexión, un tanto nostálgica, considero la posibilidad de que mi relación con él, o como yo veo ahora aquella relación, no sea más que un caso particular que no refleje el carácter de don Juan. Hurgando en mis recuerdos, sin embargo, encuentro suficientes evidencias para afirmarme en la creencia de sus virtudes. Relataré un episodio que de haber sido contado hace algunos años, podría haber sido considerado como una indiscreción. Pero ya ha corrido suficiente agua por el río. Recuerdo que por el año 69 hubo inconformidad de los profesores del departamento con la jefatura que ejercía don Juan. Durante una junta extraordinaria solicitada por los profesores, éstos le manifestaron su oposición respeto a ciertas cuestiones sobre la administración departamental. Según me contaron después, don Juan les dijo, palabras más o menos "Si ustedes creen que debo dejar la jefatura, pues la dejo". Así se hizo y le sucedió el Dr. Jorge Aceves. Justo es decir que los inconformes reconocieron dignidad y entereza en este gesto y que jamás hubo ni el más mínimo intento de represalia ni muestras de desafecto por el maestro. El departamento quedó más unido que antes gracias, en parte, a la actitud de don Juan.

Quiero dejar aquí constancia de mi afecto y reconocimiento al maestro Juan García Ramos. 

Jorge Aceves Ruiz, Premio Nacional de Ciencias y Artes 2000

El Premio Nacional de Ciencias y Artes 2000 en el área de ciencias fisicomatemáticas y naturales fue otorgado al Dr. Jorge Aceves Ruiz, investigador emérito del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. Esta es la máxima distinción académica que otorga el gobierno de nuestro país a ciudadanos mexicanos que se han distinguido en las ciencias y en las artes. Los investigadores del Cinvestav que también han sido galardonados con este premio son: Dr. A. Rosenblueth (1966, Fisiología), Dr. J. Adem (1967, Matemáticas), Dr. C. Casas Campillo (1973, Biotecnología), Dr. G. Massieu (1975, Neurociencias), Dr. S. Gitler (1976, Matemáticas), Dr. J. Cerbón (1978, Bioquímica), Dr. P. Rudomín (1979, Fisiología), Dr. J. Ruiz Herrera (1984, Genética), Dr. M. Rojkind (1985, Bioquímica), Dr. A. Martínez Palomo (1986, Patología), Dr. P. Joseph Nathan (1991, Química), Dr. H. Aréchiga (1992, Fisiología), Dr. M. Cereijido (Fisiología, 1995) y Dr. E. Juaristi (Química, 1998).

El Dr. J. Aceves Ruiz es médico cirujano egresado de la UNAM con doctorado obtenido



Jorge Aceves Ruiz

en el Cinvestav. Su obra científica abarca varias áreas de la investigación biomédica. Sus trabajos sobre farmacología y control nervioso de la función cardíaca, que aparecieron en el *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* y en *Nature*, han sido citados por un gran número de investigadores. Lo mismo ocurre con sus trabajos sobre la regulación de la función renal y el papel de la dopamina en la generación de los trastornos de la función cerebral. El *Institute for Scientific Information* de Filadelfia, EUA, incluyó dos de sus publicaciones entre los trabajos que han realizado investigadores mexicanos con más de 100 citas en la literatura científica en el periodo 1990-1999. El Dr. J. Aceves Ruiz también se ha distinguido en la formación de nuevos investigadores: en

su laboratorio se han graduado 15 estudiantes de doctorado.

Alfredo Herrera Estrella, Premio de Investigación 2000 de la AMC

El Dr. Alfredo Herrera Estrella, investigador titular del Departamento de Ingeniería Genética de Plantas de la Unidad Irapuato del Cinvestav, recibió el Premio de Investigación 2000 en el área de las ciencias naturales que otorga la Academia Mexicana de Ciencias a investigadores menores de 40 años que se han distinguido por su trabajo de inves-



Ma. Dolores Cervera Montejano

tigación realizado en México. El Dr. A. Herrera Estrella es ingeniero bioquímico egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN y con doctorado en genética obtenido en la Universidad Estatal de Gante, Bélgica. Su campo de investigación es la genética de plantas y la transformación de microorganismos del suelo, así como el control biológico de bacterias y de hongos. Ha publicado 36 artículos sobre estos temas en revistas internacionales de alto reconocimiento, los que a su vez han generado más de 360 citas. En la formación de recursos humanos ha graduado cinco estudiantes de doctorado, uno de maestría y uno de licenciatura. Además, tiene una patente registrada en los EUA sobre un método para obtener patógenos de *Trichoderma spp.*

Ma. Dolores Cervera Montejano, jefa del Departamento de Ecología Humana

La Dirección General del Cinvestav designó a la Dra. Ma. Dolores Cervera Montejano jefa del Departamento de Ecología Humana de la Unidad Mérida por un periodo de cuatro años a partir del 16 de agosto pasado. La Dra. Cervera Montejano es antropóloga egresada de la Escuela Nacional de Antropología e Historia y doctora en neurociencias del comportamiento de la Universidad de Boston, EUA. Se incorporó a la planta académica de la Unidad Mérida en 1985. Sus líneas de investigación se centran en la salud, nutrición y com-



Carlos Ruiz Suárez

portamiento del grupo materno-infantil y su relación al contexto ecológico, así como el diseño, instrumentación y evaluación de programas de intervención comunitaria.

Carlos Ruiz Suárez, jefe del Departamento de Física Aplicada

El Dr. Carlos Ruiz Suárez fue designado jefe del Departamento de Física Aplicada de la Unidad

Mérida del Cinvestav por un periodo de cuatro años a partir del 11 de septiembre pasado. El Dr. Ruiz Suárez obtuvo su grado de doctor en física en la Universidad de Waterloo, Canadá, y el de maestría en física del estado sólido en la Universidad Autónoma de Puebla. Su campo de investigación es la física experimental de la materia condensada, de materiales desordenados y fluidos complejos. Ha publicado 22 artículos en revistas internacionales con arbitraje y ha dirigido 2 tesis de doctorado y 9 de maestría.

Los orígenes de la conciencia

**Javier Alvarez Leefmans
y Carlos Chimal**

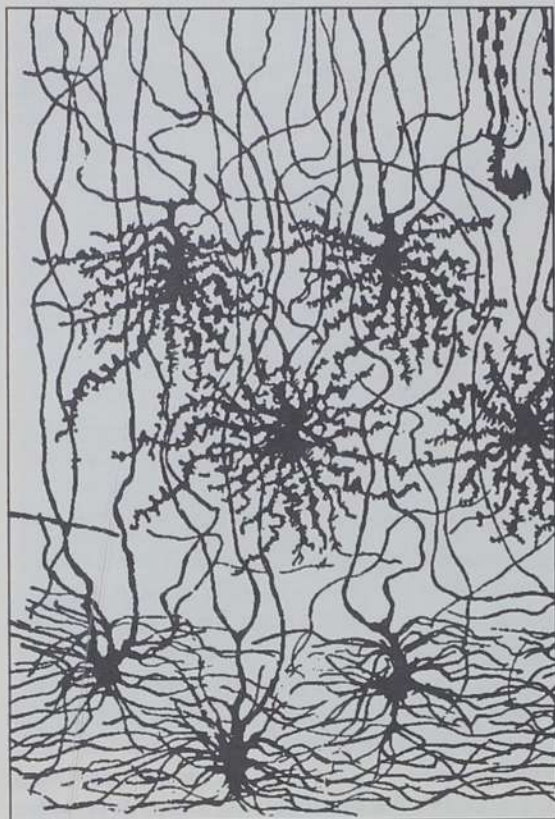
En el recorrido que hemos emprendido por las neurociencias de nuestros días nos encontramos esta ocasión con el profesor Harry Jerison, quien es una de las autoridades más destacadas en un campo poco conocido, a la vez fascinante y enigmático como es la arqueoneurología. Harry Jerison es profesor emérito del Departamento de Psiquiatría y Ciencias de la Conducta, en la Escuela de Medicina de UCLA. Es asesor del Centro de Evolución y Paleontología en el museo de la ciudad de Los Angeles. De figura menuda y enorme expresividad con la mirada, nos hace un espléndido panorama de lo que sabemos y lo que ignoramos acerca del origen de los estados límite mediante los que se manifiesta nuestra conciencia: nacer, dormir y morir. Entre ellos tejemos las cuerdas de la realidad consciente e inconsciente con una aguja peculiar, la de la autoconciencia.

¿Qué es la arqueoneurología?

Avance y Perspectiva (AyP): ¿Cómo podemos inferir de los restos fósiles algo tan inefable como son los procesos mentales?

