

F 2469

AVANCE Y PERSPECTIVA

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

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y
ESTUDIOS AVANZADOS DEL
I.P.N.
BIBLIOTECA
INGENIERIA ELECTRO

Volumen 16
julio-agosto de 1997
México ISSN 0185-1411
\$ 15 pesos

Ciencia y
conciencia

Maestría y Doctorado en Ciencias

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

CONTROL AUTOMÁTICO

Tecnía de **Sistemas**

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

Robótica y Visión Artificial

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

Control de **Procesos**

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

Becas

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

Correspondencia

Coordinación Académica
Sección de Control Automático
Depto. de Ingeniería Eléctrica
CINVESTAV-IPN
Av. I.P.N. #2508, Esq. Ticoman
Col. San Pedro Zacatelco
C.P. 07300, México, D.F.
Tel. 747 7000 y 01 Ext. 3208
Fax: 747 7089
e-mail: coordaca@ctrl.cinvestav.mx
http://www.ctrl.cinvestav.mx





Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

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

AVANCE Y PERSPECTIVA

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

CONSEJO EDITORIAL

Jesús Alarcón
MATEMÁTICA EDUCATIVA
René Asomoza
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
LAB. DE QUERETARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD IRAPUATO
María de Ibarrola
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS
Eusebio Juaristi
QUÍMICA
Miguel Ángel Pérez Argón
FÍSICA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Consulte nuestra página
de internet:

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

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Vol. 16

- 227 *Soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein-Maxwell*
Vladimir S. Manko
235 *El concreto fibrorreforzado: ¿una alternativa en la construcción?*
Alejandro Manzano Ramírez, Martín Ibarra Silva y José Castillo Tovar
243 *Pozos, hilos y puntos cuánticos: estructuras cuánticas semiconductoras de baja dimensión*
Máximo López López y Miguel A. Meléndez Lira

PERSPECTIVAS

- 255 *Programas de doctorado: dudas y certidumbres*
Adolfo Martínez Palomo
259 *La problemática oceanográfica en México: algunas consideraciones*
Luis Capurro

NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 267 *Víctor Manuel Villalobos Arámbula, subsecretario de Recursos Naturales*
269 *María Teresa Rojano Ceballos, jefa del Departamento de Matemática Educativa*
270 *Martha Sonia Morales, Premio Martín de la Cruz 1996*
271 *Ricardo Pérez Fuentes, Premio Jorge Rosenkranz 1996*

DIÁLOGOS

- 273 *Ciencia y conciencia: el museo de la mente*
Carlos Chimal entrevista a Stuart R. Hameroff,
Susan Greenfield y David J. Chalmers

Portada: Micrografía en colores falsos de una porción de 3 mm² del área del cerebro donde se registra el proceso de visión. La diferencia entre los colores indica zonas donde se procesa información sobre el color y sobre el sentido de orientación. Foto: Universidad Rockefeller.

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 julio-agosto de 1997, volumen 16, se terminó de imprimir en junio de 1997. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. *Editor responsable:* Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Litográfica HERFAR, S.A. de C.V. Dr. García Diego 45-H, Col. Doctores, México, D.F. Avance y Perspectiva publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero de 1997, vol. 16 página 74. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en Avance y Perspectiva, siempre que se cite la fuente. Avance y Perspectiva se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$500 pesos.



FT009548

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I. P. N.

DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL I. P. N.

LIBRERÍA

FIFTH CHEMICAL CONGRESS OF NORTH AMERICA

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

SPONSORS

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

STOCHASTIC PROCESSES IN CHEMISTRY

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

Germinal Cocho Gil

UNAM, México

Martin Grant

McGill University, Canada

Magdaleno Medina

U. A. San Luis Potosí, México

Michael Plischke

Simon Fraser U., Canada

Susan C. Tucker

U. California Davis, U.S.A.

Rashmi Desai

U. of Toronto, Canada

Luis Vicente Hinestroza

UNAM, México

José Onuchic

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

Rosalio Rodríguez

UNAM, México

Fereydoon Family

Emory University, U.S.A.

Turab Lookman

U. of Western Ontario, Canada

Ramón Peralta Fabi

UNAM, México

Vladimir E. Tchijov

UNAM, México

DYNAMICS, BROWNIAN MOTION, TIME SERIES, SCALING, SPECTROSCOPY

Eliezer Braun

UAM-Iztapalapa, México

Ivan L'Heureux

U. of Ottawa, Canada

Eduardo Piña

UAM-Iztapalapa, México

Jim Skinner

U. of Wisconsin, U.S.A.

Emilio Cortés

UAM-Iztapalapa, México

Andre Longtin

U. of Ottawa, Canada

Alberto Robledo

UNAM, México

William A. Wassam, Jr.

CINVESTAV, México

Leopoldo García Colín

UAM-Iztapalapa, México

Mariano López de Haro

UNAM, México

Robert Silbey

MIT, U.S.A.

CHEMICAL SYSTEMS, PATTERN FORMATION, EXCITABLE MEDIA

Kathy Hunt

Michigan State U. U.S.A.

Michael C. Mackey

McGill U., Canada

Leonard Sander

U. of Michigan, U.S.A.

Carmen Varea

UNAM, México

Raoul Kopelman

U. of Michigan, U.S.A.

Enrique Peacock-López

Williams College, U.S.A.

Ken Showalter

West Virginia U. U.S.A.

Miguel José Yacamán

ININ, México

Herbert Levine

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

Sidney Redner

Boston University, U.S.A.

Harry Swinney

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

Soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein-Maxwell

Vladimir S. Manko

Introducción

Es generalmente aceptado por la comunidad científica, y nunca ha sido puesto en duda por la opinión pública, que entre las diferentes teorías de la gravitación la teoría de Einstein de la relatividad general (RG) es la más perfecta y bella. Un importante rasgo atractivo de RG —que está ausente en muchas otras teorías no-lineales de campo, donde con frecuencia solamente se demuestran los teoremas de existencia de soluciones en lugar del resolver las ecuaciones de campo— es que desde su nacimiento en 1915¹ su comprensión fue determinada y facilitada por el descubrimiento e interpretación de las soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein. En la actualidad, muchas soluciones de las ecuaciones de Einstein son conocidas, y la mayor parte de ellas puede ser estudiada en un libro bien conocido², que es la colección más completa de soluciones exactas encontradas hasta 1980. Sin embargo, se han obtenido algunos nuevos resultados importantes durante los últimos 15 años, y la situación actual en la esfera de las soluciones exactas no puede ser bien comprendida sin hacer por lo menos un breve repaso de la investigación reciente.