Harry Jerison (HJ): Bueno, además de ser la disciplina en la que yo trabajo —nos dice con una sonrisa en la boca—, podemos definirla como el estudio del cerebro fósil. Desde luego, todos sabemos que el sistema nervioso y el cerebro están compuestos por tejido suave que no se fosiliza. Así que en el estudio de la evolución del cerebro sólo disponemos de un molde intemo de la cavidad

El Dr. Javier Alvarez Leefmans es investigador titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. Carlos Chimal, escritor interesado en la comprensión pública de la ciencia, es colaborador de Avance y Perspectiva.



craneana. Nuestro modelo es un cráneo y nada más. Podemos decir que esta disciplina se ocupa de los moldes fosilizados de la zona endocraneal. Si un animal muere y llenamos la cavidad del cráneo con un plaste de yeso, por ejemplo, o con una goma plástica, o bien como se ha hecho tradicionalmente, con arena y escombros, lo que tenemos es un molde casi idéntico al que hubiésemos conseguido de haber practicado en ese animal una autopsia o una necropsia común y corriente. Dicho de otra manera, la paleoneurología o arqueología del cerebro, si ustedes quieren, es una ciencia que intenta analizar los restos fósiles de animales y humanos desde este punto de vista.

AyP: Queremos conocer las evidencias que documentan la historia del cerebro. ¿Cuáles son los fósiles más antiguos encontrados hasta ahora?

HJ: Lo que podemos llamar el fósil más antiguo de un cerebro animal fue encontrado en un pez, similar a la lamprea y sin mandíbulas, que vivió hace unos 450 mi-

llones de años parasitando a otro pez mayor y se fosilizó en el área de Bergen, al norte de Noruega y Suecia. Algunos de los ejemplares hallados son muy hermosos, como pequeñas joyas de la naturaleza. Pero lo más sorprendente fue la manera como se fosilizaron. La cabeza del animal rodó hasta quedar sólo la parte interna, que era más dura que el exterior del pez, lo cual nos dejó precisamente un molde endocraneano.

En estos días estoy examinando el interior del cráneo de un dinosaurio, que data de hace unos 80 millones de años. En él hemos descubierto algo interesante, que no hemos publicado aún. Hemos encontrado evidencia fósil del tejido de sostén más superficial del cerebro, en la duramadre, lo cual nos puede ofrecer evidencias de la manera como circulaba la sangre en esos animales. La mayoría de los fósiles endocraneales que analizamos son de mamíferos, aunque también hemos examinado cráneos de aves. La razón es que los cerebros tanto de los mamíferos como de las aves llenan la cavidad interna, de manera que eso nos permite tener una mejor idea acerca de su aspecto, como si acabara de ser separado de ahí. Por eso el problema de paleoneurólogos como yo es saber interpretar la relación entre la superficie externa y la estructura interna de los fósiles con las funciones cerebrales en los organismos vivos. Ahora bien, los anatomistas modernos, de unos cien años para acá, han estado muy poco interesados en analizar la superficie externa del cerebro, la mayoría se ha ocupado de la anatomía celular, biología molecular, de problemas en la transmisión neuronal, los temas sobre función cerebral se vuelven cada vez más microscópicos... así que mi interés es establecer los nexos entre estos temas con los aspectos macroscópicos. Por fortuna, en los últimos años ha resurgido el interés entre los anatomistas por este enfoque. Cada vez hay más registro de evidencias finas y macroscópicas.

El problema de saber qué sucedió a lo largo de la historia

AyP: ¿Todo esto es tan impreciso o es una impresión producto de nuestra ignorancia?

HJ: Ojalá pudiera darles una respuesta firme pero se trata de un desafío mayor; lo único que puedo decir es que hay una hipótesis fundamental en geología, y que creo que puede hacerse extensiva a toda la ciencia, según



la cual el mundo es regular y todas las leyes de la naturaleza que nos gobiernan hoy operaron también en el pasado. Y el pasado quiere decir los orígenes de la Tierra y, desde luego, del Universo mismo. Esta es la hipótesis uniformista, enunciada hace poco más de 200 años y recuperada por el geólogo de (Charles) Darwin, Charles Lyell, quien destacó precisamente ese gran sentido de uniformismo que podemos ver en todas las escalas de tiempo. La astronomía se basa en la misma hipótesis. Por tanto, si veo una estructura en un fósil que parece idéntica a una que veo en un cerebro vivo, la función asociada a ese fósil corresponderá a la misma función que encontramos en dicho cerebro vivo.

AyP: Usted ha participado activamente en la comprensión de las huellas que definen nuestro viaje mental, ¿cuál es el molde endocraneano de un homínido más antiguo que han encontrado?

HJ: De hace unos 3.5 a 2.5 millones de años. Son homínidos, comúnmente clasificados como "pitecántropos", o bien australopitécidos, pues sigue habiendo una controversia sobre cómo llamarlos más apropiadamente. Han sido encontrados en Etiopía, en Kenya y en Tanzania los más antiguos. Otros se han hallado en Sudáfrica, y son más o menos de la misma época... El cerebro de los homínidos se conoce, pues, en fósiles con

una antigüedad de 3,5 millones de años, a partir de un molde endocraneano más o menos bien conservado. Es el famoso chico de Taung, Sudáfrica. Lo encontró Raymond Dart, y lo que halló fue aproximadamente la mitad del área endocraneal. Más tarde lo registró en un artículo publicado por *Nature*, en 1924. Ese es el más antiguo, si bien en los últimos 10 años han aparecido otros seis especímenes de donde podemos obtener información sobre el cerebro. El más antiguo de ellos también se ha fechado en alrededor de 3,5 millones de años. Me parece que se trata de un *Australopitécido afarensis*, aunque no lo se a ciencia cierta.

Ahora bien, primates como nosotros, animales de nuestro tipo, los conocemos con certeza de hace unos 55 millones de años. Eran parecidos a los lemúridos de Madagascar. La línea de primates que desemboca directamente en nosotros data de hace unos 40 millones de años. Se trata ya de verdaderos simios. Sin embargo, la evidencia más antigua de un cerebro no la tenemos de estos simios sino de lemúridos y otros monos que habitaron precisamente en Madagascar, hace unos 45 a 55 millones de años. La primera línea ancestral de los simios data de unos 30 millones de años y sus restos se encontraron en Egipto.

Entre esa época y hace unos 5 millones de años el registro es muy escaso. Y aunque tenemos especímenes ocasionales, lo que vemos es que el cerebro se hizo un poco más grande en esos primates, muy temprano en comparación con otros mamíferos, lo cual nos indica que siempre fue mayor que el promedio en su clase. Pero los más antiguos homínidos de nuestra especie, homínidos australopitécidos, tenían un cerebro pequeño, como el de los chimpancés. Era pequeño en relación con nuestro actual cerebro, que ha crecido dos veces más. Los cerebros de esos primeros australopitécidos pesaban unos 400 gramos. Nuestro cerebro pesa ahora entre 1 kilo 400 y 1 kilo 600 gramos.

Ahora bien, en cuanto a los neanderthales, por lo que sabemos hasta ahora tenían un desarrollo cerebral muy parecido al nuestro. Era tanto o más grande su cerebro que el nuestro. Sabemos también que pertenecieron a otra línea, ya que en 1999 se publicaron los resultados de pruebas de ADN. No es que se trate de otra especie, eso está fuera de discusión, de manera que podemos decir que se trata de un *Homo neanderthalensis*

y no de un *Homo sapiens neanderthalensis*, como pensábamos todavía en 1998. Aunque en realidad se trata de una pequeña diferencia.

AyP: ¿Eran humanos?

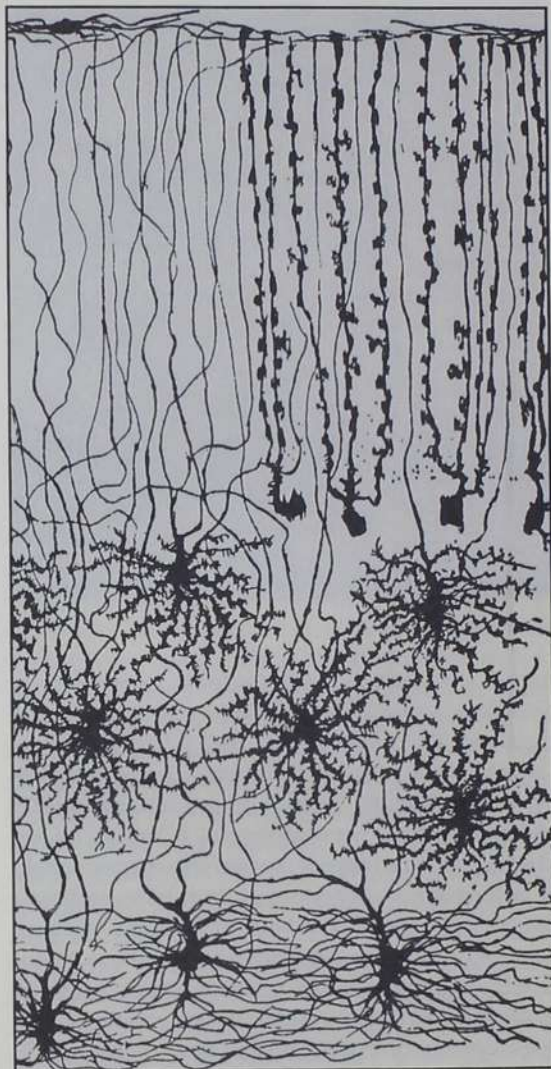
HJ: Desde luego. ¿Completamente humanos? —ahora hace una pausa para encontrar la manera más suave de advertirnos nuestra pifia—, bueno, decir “completamente” es un tanto exagerado. Recuerden que todo está relacionado con algo más. Sucede lo mismo con los árboles genealógicos. Siempre hay ramificaciones, nunca troncos aislados.