Hablando de las soluciones exactas es necesario ante todo entender por qué juegan ellas un papel tan importante en RG. Los dos argumentos principales que pueden ser presentados en su favor son los siguientes: (i) las soluciones exactas nos proporcionan prácticamente la única posibilidad de estudiar la estructura

El Dr. Vladimir Manko es investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav. Dirección electrónica: ismanko@fis.cinvestav.mx.



global de los espacios-tiempos; (ii) no existen justificaciones rigurosas para las aplicaciones de las soluciones aproximadas en los casos que involucran efectos altamente no-lineales. También vale la pena mencionar que las soluciones exactas proporcionan modelos matemáticos y físicos contra los cuales los métodos aproximados pueden ser puestos a prueba, así como a veces ellas sirven como contraejemplos a conjeturas físicas. Desde un principio tuvieron mucha importancia teórica, y se puede recordar que, por ejemplo, suministraron a la astronomía observacional muchas ideas nuevas sobre la estructura del universo; en el caso particular de la solución exacta conocida como el universo estático de Einstein, la distribución de la materia se tomó como infinita y uniforme, lo que estuvo en contradicción con el conocimiento astronómico de principios del siglo XX, según el cual el universo fue pensado como una región de estrellas con forma de un disco rodeado por el vacío.

Se conocen muchas soluciones exactas y existe gran variedad de situaciones físicas que representan; en lo que sigue voy a restringir mi consideración sólo a las soluciones estacionarias con simetría axial que tienen importancia astrofísica puesto que representan los campos de objetos compactos tales como agujeros negros y estrellas. Voy a tratar de describir la historia de estas soluciones en su evolución hasta el presente estado del arte.

El período hasta 1980

La teoría de Einstein de RG proporciona un tratamiento muy elegante de la gravitación y del electromagnetismo en forma de un sistema unido y auto-consistente de las ecuaciones de Einstein-Maxwell

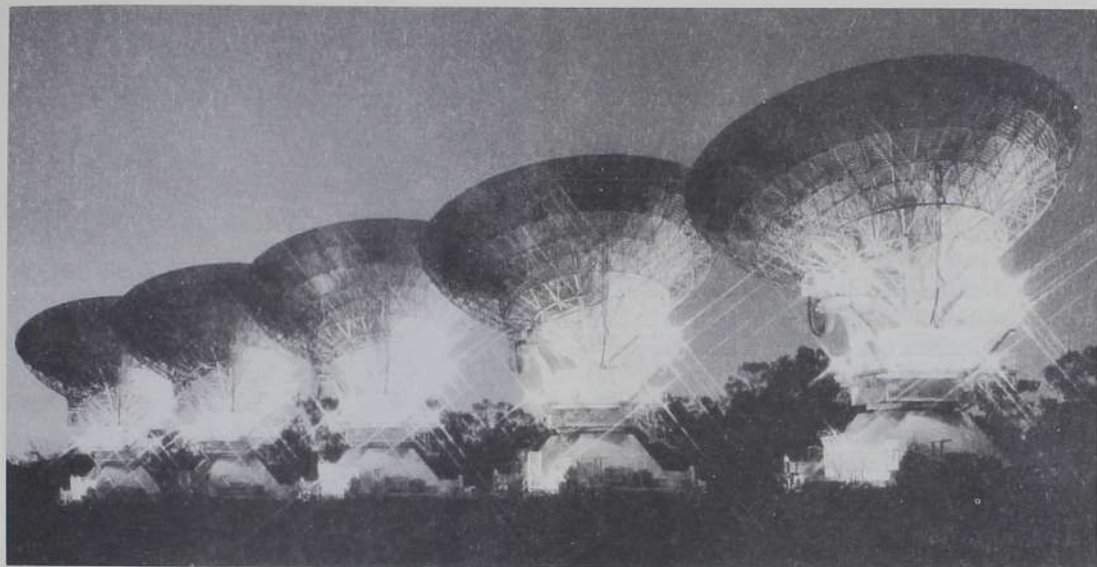
$$G_{jk} = 8\pi T_{jk},$$

$$(\sqrt{-g}F^{ik})_{;k} = 0,$$

donde los tensores G_{jk} , T_{jk} y F_{ik} son, respectivamente, el tensor de Einstein, el tensor de energía-momento y el tensor del campo electromagnético, y g es el determinante del tensor métrico g_{ik} .

En el caso general, este sistema de ecuaciones no-lineales en derivadas parciales de segundo orden es extremadamente complicado, por eso se buscan soluciones que representan espacios-tiempos no-planos para situaciones que tienen ciertas simetrías. Una familia amplia de espacios-tiempos interesante, desde el punto de vista astrofísico, está representada por los campos gravitacionales y electromagnéticos estacionarios que poseen simetría axial. Si nos restringimos a las soluciones que describen sólo los campos fuera de las fuentes gravitacionales y electromagnéticas, entonces llegamos a las soluciones de electrovacío de las ecuaciones de Einstein-Maxwell. Entre ellas las soluciones asintóticamente planas son de interés especial porque pueden describir los campos externos de sistemas de objetos aislados. Aquí los siguientes tipos de espacios-tiempos son posibles: los campos estáticos y estacionarios de Einstein (las soluciones de vacío); los campos electrostáticos, magnetostáticos y estacionarios de Einstein-Maxwell (las soluciones de electrovacío).

Es claro que el caso axisimétrico y estático en el vacío es el más sencillo; por eso no es sorprendente que la primera solución exacta fuera encontrada precisamente para este caso por K. Schwarzschild³ en 1916, poco después de la formulación de RG por A. Einstein. La solución de Schwarzschild tiene simetría esférica y describe el campo exterior de un objeto masivo esférico no-rotante o de una estrella después de su colapso gravitatorio final. El carácter único de la



métrica de Schwarzschild radica en que es la única solución esférica de las ecuaciones de Einstein-Maxwell en el vacío. Otro resultado fundamental fue obtenido en el mismo año de 1916 por H. Reissner⁴ y dos años más tarde por G. Nordström en forma independiente. La solución de Reissner-Nordström también tiene simetría esférica y describe los campos gravitatorio y eléctrico fuera de una masa cargada no-rotante o de un agujero negro. La solución general axisimétrica fue encontrada por H. Weyl⁵, quien además obtuvo una familia de las soluciones electrostáticas que incluye la métrica de Reissner-Nordström como un caso particular.

Desde luego, en el primer periodo muy poca gente trabajaba en RG, y todavía menos en las soluciones exactas, y las técnicas matemáticas que usaban en aquel tiempo no eran muy elaboradas. Esto último podría explicar por qué durante muchos años no fue encontrada ni una sola métrica estacionaria de vacío que pudiera representar el campo exterior de una fuente aislada rotante. En los años 30 dos soluciones estacionarias fueron obtenidas por T. Lewis y W. van Stockum, pero ambas fueron claramente no-físicas. Solamente en 1963 fue encontrada por R. Kerr⁶ la primera métrica asintóticamente plana que describe el campo gravitatorio de una masa axisimétrica rotante. Dicha solución se hizo muy famosa por representar el campo de un agujero negro estacionario.

El intervalo temporal de 47 años que separa las soluciones de Schwarzschild y de Kerr ilustra bien las dificultades de la búsqueda de las soluciones exactas. Hay que subrayar que el éxito de Kerr fue posible gracias a la aplicación en RG de nuevas técnicas matemáticas, tales como el formalismo de las tetradas nulas que resultó ser muy eficaz para el estudio de las métricas algebraicamente especiales. En este aspecto, la contribución de J. Plebański al desarrollo de las bases sólidas matemáticas de RG merece una mención especial. Entre los numerosos resultados obtenidos por él es suficiente mencionar su clasificación algebraica del tensor de Ricci⁷ (tipos de Plebański), que proporciona el esquema general para la clasificación de soluciones exactas, y la métrica de Plebański-Demianski⁸, que es la solución más general de electrovacío del tipo D en presencia de la constante cosmológica. Como caso particular, esta solución contiene la métrica de Kerr-Newman⁹ que representa el tipo general del agujero negro, el cual queda completamente caracterizado por los siguientes tres parámetros: la masa, el momento angular y la carga eléctrica.

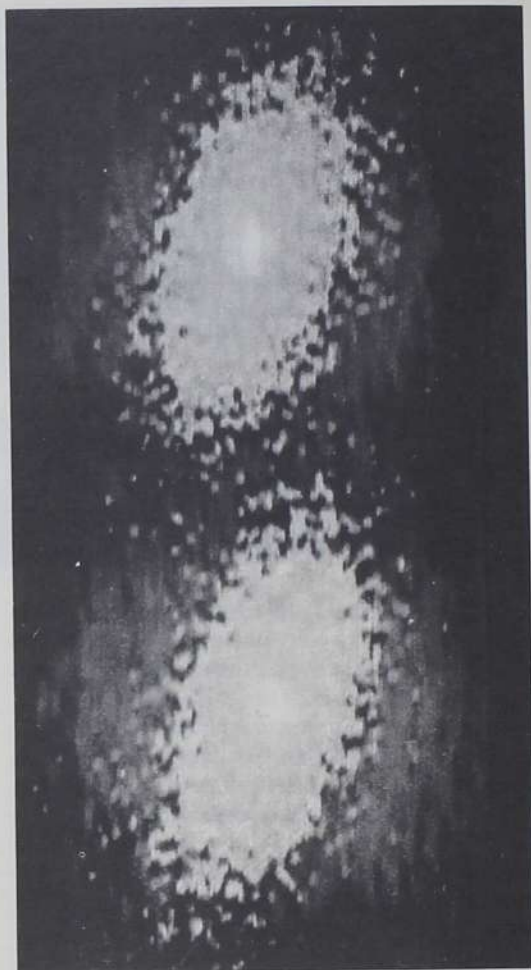
Las simetrías internas de las ecuaciones de Einstein-Maxwell fueron objeto de un análisis riguroso tras la publicación del importante artículo de F. Ernst¹⁰, en el cual el problema axisimétrico de electrovacío fue formulado en términos de dos potenciales complejos, ahora conocidos como potenciales de Ernst, que satis-

facen dos ecuaciones diferenciales de segundo orden. La forma elegante y simétrica de las ecuaciones de Ernst permitió a A. Tomimatsu y H. Sato encontrar una familia de soluciones asintóticamente planas en el vacío¹¹, que representan los campos gravitacionales de fuentes deformadas rotantes. Gracias al trabajo de Ernst fueron encontradas diversas transformaciones de simetría para las ecuaciones de Einstein-Maxwell, lo que hizo posible a su vez usar las soluciones ya conocidas para la construcción de otras nuevas. Por ejemplo, la transformación de Harrison¹² se utilizó a fin de construir nuevas métricas que describen agujeros negros de Kerr y de Kerr-Newman en un campo magnético uniforme^{13,14}, y E. Herlt generó una familia de campos electrostáticos de interés físico¹⁵ a partir de las soluciones no-físicas de van Stockum.

El descubrimiento por Geroch¹⁶ de un grupo de simetrías internas de las ecuaciones de Einstein con un número infinito de parámetros fue el punto inicial para el desarrollo de las técnicas modernas de generación de soluciones. Este desarrollo se realizó con la intervención de varios investigadores que utilizaron métodos diferentes, pero matemáticamente equivalentes, para la construcción de soluciones: método de teoría de grupos¹⁷, técnica de dispersión inversa¹⁸, transformaciones de Bäcklund^{19,20} y método de ecuaciones integrales²¹. Estas técnicas dan la posibilidad de generar soluciones con un número arbitrario de parámetros y pueden ser utilizados exitosamente para obtener nuevas métricas estacionarias de vacío. Entre los resultados obtenidos de esta manera se puede mencionar la solución solitónica de vacío de Belinskii y Zakharov²², la familia HKX (Hoenselaers-Kinnersley-Xanthopoulos) de espacios-tiempos estacionarios²³ y la solución de Kerr doble de Kramer y Neugebauer²⁴. Al mismo tiempo, para el caso de electrovacío los procedimientos de generación condujeron a resultados restringidos, ya que sólo admitían la construcción de soluciones que representaban los campos de objetos superextremos, y no de agujeros negros.