Tenemos un antepasado común, aunque ese ancestro evolucionó en dos direcciones, hacia el *sapiens* y hacia el *neanderthalensis*. Y en eso tal vez haya tenido algo que ver el clima europeo durante las glaciaciones. Los neanderthales fueron una línea descendiente del linaje humano, estaban mejor adaptados que los *sapiens* al clima duro, como ahora sabemos a partir de los restos encontrados de la cultura de Cro-Magnon o por las evidencias de que había *sapiens* contemporáneos de *neanderthalensis*. Es más, si viéramos por la calle a un neanderthal, vestido con ropas modernas, diríamos: “¡Qué persona más fea!”, y no “¡Miren, ahí va un chango vestido de humano!”.

El amanecer de una conciencia

AyP: ¿Qué clase de procesos mentales encuentra usted en estos moldes endocraneanos?

HJ: Algunos muy generales, pues tienen que ver con la neocorteza cerebral. Pero mediante inferencia puedo decir que ciertas funciones inevitablemente van a surgir en un cerebro de primate que esté construido como el nuestro. Puedo calcular, por ejemplo, que si hay funciones prefrontales que podemos identificar en esta forma general, es posible suponer que los neanderthales, por ejemplo, tenían una área prefrontal exactamente del mismo tamaño que la nuestra. La razón de que pueda hacerlo tal vez les cause alguna sorpresa, pero el hecho es que el tamaño de la corteza prefrontal en primates está determinado por el tamaño de todo el cerebro. Así que los primates tienen un cerebro que puede cuantificarse con respecto del cerebro humano. De esa manera puedo predecir dentro



de márgenes muy precisos cuán grande será la corteza prefrontal de ese pequeño cerebro primate. Simplemente a partir del tamaño del cerebro puedo predecir el tamaño de la corteza prefrontal. ¿Cómo hacemos esto? No con base en la paleo-neurología, sino en el estudio anatómico de cerebros vivos; definimos el área prefrontal como lo haría un anatomista y medimos su valor. Es sorprendente pero la correlación entre el área total del cerebro y la corteza prefrontal es casi perfecta: 99.95 %.

Vale la pena anotar que la corteza prefrontal participa en acciones ejecutivas, participa también en el control

del lenguaje y el habla, en el control de inhibición. Así, hemos visto que en monos con esa parte del cerebro dañado se presentan problemas muy específicos de comportamiento, como por ejemplo, tener reacciones tardías y otra clase de incapacidades. Como quiera que sea, la paleoneurología nos dice que esas funciones evolucionaron al crecer el cerebro de los primates.

AyP: Así que, basados en esta evidencia, podemos suponer que las funciones que presentan los primates y los humanos vivos evolucionaron en correspondencia, ¿no es así?

HJ: Así es. El tamaño del cerebro del fósil del australopitécido correspondía al de un chimpancé vivo. Pero lo más probable es que ese australopitécido haya comenzado a presentar ciertos rasgos adaptativos, como los vemos en los seres humanos. La evidencia es escasa, como he dicho, pero la argumentación, creemos, tiene un sistema muy fuerte de hipótesis y teoría congruente.

Entender la conciencia es conocer el pasado

AyP: ¿Cuándo surgió el primer lenguaje? ¿Apareció antes o después de la conciencia?

HJ: La evidencia real del lenguaje, quiero decir, sólida, de la clase que tendríamos si pudiésemos encontrar un cerebro fósil donde podemos ver las áreas de Broca y de Wernicke, que son las regiones donde aparece el control del lenguaje en los cerebros humanos vivos, nunca la hemos tenido. Desde luego, por lo que ya sabemos: contamos apenas con fósiles en pedazos petrificados, aunque hay que repetir que sí tenemos también fósiles que se parecen a los cerebros vivos.

El fósil más antiguo en el que se puede ver una tercera circunvolución frontal, que usualmente es indicativo de la presencia del área de Broca, es en un espécimen llamado *Homo ergaster*. Yo lo habría clasificado como *Homo habilis* hace unos años pero ahora sabemos que tiene 1,6 millones de años, a diferencia del *habilis*, que tiene entre 2 y 2,2 millones de años de antigüedad. La evidencia es esa tercera circunvolución, como lo descubrió

Dean Forck, quien es profesor de antropología en SUNY (Albany). Fue él quien identificó una tercera circunvolución en el *Homo habilis* que ahora es *Homo ergaster*. Ese espécimen en particular se conoce por su número: ER-1470. Es humano, aunque también lo veríamos más como un simio que como ser humano.

AyP: ¿Hay evidencias de esta circunvolución en otros primates y su relación con el lenguaje?

HJ: Este es un asunto poco claro. Realmente aquí es donde tenemos que recurrir sobre todo a los anatomistas, pues hay un área en el lóbulo temporal identificada en monos que parece estar desconectada de la región donde se estructura el lenguaje, desde la perspectiva de la anatomía microscópica. Asimismo, se ha sugerido que, en el caso de chimpancé, existe una ligera asimetría en el hemisferio izquierdo, que es la región primaria auditiva localizada en el lóbulo temporal de los primates. Inmediatamente detrás de dicha área en los seres humanos se encuentra una región muy expandida, el área de Wernicke. Aunque, vuelvo a repetir, en fósiles no es posible ver esto.

Un examen a *grosso modo* del cerebro vivo nos indica algunas otras asimetrías. A pesar de que las dos mitades del cerebro tienen aproximadamente el mismo tamaño, existen tales asimetrías. Por ejemplo, hay más espacio en el hemisferio izquierdo para el lenguaje en la mayoría de los humanos que en el hemisferio derecho.

AyP: ¿El área de Broca evolucionó?

HJ: Tal parece. Se supone que cuando el cerebro se hizo más grande, el área de Broca y las circunvoluciones crecieron; la relación entre el tamaño del cerebro y sus repliegues es, pues, esencial y directa. Conforme el cerebro se hizo más grande durante la evolución, el crecimiento asociado al lenguaje, es decir, la aparición del área de Broca y la tercera circunvolución frontal se volvieron casi inevitables.

AyP: ¿Piensa usted que, además, hay una relación directa entre la aparición del lenguaje y la conciencia?

HJ: "Definitivamente. Me gustaría ofrecerles algunos datos funcionales que apoyan esta hipótesis. Mi idea consta de dos partes. Primero está el lenguaje humano,



que por lo general lo pensamos como la base de la comunicación pero que, de hecho, es tan común como cualquier sistema de comunicación entre los mamíferos. Todos los miembros de esta clase animal poseemos patrones de comunicación y los expresamos casi por instinto. Por ejemplo, se sabe que el ciervo de Virginia, en caso de peligro, mientras huye comunica a los otros de su especie su situación levantando la cola, como una bandera blanca. Para esto no se necesita mucho cerebro. Ahora bien, el hecho de que nuestra área del lenguaje sea tan grande significa que hay algo más que comunicación. Un área tan grande en un cerebro de mamífero nos sugiere que ahí se genera percepción y conocimiento, es decir, cognición. Y es cierto que usamos percepción y conocimiento para conducirnos socialmente o para comunicarnos pero podemos hacerlo sin saber qué estamos comunicando o por qué somos sociales.

Cuando nos topamos con un área de estas características, sabemos que tiende a ser más perceptual y cognitiva y, hasta donde sé, el lenguaje humano empezó a evolucionar porque necesitábamos una adaptación perceptual y cognitiva al medio.

AyP: ¿Qué fue primero, el lenguaje o la conciencia?

HJ: Creo que la conciencia es un fenómeno muy primitivo en mamíferos. Quiero decir, además, que la conciencia tiene dos definiciones. La primera, que es la más importante en términos biológicos, es la construcción del mundo real con objetos en el espacio y en el tiempo. Ahora bien, por qué surgió. Porque la información con la que venimos a este mundo está hecha, en realidad, de pequeños cambios en la función neuronal que han construido un código. Podemos pensar en él como una serie de ceros y unos en una red de comunicación codificada. Así que a partir de este código sumamente arbitrario y difícil de comprender recreamos el mundo real. Una buena analogía es una pantalla electrónica. La imagen que aparece en ella no es la realidad sino los pequeños cambios en los puntos luminosos y oscuros que ocurren en dicha pantalla. Es en nuestra cabeza donde se reúnen y se forma la imagen, en la pantalla sólo tenemos una serie de pequeños eventos. Creo que eso es lo que hace el cerebro, pienso que la base de la conciencia surge en la construcción de la imagen a partir de pequeños

trozos de actividad neuronal arbitrarios, de cambios en los potenciales de acción, de actividad sináptica, etcétera. Esto es, en la construcción de un patrón, en el diseño de una imagen.