Las décadas de los años 80 y 90

Resulta curioso que la mayoría de los artículos fundamentales sobre las técnicas de generación de soluciones publicados en los años 1979-1980 haya sido incluida en el libro de Kramer *et al.*, ya mencionado, en



forma de "referencias añadidas durante la impresión". Es claro pues que muchos resultados interesantes sobre las soluciones axisimétricas han sido obtenidos en el período posterior a la escritura de este libro, cuando los métodos de generación fueron mejor entendidos y se convirtieron en una herramienta de trabajo de un gran número de investigadores. La lista de las soluciones físicamente interesantes obtenidas en los años 80 podría iniciarse con la construida por W. Dietz y C. Hoenselaers²⁵, que representa un sistema de dos partículas rotantes de masas iguales. Una característica extraordinaria de esta solución es que existen estados de equilibrio de dos masas debidos a la fuerza de repulsión espín-espín que compensa la atracción gravitacional de las masas, un fenómeno que no tiene lugar en la mecánica newtoniana. Más tarde, W. Dietz y C.

Hoenselaers también encontraron los estados de equilibrio para dos masas de Kerr superextremas²⁶ y mostraron que no es posible el equilibrio de dos agujeros negros estacionarios debido al efecto de repulsión espín-espín.

Diferentes autores aplicaron las técnicas de superposición para atacar el problema de la descripción del campo exterior alrededor de una masa arbitrariamente deformada y que incluye un conjunto infinito de parámetros que representan los momentos multipolares de la masa. La primera solución de este tipo, que sin embargo no contenía el caso límite de agujeros negros, se obtuvo²⁷ en 1982, y las soluciones de agujeros negros fueron introducidas como casos límites importantes en 1985 y 1992^{28,29}.

Como se sabe que los objetos astrofísicos reales poseen fuertes campos magnéticos, las métricas asintóticamente planas que describen una masa magnetizada son importantes para investigar los efectos de plasma en las vecindades de las estrellas. Las técnicas de superposición hicieron posible resolver el problema de la generalización magnetizada asintóticamente plana de la solución de Schwarzschild, y la primera métrica magnetizada de este tipo se determinó en 1987 por Ts. Gutsunaev y V. Manko³⁰. Esta a su vez fue seguida por algunas otras soluciones análogas y por sus generalizaciones, estáticas y estacionarias, que no obstante no admitían el límite de vacío puro (la rotación en aquellas soluciones estacionarias se debe a la interacción entre los campos eléctrico y magnético, y no corresponde a un parámetro arbitrario de momento angular).

El problema de magnetización asintóticamente plana de la solución del agujero negro de Kerr-Newman que contiene la solución de Kerr como el límite de vacío puro fue resuelto con la maquinaria del método integral de Sibgatullin³¹. En contraposición a otras técnicas de generación conocidas que involucraban algunos *Ansätze* específicos sobre los valores de los parámetros, por lo que las soluciones de electrovacío quedaban restringidas al caso superextremo, el método de Sibgatullin permite construir soluciones en las cuales los dos casos, el de agujeros negros y el superextremo, se tratan simultáneamente debido a la correspondencia entre los espacios de parámetros y los momentos arbitrarios multipolares. Es interesante notar que aunque

este método data de 1984, la primera generalización asintóticamente plana de la métrica de Kerr-Newman fue construida sólo en 1992³². El método de Sibgatullin también permitió entender el origen de las limitaciones matemáticas que existían en otras técnicas, y algunas de estas limitaciones ya han sido eliminadas en un trabajo reciente³³. Mencionemos que con la ayuda del método integral de Sibgatullin se ha obtenido una solución de N solitones de electrovacío³⁴, la cual describe el campo exterior de N masas colineales (los agujeros negros u objetos superextremos) que en general son estacionarias, cargadas y magnetizadas. Posiblemente sería mejor concluir esta sección con la métrica de Neugebauer y Meinel³⁵ que ha abierto nuevos horizontes en el área de soluciones exactas. G. Neugebauer y R. Meinel obtuvieron por primera vez la solución de ambos problemas, exterior e interior, para un disco de polvo que gira de manera rígida, y su descubrimiento será probablemente reconocido como la solución más significativa de los años 90.

Perspectivas

La futura investigación sobre soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein, desde mi punto de vista, será una combinación de técnicas matemáticas poderosas junto con la penetración profunda de los aspectos físicos de un problema específico (desafortunadamente, es común todavía que los investigadores con preparación fuerte en matemáticas no se preocupan mucho por la interpretación física de sus resultados, mientras que algunos investigadores que tienen excelente intuición física se encuentran con dificultades técnicas que no son capaces de resolver debido al conocimiento insuficiente de los métodos modernos de generación de soluciones). Sobre este camino uno puede esperar en unos cuantos años la resolución, por ejemplo, del problema de equilibrio de dos masas cargadas (estáticas y con rotación estacionaria), así como la derivación de las métricas particulares de interés físico adecuadas a aplicaciones astrofísicas concretas. Aparentemente, serán necesarios más esfuerzos y tiempo para construir las soluciones exactas interiores-exteriores que puedan representar modelos de estrellas, pero la métrica de Neugebauer-Meinel nos hace tener esperanzas que incluso ese problema difícil puede ser atacado en el futuro con la ayuda de la maquinaria matemática existente.

Lo mismo se podría comentar sobre otras soluciones de las ecuaciones de Einstein, tales como las cosmológicas o de ondas gravitacionales, porque existen muchas soluciones matemáticamente equivalentes que describen diferentes situaciones físicas³⁶. No hay duda que podemos esperar descubrimientos fascinantes en el área de las soluciones exactas en el futuro cercano.



Notas

1. A. Einstein, Die Feldgleichungen der Gravitation, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.* 844 (1915).
2. D. Kramer, H. Stephani, E. Herlt y M. MacCallum, *Exact solutions of Einstein's field equations* (Cambridge University Press, 1980).
3. K. Schwarzschild, Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie, *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.* 189 (1916).
4. H. Reissner, Über die Eigengravitation des elektrischen Feldes nach der Einsteinschen Theorie, *Ann. Physik* **50**, 106 (1916).
5. H. Weyl, Zur Gravitationstheorie, *Ann. Physik* **54**, 117 (1917).
6. R.P. Kerr, Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics, *Phys. Rev. Lett.* **11**, 237 (1963).
7. J. Plebański, The algebraic structure of the tensor of matter, *Acta Phys. Polon.* **26**, 963 (1964).
8. J. Plebański y M. Demianski, Rotating, charged and uniformly accelerating mass in general relativity, *Ann. Phys. (NY)* **98**, 98 (1976).
9. E.T. Newman, E. Couch, K. Chinnapared, A. Exton, A. Prakash y R. Torrence, Metric of a rotating, charged mass, *J. Math. Phys.* **6**, 918 (1965).
10. F.J. Ernst, New formulation of the axially symmetric gravitational field problem. II, *Phys. Rev.* **168**, 1415 (1968).
11. A. Tomimatsu y H. Sato, New exact solution for the gravitational field of a spinning mass, *Phys. Rev. Lett.* **29**, 1344 (1972).
12. B. K. Harrison, New solutions of the Einstein equations from old, *J. Math. Phys.* **9**, 1744 (1968).
13. F. J. Ernst y W.J. Wild, Kerr black holes in a magnetic universe, *J. Math. Phys.* **17**, 182 (1976).
14. A. A. García, Magnetic generalization of the Kerr-Newman metric, *J. Math. Phys.* **26**, 155 (1985).
15. E. Herlt, Static and stationary axially symmetric gravitational fields of bounded sources. I. Solutions obtainable from the van Stockum metric, *Gen. Relat. Grav.* **9**, 711 (1978).
16. R. Geroch, A method for generating new solutions of Einstein's equations. II, *J. Math. Phys.* **13**, 394 (1972).
17. W. Kinnersley, Symmetries of the stationary Einstein-Maxwell equations, *J. Math. Phys.* **18**, 1529 (1977).
18. V. A. Belinskii y V. E. Zakharov, Integration of the Einstein equations by the inverse scattering method and calculation of exact soliton solutions, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **75**, 1953 (1978).
19. B. K. Harrison, Bäcklund transformation for the Ernst equation of general relativity, *Phys. Rev. Lett.* **41**, 119 (1978).
20. G. Neugebauer, Bäcklund transformation of axially symmetric stationary gravitational fields, *J. Phys. A: Math. Gen.* **12**, L67 (1979).
21. I. Hauser y F. J. Ernst, Integral equation method for effecting Kinnersley-Chitre transformations. II, *Phys. Rev. D* **20**, 1783 (1979).
22. V. A. Belinskii y V. E. Zakharov, Stationary axisymmetric gravitational solitons, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **77**, 3 (1979).
22. C. Hoenselaers, W. Kinnersley y B. C. Xanthopoulos, Symmetries of the stationary Einstein-Maxwell equations. VI. Transformations which generate asymptotically flat spacetimes with arbitrary multipole moments, *J. Math. Phys.* **20**, 2530 (1979).
23. D. Kramer y G. Neugebauer, The superposition of two Kerr solutions, *Phys. Lett. A* **75**, 259 (1980).
24. W. Dietz y C. Hoenselaers, Stationary system of two masses kept apart by their gravitational spin-spin interaction, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 778 (1982).
25. W. Dietz y C. Hoenselaers, Two mass solutions of Einstein's vacuum equations: the double Kerr solution, *Ann. Phys. (NY)* **165**, 319 (1985).
26. W. Dietz y C. Hoenselaers, A new class of bipolar vacuum gravitational fields, *Proc. Roy. Soc. London A* **382**, 221 (1982).
27. H. Quevedo y B. Mashhoon, Exterior gravitational field of a rotating deformed mass, *Phys. Lett. A* **109**, 13 (1985).

28. V.S. Manko y I. D. Novikov, Generalizations of the Kerr and Kerr-Newman metrics possessing an arbitrary set of mass-multipole moments, *Class. Quantum Grav.* **9**, 2477 (1992).

29. Ts. I. Gutsunaev y V. S. Manko, On the gravitational field of a mass possessing a magnetic dipole moment, *Phys. Lett. A* **123**, 215 (1987).

30. N.R. Sibgatullin, *Oscillations and Waves in Strong Gravitational and Electromagnetic Fields* (Nauka, Moscow, 1984, en ruso, traducción inglesa: Berlin, Springer, 1991).

31. V.S. Manko y N. R. Sibgatullin, Kerr-Newman metric endowed with magnetic dipole moment, *J. Math. Phys.* **34**, 170 (1992).

32. F.J. Ernst, Fully electrified Neugebauer spacetimes, *Phys. Rev. D* **50**, 6179 (1994).

33. E. Ruiz, V. S. Manko y J. Martín, Extended 6N-parameter family of exact solutions of the Einstein-Maxwell field equations, *Phys. Lett. A* **200**, 77 (1995).

34. G. Neugebauer y R. Meinel, General relativistic gravitational field of a rigidly rotating disk of dust: axis potential, disk metric, and surface mass density, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 2166 (1994).

35. Vease, por ejemplo, N. Bretón, A. Feinstein y J. Ibáñez, Infinite-dimensional family of colliding wave solutions with variable polarization, *Class. Quantum Grav.* **9**, 2437 (1992).



LA SOCIEDAD MEXICANA DE FISICA, AC

CONVOCA

a los Premios 1997

PREMIO AL DESARROLLO DE LA FISICA EN MEXICO

La finalidad es recompensar el trabajo realizado por una persona o grupo en la fundación y/o desarrollo de instituciones, laboratorios y/o grupos de trabajo en México que actualmente se encuentran consolidados y en los que se lleve a cabo, primordialmente, trabajo de formación de recursos humanos o investigación científica básica o aplicada en el área de la física.