Ahora, la segunda definición está constituida por lo que nosotros, los seres humanos, creemos comúnmente que es la conciencia, es decir, la autoconciencia. El hecho de que somos un objeto en el mundo, igual al resto de los objetos naturales pero que contamos con un dispositivo curioso que nos permite darnos cuenta de que conocemos y que podemos conocer otros objetos, es decir, sabemos que sabemos. Y es aquí donde entra el lenguaje.

AyP: ¿Qué es esta capacidad de hablar?

HJ: Básicamente, un método de percibir y conocer, que con el tiempo se comenzó a usar para comunicar. Evolucionó, desde una forma muy simple de acceder al mundo externo, porque éramos primates que empezaban a ser carnívoros, lo cual implicó que debíamos conocer mucho más del mundo. Un carnívoro tiene una comprensión del mundo mucho más amplia que un primate que no lo es. El resultado de esto fue que entramos en competencia, evolucionamos y con ello el lenguaje se transformó hasta convertirse en una forma esencial de conocer mejor el mundo externo. Cualitativamente esencial, ya que cuando usamos los métodos de conocimiento que poseemos para comunicar, y puesto que dichas formas de conocer implican la capacidad de hablar y esta habla podemos escucharla y comunicarnos a través de ella, la información que resulta de todo ello no es ya algo tan simple como la advertencia visual ante el peligro inminente de los ciervos de Virginia, ni tampoco el grito de un mono avisándole a otros de su especie que hay un águila alrededor, lo cual les indica que deben de ocultarse entre las ramas. Estas son señales de advertencia. Cuando nosotros nos comunicamos, en realidad podemos trasladar la imagen de lo que sabemos del mundo externo. Poseemos una representación de nosotros mismos y del mundo externo. Cuando ustedes me escuchan decir: "Hay un árbol junto a mí", un árbol aparece de inmediato en sus mentes, al igual que hay uno en la mía. He comunicado lo que hay en mi mente directamente a la de ustedes.

AyP: ¿Y qué podemos decir de la autoconciencia, es algo que evolucionó también?

HJ: En efecto, evolucionó y puede decirse que apareció abruptamente en los homínidos. Consideren esto: yo puedo saber algo porque lo veo, miro a mi alrededor, veo los objetos y sé que son reales. O bien sé que están ahí porque alguien me lo dijo. El hecho de que pueda saberlo no por mi experiencia propia sino porque alguien me lo comunicó mediante un lenguaje es una forma sumamente importante de conocer y es esencial poseer la capacidad de distinguir entre lo que sé por medio de un lenguaje y lo que sé por medio de mis sentidos. Por eso pienso que conforme evolucionó la capacidad de autoconciencia hacia algo más humano, adquirimos la capacidad de distinguir entre el conocimiento que obtenemos por el uso de un lenguaje articulado y el conocimiento que nos llega por medio de los sentidos, que son más primitivos y ordinarios.

La conciencia de nosotros mismos nos permite distinguir esto, aunque no todos tienen esta capacidad, lo cual puede llegar a ser dramático. Sabemos que hay gente que escucha voces y que piensa que es perseguida por alguna fuerza del mal. Han perdido la capacidad de distinguir entre el conocimiento que viene del lenguaje y el conocimiento que procede de los sentidos. Los esquizofrénicos y los paranoicos han perdido en cierta forma la noción de realidad. El caso de los sueños es algo similar. Al parecer, cuando soñamos no está sucediendo un suceso real y nosotros los sabemos. Pero dentro del sueño muchas veces no estamos completamente seguros. También puede ser el caso de las experiencias místicas, en las que parece que abandonamos nuestros cuerpos. Se trata en todo caso de un colapso en la capacidad de ir y venir entre los sentidos externos y el sentido del lenguaje. Pienso que estas consideraciones son fundamentales para entender la autoconciencia.

AyP: Usted dijo que la conciencia de sí mismo apareció en forma relativamente abrupta. ¿Puede explicarnos?

HJ: Cuando dije que la autoconciencia apareció casi en forma súbita y a una edad muy temprana, anuncié que estábamos hablando de hipótesis, no de ciencia factual. Pero creo que es útil el ejercicio, sobre todo para las ciencias de la conducta y el estudio de la mente. El fenómeno del lenguaje en la línea de los homínidos debió haberse iniciado hace mucho tiempo. Creo, de hecho, que se presentó desde el principio en homínidos con

cerebros del tamaño de un chimpancé actual, tal vez hasta un poco más grandes. Sólo mediante un análisis muy cuidadoso, con la clase de juegos matemáticos que me gusta practicar, es posible distinguir un ligero incremento en el tamaño en los australopitécidos, creo que ese fue el inicio de esta clase de lenguaje. Lo cual no necesariamente reflejaría lo que es el lenguaje desde nuestro punto de vista hasta llegar a lo que sabemos hoy.

En la época del *Homo habilis* o el *Homo ergaster*, el tamaño del cerebro había alcanzado el doble de su tamaño, esto es, entre 655 y 800 gramos, un poco más de la mitad del tamaño del cerebro actual. Yo diría que en ese momento el problema ya había surgido, porque entonces esos homínidos ya poseían dicho sistema de comunicación, ya comunicaban información acerca del mundo externo y sobre su propia percepción del mundo. Había también una individualidad que comunicaba con un vocabulario, si bien limitado, lo que había visto en su búsqueda, por ejemplo, de un mejor sitio para cazar y cómo llegar a él. Lo más importante era que los otros podían entenderlo y sentir lo mismo que él. Estos son los orígenes de la autoconciencia.

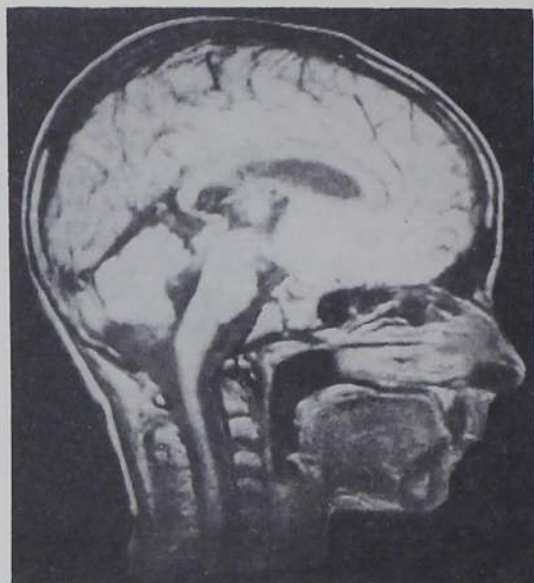
AyP: ¿La autoconciencia es un fenómeno único en los homínidos? ¿Qué podemos decir de los simios que aprenden a reconocerse en el espejo?

HJ: George Gallup publicó los resultados de un experimento en 1979, el cual, en mi opinión, demostró que podemos reconocer el yo como un objeto; que reconocemos a ese yo como un objeto único que sabe que sabe, es decir, que sabe reconocer sus manos y las de los demás, que sabe que es diferente a los demás. Ahora bien, el mundo no tiene por qué ser necesariamente una perfecta dicotomía. Pienso que nuestra autoconciencia depende mucho del lenguaje, y que su alcance depende de este último. La conciencia de uno mismo está relacionada con el conocimiento de que sabemos, de que tenemos un mundo interno que construimos, eso es único.

El punto de vista genético

AyP: ¿Hay alguna continuidad genética con respecto a los procesos mentales en los primates?

HJ: Bueno, ésta es una pregunta muy interesante y merece alguna explicación. ¿Cómo se genera, pues, la



conciencia de la que acabamos de hablar? Recordemos que tiene que ser producida por un sistema orgánico que experimenta un desarrollo. Tiene que ser algo que esté en la naturaleza de toda la especie humana. ¿Qué clase de código genético puede estar presente en un embrión humano o en el genoma humano, que permite generar autoconciencia? Yo no creo que debamos pensar siquiera que el control de la función que produce autoconciencia esté realmente programado en los genes de esa forma. Pienso que en la construcción de un cerebro no existe órdenes exactas y explícitas en el código genético que indiquen dónde poner cada neurona. Lo que encontramos son ciertas instrucciones inscritas en el "primodium" neuronal, tales como: "duplíquense y crezcan. Manténganse así bajo estos patrones hasta alcanzar un punto determinado". Ahora bien, ese es un nivel en el código genético. Luego viene otro nivel que precisará los patrones de crecimiento y migración neuronal, y uno más que determinará cuáles son esos puntos a los que debe llegar cada neurona. Así se construye y se cumple con el crecimiento.