PREMIO A LA INVESTIGACION CIENTIFICA

La finalidad es recompensar la investigación científica básica o aplicada de calidad en el área de la física. El candidato concursará con base en un trabajo o línea de trabajo de originalidad y relevancia indiscutibles en su campo de especialidad. Este deberá ser realizado por él en colaboración con un grupo bajo su dirección. No deberá haber sido objeto de premiación en un concurso internacional anterior al cierre de esta convocatoria. Solamente podrán concursar los socios activos de la SMF.

BASES

1. Las nominaciones podrán hacerlas los socios activos de la SMF u otros miembros de la comunidad científica.
2. Para presentar candidatos a los Premios, los expedientes deberán contener: a) carta de propuesta, b) carta de anuencia para ser propuesto como candidato al Premio, c) curriculum vitae, d) copia y descripción detallada del trabajo que presenta. Opcionalmente se pueden presentar testimonios de colegas expertos en el tema. Ningún material será devuelto.
3. Los miembros de la Mesa Directiva de la SMF no podrán concursar.
4. La Mesa Directiva de la SMF nombrará un jurado compuesto por especialistas de reconocido prestigio. El jurado podrá asesorarse por otros especialistas. En el caso del Premio a la Investigación Científica, los asesores podrán ser residentes en el país o en el extranjero.
5. El fallo del jurado será inapelable y los premios serán indivisibles y podrán declararse desiertos.
6. Los premios se entregarán en una ceremonia durante el XL Congreso Nacional de Física, que se llevará a cabo en Monterrey, Nuevo León, del 27 al 31 de octubre de 1997.
7. Los premios no podrán ser entregados *post mortem*.
8. Los premios consistirán de diploma, medalla y la suma de \$ 15,000.00 (quince mil pesos) cada uno.
9. La fecha límite para presentar candidatos es el viernes 11 de julio de 1997. La documentación completa deberá entregarse personalmente o por mensajero en:

Sociedad Mexicana de Física

Departamento de Física, 2º piso
Facultad de Ciencias, UNAM
Circuito exterior, Coyoacán
04510 México, D.F.
Tel/Fax: 622 4848 y 622 4946

El concreto fibrorreforzado: ¿una alternativa en la construcción?

**Alejandro Manzano Ramírez, Martín Ibarra
Silva y José Castillo Tovar**

Fibras vegetales

El uso de fibras vegetales es muy antiguo: se tiene conocimiento de que la vieja civilización egipcia ya incorporaba estas fibras a sus construcciones. *La Biblia*¹ hace referencia a las fibras vegetales: "de aquí en adelante no dareis paja al pueblo para hacer ladrillo, como ayer y antes de ayer; vayan ellos y recojan por sí mismos la paja y habeis de ponerles la tarea del ladrillo que hacían antes, y no les disminuiréis nada; porque están ociosos, y por eso levantan la voz diciendo: vamos y sacrificaremos a nuestro Dios".

En las últimas tres décadas se han realizado diversas investigaciones para incorporar fibras de refuerzo al mortero y al concreto, dando como resultado diversos materiales utilizados en la industria de la construcción. Las fibras utilizadas han sido muy variadas, desde las metálicas, de vidrio y sintéticas hasta los desechos industriales como las rebabas de hierro. Sin embargo, la dificultad de obtención y fabricación, así como los costos que esto representa, han girado la atención a la utilización de fibras vegetales.

En la actualidad el desarrollo tecnológico ha permitido la creación de nuevos materiales reforzados con distintos productos sintéticos o metálicos con excelentes resultados; por ejemplo, el concreto reforzado con fibras metálicas. No obstante, los problemas de contaminación ambiental originados durante la fabricación y la falta de materia prima elevan considerablemente

El Dr. Alejandro Manzano Ramírez es investigador titular del Laboratorio de Investigación de Materiales del Cinvestav (Querétaro). Los maestros en ciencias Martín Ibarra Silva² y José Castillo Tovar² son profesores-investigadores de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro.



Maguey Espadín (*Agave angustifolia*).

los costos de producción. La alternativa para el desarrollo de estos nuevos materiales se basa entonces en la disponibilidad y el aprovechamiento de los productos locales².

En algunos países del norte, durante la década pasada, se realizaron intensas investigaciones y se desarrollaron trabajos en el campo del concreto reforzado con fibras. Se utilizaron fibras manufacturadas, fibras sintéticas, fibras tratadas. La producción de concreto reforzado con fibras se incrementó sustancialmente en varios aspectos y aplicaciones. Por el contrario, en países tropicales se han utilizado fibras vegetales de coco, bambú, caña de azúcar, jute, sisal, palma, etc., las cuales son relativamente baratas; si fuera posible reemplazar la fibras tradicionales como el asbesto u otras por fibras vegetales con resultados similares, se reducirían entonces los costos en la construcción de viviendas³.

Un material compuesto fibroneforzado para la construcción está formado por una matriz cementicia y por una fase reforzante constituida por fibras de origen natural o sintético. Aunque los materiales cementicios, morteros y concretos, presentan ventajas en cuanto a su resistencia mecánica y rigidez para uso estructural, también presentan deficiencias por su baja resistencia al impacto y a la tensión, debido principalmente a su alta fragilidad. La adición de fibras mejora una o más propiedades, siendo su principal contribución la ductibilidad y tenacidad, cualidades que se requieren en las edificaciones localizadas en zonas de alto riesgo sísmico. Estas propiedades son determinadas por la naturaleza de las fibras, las propiedades de la matriz, la morfología del sistema, la interacción de la interfase y la tecnología de fabricación⁴.

En algunas áreas de la ingeniería civil se han utilizado de manera amplia las fibras como refuerzo del concreto. Las fibras de refuerzo proveen una mejora en las características mecánicas de los materiales de construcción, generan un nuevo material que muestra una mejor ductibilidad, incrementan los esfuerzos a la tensión y la resistencia a la falla y, como consecuencia, retrasan la deformación y la ruptura. Las fibras de refuerzo pueden ser utilizadas tanto en concreto normal como en concreto reforzado; las fibras utilizadas son de distinta naturaleza: metálicas, sintéticas y vegetales. Sin embargo, hay que considerar que un concreto de buena calidad reforzado con fibras metálicas es demasiado caro comparado con las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras vegetales⁵.



Maguey de mexcal (*Agave cupreata*).

El origen biorgánico de las fibras vegetales hace creer a los escépticos que se degradan en lapsos de tiempo muy breves y dan como resultado la disminución de las propiedades mecánicas del material al cual se incorporan. Esto implica, necesariamente, realizar estudios que permitan comprender el comportamiento de las fibras al interior de la matriz a reforzar, en este caso el concreto.

Concreto fibrorreforzado

Con la expectativa de mejorar las propiedades del concreto, el Laboratorio de Investigación de Materiales del Cinvestav, en cooperación con la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), se dio a la tarea de realizar una serie de investigaciones en el campo de concreto fibrorreforzado (CFR). En primer lugar se caracterizó el fenómeno de biodegradación de las fibras vegetales de refuerzo con el objetivo de identificar los microorganismos responsables de la degradación orgánica; posteriormente se determinaron las propiedades mecánicas del concreto fibrorreforzado (CFR).

Las fibras vegetales utilizadas en esta investigación fueron de dos especies de agaves: *Agave lechuguilla* y *Agave salmiana* (figuras 1a, b y 2a, b, respectivamente), la primera del Estado de Coahuila y la segunda del Estado de Querétaro. Para realizar la identificación de los microorganismos que degradan la fibra se depositó una muestra de ambas fibras en cajas de petri y se cubrieron con un sustrato con un alto contenido de materia orgánica y a humedad constante, con pH de 6 y a una temperatura de 26 °C durante un periodo de 2 semanas. Posteriormente se sembraron muestras de fibra apreciablemente dañada en medio de cultivo Waskman, para después realizar la identificación de los microorganismos por observación directa al microscopio. Los hongos identificados en ambos tipos de fibra fueron: *Deuteromyceto dematiaceo*, *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium* sp., *Aspergillus niger*, *Aspergillus clavatus*, *Fusarium moniliforme* y *Sepedonium chrysospermum*; además, se observó la actividad de bacteria, *Bacillus* sp.



Figura 1a. *Agave lechuguilla*.

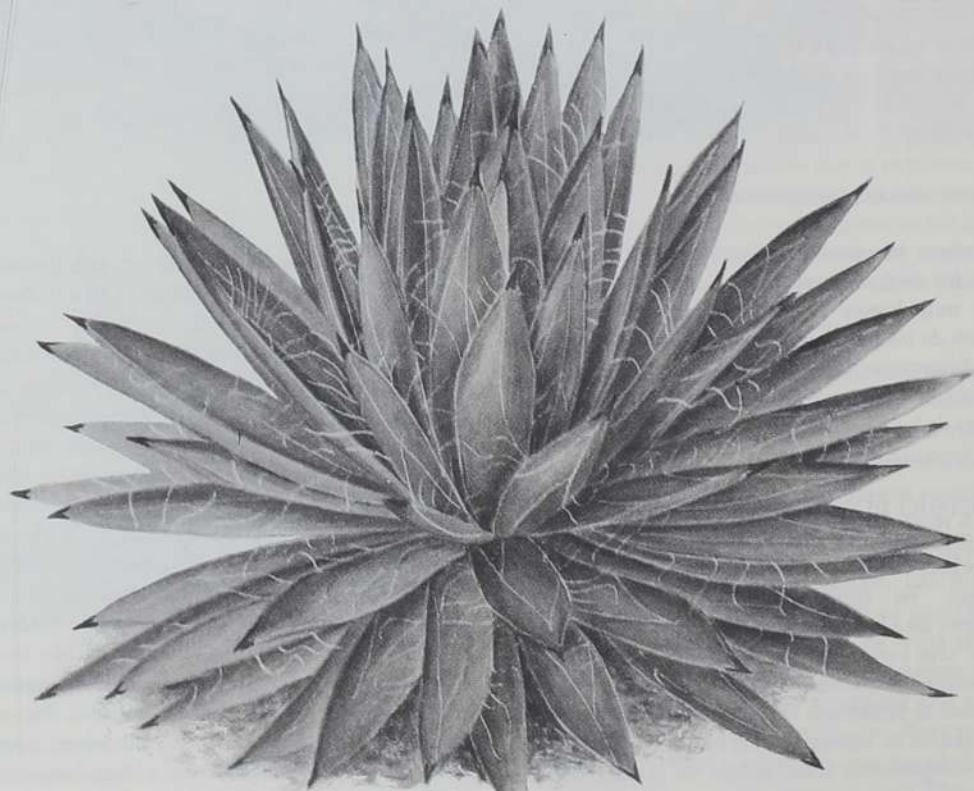
La actividad de estos microorganismos se realiza de manera extrema en las fibras de *Agave salmiana* ya que a las 7 semanas de exposición se encontraba prácticamente desecha, mientras que las fibras de *Agave*



Figura 1b. Fibra de *Agave lechuguilla*.

lechuguilla presentaron una disminución de la fuerza a la ruptura de aproximadamente el 50%.

Para contrarrestar los efectos de la biodegradación,



Lechuguilla mansa (*Agave fillifera*).



Figura. 2a. *Agave salmiana*

las fibras fueron tratadas en una solución de hidróxido de calcio; se hirvieron por un lapso de 10 minutos y se sometieron a las descritas, es decir se depositaron las fibras en cajas de petri y se cubrieron con un sustrato alto en contenido de materia orgánica y a humedad constante con pH de 6 y a una temperatura de 26°C



Figura 2b. Fibra de *Agave salmiana*

por dos semanas; después se sembraron muestras de fibras de *Agave salmiana* apreciablemente dañadas, tal que ni siquiera pudieron ser sembradas en el medio de cultivo Waskman. Por el contrario, las fibras de *Agave lechuguilla* sólo presentaron una disminución de la fuerza a la ruptura del 30% aproximadamente.



Maguey de la piedra y soboll (*Agave mizandensis cutate*).