Por otra parte, y puesto que estamos tratando con enormes cantidades de material relacionado con las funciones neuronales, lo más razonable es partirlo en paquetes y ordenarlo por jerarquías. Así que el sistema es, en sí mismo, una serie de patrones. Pensemos por un momento, además, que existen en la neocorteza cerebral alrededor de 20 mil millones de células nerviosas, como

ahora los sabemos, y que entre los patrones que debemos de considerar hay algunos en los que una parte sabe lo que la otra parte está haciendo Y sabe que sabe, de hecho, instruir autoconciencia en sistemas nerviosos muy grandes. Pero cómo funciona esto precisamente, realmente no lo sé.

AyP: Quisiéramos escuchar su opinión sobre las máquinas conscientes y la supuesta aparición de una conciencia artificial.

HJ: En principio, no tendría ningún problema en llamarle conciencia a algo que surgiera de una máquina. La idea de construir una máquina que sea consciente de esa manera o de otra no es una idea que me asuste. De hecho, es una gran idea y estoy ansioso por ver máquinas de esa clase. Pero también hay que decir que, en términos de inteligencia maquina, la tarea más difícil que puede dársele a una computadora es el reconocimiento de patrones. Necesitan una enorme capacidad de procesamiento para eso, y creo que es lo que hemos descubierto en la evolución de cerebros, que son capaces de procesar gigantescas cantidades de información en paralelo y reconocer patrones tanto perceptuales y cognitivos. No tengo problemas con eso.

Por otro lado, diría que la conciencia en función del conocimiento del mundo exterior es algo que ninguna máquina puede conseguir todavía. Puede tenerla en pedazos. Es factible entrenar a una máquina para que haga algo que la psicología gestalt llama "comprensión" (*cognizance*). De esa forma, podemos enseñarle a reconocer monedas, por ejemplo. Puede hacer un examen, un barrido de toda la moneda y aprender a verla por arriba, o bien puede hacer correcciones cuando la imagen es elíptica en vez de circular, etcétera. Si le otorgamos a la máquina el mismo criterio que los humanos utilizamos en nuestros patrones de reconocimiento, la máquina puede agrupar modelos y manejar patrones con gran eficacia, puede reconocerlos en forma constructiva. Así que, sí, las máquinas deberían llegar a adquirir conciencia y nosotros deberíamos ser capaces de diseñar máquinas para hacerlo. Tendríamos, desde luego, que aplicarle la prueba de Turing, hacerle preguntas y luego tratar de decidir si esa máquina está pensando por sí misma o un ser humano lo hace por ella. Ciertamente eso no pueden realizarlo ahora pero es cuestión de tiempo.

AyP: ¿Lo mismo podemos decir para la autoconciencia?

HJ: Sí, aunque hay algo más que debemos decirle a los expertos en computación. Sus máquinas, digitales y que operan con base en unos y ceros, no son máquinas analógicas. Las máquinas digitales son útiles y pueden hacer en la actualidad todo lo que hacía una máquina analógica en el pasado. Pero tal vez también sea cierto que las máquinas analógicas son mejores para ciertos propósitos. Lo que sabemos a partir del cerebro es que una sola neurona es la combinación de una máquina analógica con una digital. También sabemos que transmite información en forma electroquímica. Ahora bien, el aspecto analógico-digital es sólo parte de esto, como lo son los métodos de transmisión de información que no hemos aún incorporado en nuestro análisis. Por ejemplo, el problema de las nanomáquinas, máquinas moleculares o incluso atómicas. Esa es un verdadero obstáculo.

AyP: ¿Podemos establecer correlaciones neurométricas? ¿Qué tanto significado tiene la correlación entre el tamaño del cerebro y la inteligencia?

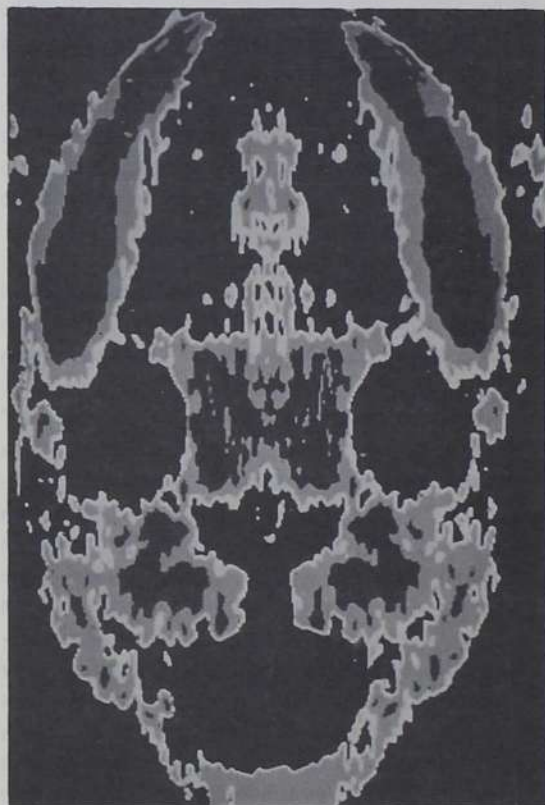
HJ: Tal vez podamos establecer alguna correlación, aunque probablemente no. Déjeme decirle que "tal vez" puede ser una frase muy precisa y no tiene que significar necesariamente algo débil o insulso. Si bien la correlación entre el tamaño del cerebro y la inteligencia es algo muy real e importante entre las especies, dentro de ellas la relación se vuelve casi insignificante. En los seres humanos se ha estudiado durante los últimos 20 años, mediante técnicas de introspección no invasiva, el tamaño del cerebro y se ha intentado correlacionarlo con el IQ, pero esta correlación es muy pequeña, entre 0.3 y 0.4, lo cual es muy bajo. Así que sólo entre un 5% y un 10% de la inteligencia puede correlacionarse con el tamaño del cerebro.

Los cerebros de Einstein y Anatole France

AyP: ¿Qué opina de los casos famosos, como el del gran físico Albert Einstein y el del genial escritor Anatole France, quien con su estilo irónico y limpio renovó el humanismo a principios del siglo XX?

HJ: El cerebro de Einstein pesaba 1375 gramos, que es casi el promedio del hombre medio. Sandy Wilson, de la Universidad de MacMaster, piensa que Einstein tenía una área extendida en la región occipital parietal, la cual a veces se identifica con habilidades especiales. Yo no creo mucho en eso. Anatole France es otro caso famoso. Cuando murió su cerebro pesaba poco más de un kilo 200 gramos. Pero ya pasaba de los 80 años de edad y el cerebro se seca con el tiempo. Sin embargo, no creo que haya mostrado graves síntomas de senilidad. Tengo una copia de la autopsia y he tratado de encontrar algunos datos que aclaren el asunto. Pero se trataba de un cerebro pequeño.

Por otra parte, es un asunto que la gente no quiere abordar porque enfatiza los problemas y las diferencias raciales. Es, en realidad, un asunto estúpido y produce mucha ira. Desde luego, hay diferencias marcadas entre el promedio de las mujeres y los hombres, así como entre las razas. Pero afortunadamente sabemos que las mujeres son muy inteligentes, al igual que los miembros de todas las razas, así que podemos estar tranquilos por ese lado. Las diferencias son reales pero no debemos ser ingenuos ante problemas complejos.



universidad de Harvard. La narración que sigue tiene el propósito de señalar las que a mi juicio son las ideas centrales desarrolladas en el citado libro. En algunas partes del texto nos referimos a otros marcos conceptuales que, se espera, arrojen luz sobre la narración central del texto.

Memoria y Cognición

A lo largo de los dos últimos millones de años, nuestra especie ha sufrido tres transiciones cognitivas mayores. Cada una de ellas le ha legado un nuevo sistema de representación de la realidad. Todas tienen que ver de manera sustancial con la memoria.

La primera transformación llevó a la memoria a una fase mimética que hizo posible el empleo del cuerpo como sistema de representación. Nuestro antepasado, el *Homo erectus*, tuvo la capacidad de evocar los sucesos de su cotidianidad y reproducirlos... sin lenguaje. Pudo fabricar utensilios de piedra, diseñar estrategias de caza y migrar de África hacia Europa y Asia.

A diferencia de sus antecesores, el *Homo erectus* poseía memoria voluntaria. Esto conllevaba la posibilidad de representar mentalmente eventos y de reproducir movimientos del cuerpo de manera voluntaria, abriendo así la posibilidad al perfeccionamiento de sus acciones. Se produjo entonces una simbiosis entre la memoria, las herramientas y la vida social.

La segunda fase, la de la oralidad, llevó a la especie desde los



Cognición, mediación y tecnología

Luis Moreno Armella

Aclaración. La motivación para escribir este texto proviene del entusiasmo que me ha despertado la lectura del libro de M. Donald, *Origins of the Modern Mind*, publicado por la casa editorial de la

El Dr. Luis Moreno Armella, investigador titular del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav, es miembro del Consejo Editorial de Avance y Perspectiva. Dirección electrónica: lmorenoa@data.net.mx



sistemas articulados de signos sonoros hasta el desarrollo del lenguaje (hace aproximadamente 300 mil años). Desde luego, el gran logro de esta fase es la consolidación y profundización de la vida colectiva. Toda sociedad oral tiene dos grandes historias: la historia de su propio origen y la historia del origen del mundo. Por eso la fase oral ha sido llamada fase mítica¹.

Con la fase de las representaciones externas (hace aproximadamente 50 mil años), se inicia la elaboración de un soporte de la memoria que rebasa los límites impuestos por la biología. Comienza su transformación tecnológica —entendiendo por tecnología el empleo del conocimiento para hacer cosas

de una forma que resulte reproducible.

Los inicios de esta fase pueden ilustrarse con las pinturas rupestres encontradas en las cuevas del Altamira, en España y Lascaux en Francia. La narrativa ya no se limita a una transmisión oral, sino que se deja una pintura, una grafía que otro puede ver e interpretar en ausencia del autor.

De esta manera, memoria voluntaria, oralidad y sistemas de representación externa se toman elementos centrales del proceso de evolución cognitiva durante estos dos últimos millones de años. Del desenlace de esta historia hace parte sustancial una manera de concebir nuestras relaciones con el mundo que llamamos ciencia.

Cultura teórica

Es la cultura basada en símbolos externos: dibujos, grafías y posteriormente la escritura de las lenguas, pasando por las fases ideográficas hasta las de alfabetos fonéticos. Las necesidades del comercio, de llevar cuenta de las transacciones comerciales, condujo a la creación de los sistemas de registro externos. Probablemente las notaciones matemáticas fueron las primeras en aparecer.

La existencia de representaciones externas permitió el comienzo de la reflexión analítica sobre las relaciones entre distintas ideas. Esto es, las representaciones externas permitieron ver los textos como objetos de reflexión. Se produce entonces una re-organización funcional de la cognición y la memoria pues esos objetos externos sirven para traer a la memoria registros que pueden desbordar los límites biológicos y, además, pueden generar procesos de reflexión sobre sus contenidos. Una vez que una lengua escrita entra en funciones, la oralidad y todas las conquistas cognitivas anteriores como las de la fase mimética, quedan subordinadas a la escritura.

La gran cantidad de inventos durante la fase oral revela una actitud pragmática. Los miembros de estas culturas no estaban muy alejados de la naturaleza: por ejemplo, la domesticación de animales y plantas no requería más que un reconocimiento transmitido a lo largo del tiempo de que tales especies eran deseables y domesticables. Las construcciones complejas como estructuras de ladrillos y embarcaciones acuáticas fueron elaboradas

mediante las habilidades de construcción de herramientas de los humanos. Pero la tecnología y las organizaciones sociales dependían más y más de la producción de registros externos, es decir, de dispositivos de memoria externa.

Esta proliferación de registros externos tuvo un efecto inesperado, a saber, la creación de un clima que preparó para cambios profundos: la mente humana comenzó a reflexionar sobre sus propias representaciones, a modificarlas y refinarlas. Se alejó de las preocupaciones inmediatas, de la resolución pragmática de los problemas y se orientó a la aplicación de esas habilidades a las representaciones simbólicas permanentes contenidas en las fuentes de memoria externa.

La construcción de los primeros calendarios implicaba ya una actitud teórica con respecto a los eventos astronómicos. Todas las sociedades agrícolas tempranas, debido a sus necesidades, tenían calendarios basados en las observaciones astronómicas. De modo que las bases de la observación sistemática y la predicción, ya existían hace aproximadamente diez mil años.

En conclusión, la astronomía es el primer ejemplo de un desarrollo teórico ampliamente difundido en la sociedad. Las predicciones astronómicas y los modelos no pudieron ser alcanzados sin un sistema eficiente de preservación de la información. La construcción de estos modelos permitió mejorar sustancialmente los modelos mentales espacio-temporales, al tiempo que permitieron el desarrollo de las sociedades agrícolas.



A partir del segundo milenio de nuestra era, en manos de chinos y babilonios, se introdujo la escritura con el propósito de organizar los datos astronómicos anteriormente recogidos, lográndose con ello un refinamiento de los modelos físicos. La escritura, empero, permanecía aún encerrada dentro de esa actividad: los registros astronómicos eran muy semejantes a los registros comerciales e involucraban tan solo la construcción de listados de observaciones.

La actitud teórica, es decir, el uso deliberado y analítico del pensamiento simbólico fue posible a partir de la articulación de la escritura con otros medios pictográficos. El siglo VII A.C. marca el inicio, en Grecia, de la civilización teórica—por lo menos en los márgenes occidentales.

Aunque la escritura fonética ya había sido inventada por los egipcios y refinada por muchas otras culturas, nunca antes había sido usada para registrar el proceso del pensamiento mismo. La innovación crucial, introducida por los griegos fue el hábito de registrar sus ideas y sus especulaciones. Introdujeron algo más que un recurso simbólico: crearon el proceso de registro externo de los intercambios cognitivos. De esta manera abrieron los procesos de discusión colectiva, de creación y verificación de las ideas.

Mediación instrumental

La historia que hemos narrado en las páginas anteriores intenta señalar cómo el desarrollo de los sistemas de representación externa condujo a

un funcionamiento cognitivo que escapaba ya a los límites impuestos por la biología. Nada de esto ocurrió de manera aislada: para comprenderlo mejor hay que hacer explícitos otros elementos protagónicos de este desarrollo.

Nuestra especie elabora herramientas con propósitos deliberados. Mediante la producción de herramientas hemos alterado nuestra estructura cognitiva y adquirido, por así decirlo, nuevos órganos para la adaptación al mundo exterior.

Existen evidencias sólidas que muestran cómo, el desarrollo del cerebro en nuestra especie constituye una adquisición tardía, posterior al bipedalismo y en consonancia con el empleo de herramientas. A partir de la fabricación y empleo de herramientas, el tamaño del cerebro se triplicó². Puede decirse que el cambio más importante ocurrido al hombre durante el último medio millón de años ha sido aloplástico, es decir, ha sido un cambio producido por sus relaciones con sistemas externos de ejecución, (como herramientas y posteriormente signos y sistemas de representación orales y de registro escrito) y no a cambios en su morfología.

En la actualidad, las teorías de la cognición de mayor impacto en los contextos educativos, han reconocido la pertinencia del principio de mediación instrumental que podemos expresar de la siguiente manera:

Todo acto cognitivo está mediado por un instrumento que puede ser material o simbólico.



En este principio³ convergen tanto la naturaleza mediada de la actividad cognitiva como la inevitabilidad de los recursos representacionales para el desarrollo de la cognición. No hay actividad cognitiva al margen de la actividad representacional.

La fuerza de este principio puede ilustrarse de diversos modos. Por ejemplo, en términos filogenéticos (desarrollo de la especie) ya hemos dado una narración amplia de su existencia. Toda la historia de construcción de instrumentos y utensilios en las culturas que solemos llamar primitivas, ilustra fehacientemente la inseparabilidad de la actividad cognitiva y el desarrollo de una forma de tecnología. En términos mas cercanos a nosotros, el desarrollo de las ciencias naturales y de las matemáticas constituye un escenario rico en ilustraciones del principio. Pensemos, por ejemplo, en el desarrollo de la astronomía y de la biología. ¿Sería concebible en este momento imaginar el estado actual de estas disciplinas sin los recursos tecnológicos que se han desarrollado

simultáneamente con sus cuerpos conceptuales?

Entonces, las acciones cognitivas están mediadas por los instrumentos y los conocimientos producidos permanecen intrínsecamente vinculados a dichos instrumentos.

Estas son algunas de las conclusiones y ventanas conceptuales que abre la lectura del libro de Donald.

Notas

1. M. Donald, *Origins of the Modern Mind* (Harvard Univ. Press, 1998).
2. J. Brunner, *Desarrollo Cognitivo y Educación* (Ediciones Morata, segunda edición, Madrid, 1995).
3. J. Wertsch, *Voces de la Mente* (Visor, España, 1993).



**Milenio, de Stephen Jay Gould,
Grijalbo, Barcelona, 1998**

**Miguel Angel Pérez
Angón**

Transiciones seculares

Considerado por muchos como el
mejor escritor de divulgación cien-

tífica del mundo — después de la prematura muerte de Carl Sagan en 1997 —, Stephen Jay Gould nos regala ahora con *Milenio*, una guía racionalista para una cuenta regresiva, arbitraria pero precisa, planeada para conmemorar el inicio del presente milenio. Cuando aparezca esta reseña ya habrá ocurrido la transición "racional" hacia el tercer milenio (el 1 de enero del 2001, según Jay Gould). La versión original en inglés de este librito fue publicada en 1997, con la suficiente anticipación para que Jay Gould pretendiera influir (sin éxito como ya pudimos observar y celebrar el pasado 1 de enero del 2000) en la determinación de la celebración "oficial" del inicio del nuevo milenio. Como ocurrió en la transición del siglo XVIII al XIX, en esta ocasión pudimos presenciar una celebración de cambio de siglo correspondiente al 1 de enero del año terminado en ceros, fecha que fue determinada por la cultura popular asociada a los grandes medios de comunicación. En cambio, según relata Jay Gould

El Dr. Miguel Angel Pérez Angón, investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav, es coordinador del Consejo Editorial de Avance y Perspectiva. Dirección electrónica: mperez@fis.cinvestav.mx

en este ensayo, en el siglo antepasado la transición de 1800 al 1900 se conmemoró el 1 de enero de 1901. En esa ocasión, los medio masivos de comunicación de aquel entonces (los periódicos) estaban controlados por las clases cultas y tuvieron suficiente influencia como para convencer a la sociedad en general que el inicio del siglo XIX correspondía precisamente a esa fecha si se tomaba en cuenta que el calendario gregoriano se originó en una cuenta con el 1 de enero del año 1, siete días después del nacimiento de Jesucristo fijado para el 24 de diciembre del año -1 (o 1 a.C.).

Apocalipsis

Stephen Jay Gould es un paleontólogo del Smithsonian Institute de Boston, que se concibe a sí mismo como uno de los racionalistas más apasionados y uno de los mejores abogados de la ciencia de nuestros tiempos (¿o del segundo milenio?). Después de escribir múltiples ensayos sobre dinosaurios y diferentes evidencias que confirman la teoría de la evolución, en esta ocasión emprende una crítica sobre la fascinación por el año 2000 y del pensamiento milenarista propugnado por la doctrina apocalíptica de varias sectas cristianas que preveían precisamente un inminente fin del mundo con la transición al tercer milenio cristiano, según el libro de Apocalipsis.

¿Por qué le interesan a un paleontólogo como Jay Gould todas estas cuestiones asociadas al calendario y a un supuesto fin del mundo? Como buen paleontólogo, es natural que a él le interese todo lo



relacionado con la historia del tiempo relativo, el tiempo que está determinado en los calendarios de manera arbitraria por diferentes civilizaciones. En cambio, a los físicos siempre nos ha interesado la historia del tiempo absoluto (véase, por ejemplo, *La Historia del Tiempo* de Stephen Hawking), el tiempo que está determinado a partir del *big bang*, la gran explosión que dio origen a nuestro universo.

Stephen Jay Gould divide su libro en tres cuestiones que de una u otra manera están relacionada con la fascinación que siempre han tenido las transiciones seculares, y en especial la asociada a los únicos dos cambios de milenio de la era cristiana: ¿qué es la tradición milenarista?, ¿cuándo debería empezar realmente el nuevo milenio? y ¿por qué nos fascinan tanto las com-

plicaciones involucradas en la fijación del calendario?

El pensamiento milenarista surge de la vinculación de la doctrina cristiana del apocalipsis a una teoría numérica sobre el (siempre inminente) fin del mundo. En estas doctrinas resulta natural esperar que el fin del universo ocurra en un ciclo similar al de su creación en los famosos seis días bíblicos: según el cálculo místico de san Pedro, un día debe ser equivalente a mil años, y en consecuencia los seis días de la creación deben contar como seis mil años de duración del mundo. En este esquema cada mil años constituyen las unidades básicas e indivisibles de la cuenta mística, esto es, serían los "átomos" del tiempo histórico. Si consideramos además que la escatología bíblica da una cuenta aproximada de seis mil años desde la "creación" del mundo, es enten-



dible entonces la expectación que generó entre algunas sectas cristianas este fin de milenio: desde el suicidio colectivo de los miembros de la secta de la Puerta del Cielo tras la aparición del cometa Hale-Bop en 1997, hasta la reciente versión evangélica del apocalipsis que se consumaría una vez que la OLP tome el control de Jerusalem y de todos sus lugares santos (y que en días recientes estuvo cerca de generar un trágico desenlace, aunque no del todo apocalíptico). Jay Gould describe en este ensayo cómo las expectativas milenaristas siempre han fallado, aunque en algunos casos la esperanza milenarista sí condujo a una liberación terrenal. En cambio, en México, y en general en todos los países con predominio de la religión católica, la tradición milenarista no ha tenido arraigo por una razón muy sencilla: una vez que tuvo reconocimiento "oficial", a la iglesia católica no le ha interesado pregonar más sobre un inminente (aunque siempre postergable) fin del mundo.

Calendarios

A Stephen Jay Gould le interesan las dificultades asociadas al calendario principalmente por dos razones. Una de ellas sólo la descubriremos hasta el final del libro, pero la otra tiene una fundamentación antropológica: la fascinación que sentimos por la regularidad numérica tiene su origen en una fuerza motriz inherente a alguna propensión mental que potenció la selección natural al favorecer la supervivencia de los cerebros grandes que desde siempre han buscado patrones en los ciclos numéricos para asignarles un significado.

En la última parte de su libro Jay Gould describe con todo detalle por qué los verdaderos ciclos astronómicos (días, lunaciones, años) no conocen en absoluto la división por millares, por mucho que nuestra historia religiosa y nuestras matemáticas decimales opten de manera legítima por ese criterio. Además, por motivos religiosos y agrícolas, todas

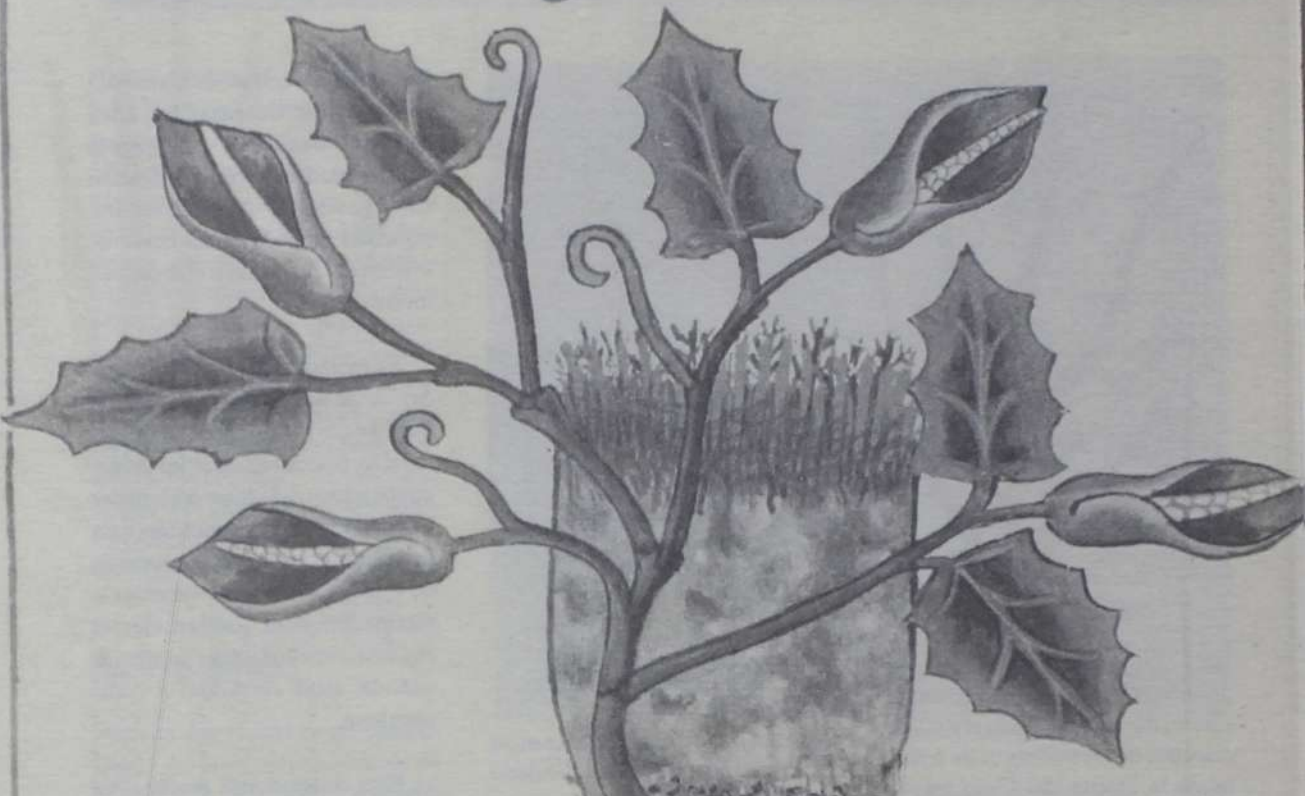
las sociedades complejas han tenido la necesidad de casar los años lunares y los solares. De ahí surge la arbitrariedad aparente en la fijación de algunas fechas religiosas importantes, como la Pascua cristiana, la judía de Chanukah o el Radamán musulmán.

En este precioso ensayo, Stephen Jay Gould nos enseña que la pasión milenarista, en particular, y en general la fascinación por los calendarios nacen del placer de ordenar y la alegría de comprender. Esta es a final de cuentas la moraleja de este libro: es posible canalizar la fascinación que pueden ejercer algunas construcciones humanas cuándo éstas empiezan a comprenderse.

Para concluir esta reseña me gustaría criticar la traducción tan mala que realizó en esta ocasión la editorial Grijalbo de España. Desde el mismo subtítulo del libro resaltan las pifias de los traductores: utilizaron "cuenta atrás" en lugar de la más obvia "cuenta regresiva" para el término *countdown*. A pesar de que el autor, un fanático de los Yankees de Nueva York, utiliza muchas metáforas del beisbol, los traductores españoles no se molestaron en averiguar los términos más utilizados en la jerga beisbolera de los países americanos de habla hispana y utilizaron traducciones literales (i.e., casa base para *home base*). Lo que ya resultó imperdonable es que los traductores confundieran a los *Mets* con los Yankees de Nueva York. ¡Y todo esto precisamente ahora que los Yankees se coronaron con su tercer campeonato mundial al hilo!

Huacalxochill.

Tepiteton Teamoxth.



XXI International Congress of History of Science

8-14 July, 2001
Mexico City Mexico

General Theme
Science and Cultural Diversity

Angina

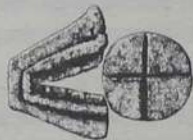


Figure of an eclipse,
circa 500 A.C.
Xochicalco, Mexico

International Union of History and Philosophy of Science
Division of History of Science

Further Information:
XXI International Congress of History of Science
Avenida Dr. Vértiz 724,
03020 México City Mexico

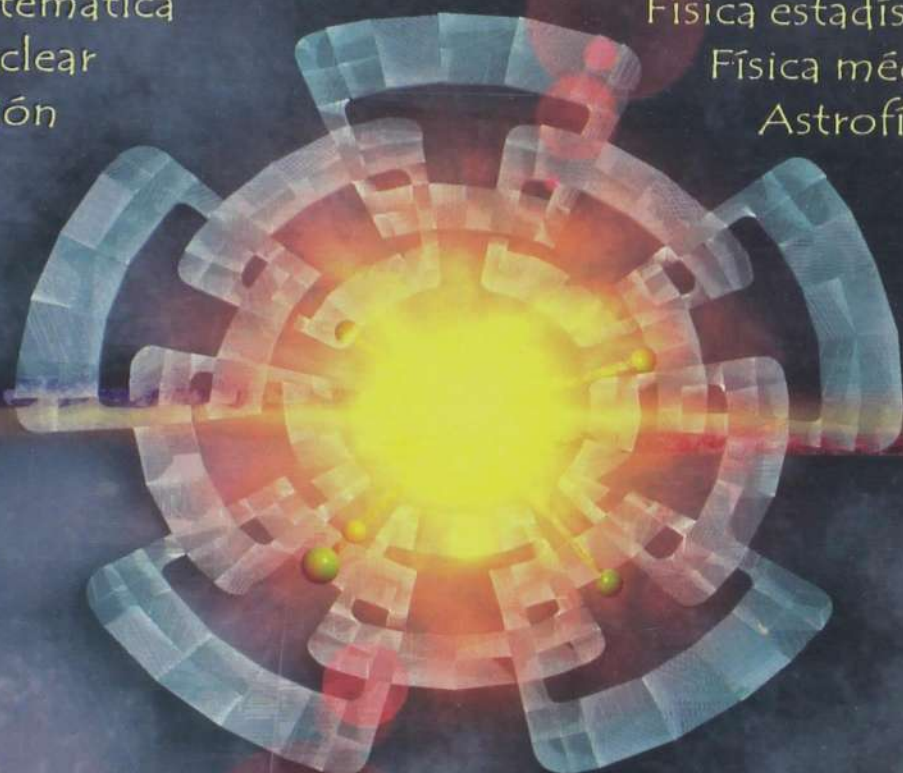
P.O. Box 21-873,
04000 Mexico City
MEXICO

Fax: (525) 519 98 10
e-mail: xxiichs@servidor.unam.mx
Congress Web site: www.smhct.org

Maestría, Doctorado, Posdoctorado

Partículas elementales
Fisicamatemática
Física nuclear
Gravitación

Materia condensada
Física estadística
Física médica
Astrofísica



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Departamento de Física

Examen de admisión a maestría, doctorado directo y cursos propedéuticos el 12 de febrero y el 14 de mayo de 2001.

Inscripciones al doctorado en cualquier época del año.

BECAS de Conacyt

Coordinación de admisión

Departamento de Física, Cinvestav

Apdo. postal 14-740

07000 México, D.F.

Tel. (52-5) 747 3831

Fax (52-5) 747 3838

admision@fis.cinvestav.mx

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

Maestría, Doctorado, Posdoctorado



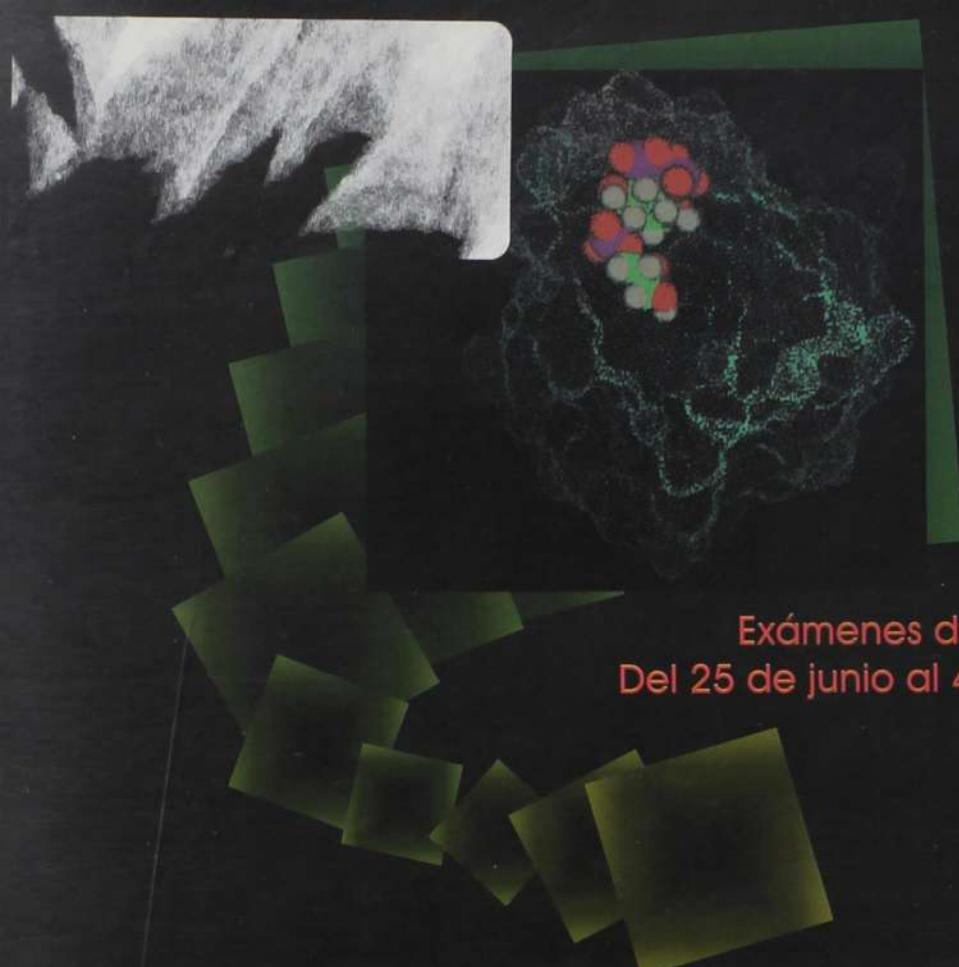
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Departamento de Física

Maestría, Doctorado, Posdoctorado



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Departamento de Física

vista tridimensional



Exámenes de admisión:
Del 25 de junio al 4 de julio del 2001

¿Terminaste la licenciatura en algún área de la química?
¡Tu puedes ingresar al doctorado
en ciencias químicas del Cinvestav!

Cursos de Prerrequisitos en matemáticas, fisicoquímica,
química orgánica y química inorgánica.

Del 15 de enero al 25 de mayo del 2001

Este programa de doctorado
pertenece al Padrón de Excelencia
del Conacyt

Las personas que tienen el grado
de Maestro en Ciencias de alguna
otra institución pueden también ingresar
al doctorado con un programa personalizado

Informes:

Coordinación Académica,
Departamento de Química del Cinvestav
Av. I.P.N. 2508 Esq. Ticomán
Apdo. Postal 14740, 07000, México, D.F.
Tel. 5747 3716 ext. 4090, 4043 y 4028 Fax: 5747 7113
Correo electrónico: mrosales@mail.cinvestav.mx
<http://www.chem.cinvestav.mx/quimica/quim.html>