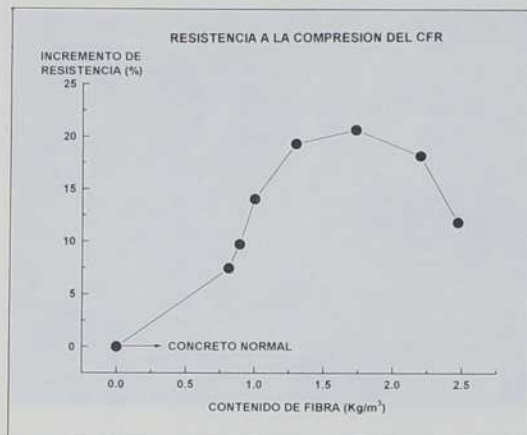


Figura 3. Resistencia a la compresión del CFR en función del contenido de fibra.

Para simular el ambiente de trabajo, ambas fibras se depositaron en una solución de agua-cemento y se probaron a tensión a los 28 días aplicando una fuerza tensionante en un intervalo de 0 - 25 Kg a una velocidad de 2 mm/s en un *Texture Analyser* modelo TA-XT2 para determinar la disminución de la resistencia. Los resultados mostraron un excelente comportamiento de las fibras de *Agave lechuguilla*, mientras las fibras de *Agave salmiana* volvieron a presentar una disminución de la resistencia en alrededor de 40%, lo que indica un proceso de degradación distinto al biológico, debido principalmente al medio altamente alcalino donde se encuentran ($\text{pH}=12$).

Con base en las observaciones anteriores, se decidió utilizar las fibras de *Agave lechuguilla* como refuerzo del concreto hidráulico; se utilizó una resistencia de diseño de 250 Kg/cm^2 y cantidades variables de fibras cortas de lechuguilla con una longitud de 5 cm; esta cantidad se modificó desde 0.8 hasta 2.4 Kg/m^3 . Los resultados obtenidos según las normas NOM-C-83-1988⁶ y NOM-C-191-1986⁷ para pruebas de compresión y flexión, respectivamente (figuras 3 y 4), muestran incrementos de la resistencia a la compresión y flexión de hasta el 25% sobre los especímenes de concreto sin fibra.

Como se puede observar, con estos contenidos de fibra (0.1 % en volumen), sólo se logra un pequeño incremento de la resistencia a la compresión y flexión, la cual también es posible lograr con un pequeño

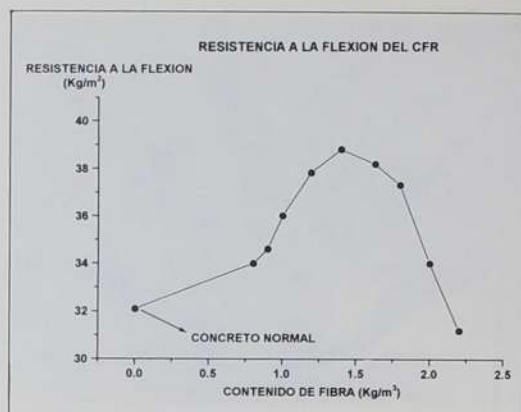


Figura 4. Resistencia a la flexión del CFR en función del contenido de fibra.

aumento de la cantidad de cemento. Sin embargo, la real aportación de las fibras vegetales al concreto es la modificación de su comportamiento haciéndolo más dúctil, con mayor resistencia al impacto y presentando resistencias residuales aún después de haber fallado.

La utilización de las fibras vegetales no se reduce únicamente al concreto. Ahora los esfuerzos del Laboratorio de Investigación en Materiales en cooperación con la Universidad Autónoma de Querétaro, se orientan al reforzamiento de matrices de mortero y arcilla con la finalidad de proponer nuevos materiales en la industria de la construcción, y sobre todo, buscando usos alternativos de las fibras de *Agave lechuguilla* que en las décadas anteriores constituyeron todo un sistema socioeconómico.



Notas

1. *Exodo* 4, capítulo 5 versículos 7 y 8 del *Antiguo Testamento*.
2. M.E. Canovas, G.M. Kawiche y N.H. Selva, "Possible ways of preventing deterioration of vegetable fibres in cement mortars", Univ. Politécnica de Madrid (1990).
3. M.W. Hussin y F. Zakaria, "Prospects for coconut fibre-reinforced thin cement sheets in the Malaysian construction industry", Faculty of Civil Engineering, Technological University, Johor, Malaysia (1990).

4. S. Delvasto, R. De Gutiérrez, M. López y F. Perdomo, "Programa de investigación del uso de la fibra de fique en la producción de elementos de construcción", Departamento de Materiales de Ingeniería, Univ. del Valle, Cali, Colombia (1996). Memorias de la primera reunión de miembros del proyecto de precompetitividad VIII.5 del CYTED. Querétaro, (1996).
5. A. La Tegola y L. Ombres, "Limit state of crack widths in concrete structural elements reinforced with vegetable fibres", Department of Structures, University of Calabria, Cosenza, Italia (1990).
6. M. Arroyo y L. Ibarra, "Fibras orgánicas cortas como refuerzo de matrices poliméricas", Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC (México, 1994).
7. *Normas oficiales mexicanas: Determinación de la resistencia a la compresión* (NOM-C-83-1988, México, 1988).
8. *Normas oficiales mexicanas: Determinación de la resistencia a la flexión* (NOM-C-191-1986, México, 1986).



Rabo de León (*Agave attenuata*)



El Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV-IPN, invita a la comunidad científica y a los profesionales de la Ingeniería a participar en la

TERCERA CONFERENCIA DE INGENIERIA ELECTRICA

los días 17, 18 y 19 de septiembre de 1997 en la sede Zacatenco del CINVESTAV-IPN.

Objetivo

Dar a conocer el Estado del Arte en la Ingeniería Eléctrica y promover el vínculo entre los Sectores Académico y Productivo.

Se aceptarán ponencias en las siguientes áreas:

Ciencias Computacionales
Control Automático

Comunicaciones
Sistemas de Poder

Estado Sólido
Bioelectrónica

Convocatoria para comunicaciones cortas

Con la presente convocatoria se hace un llamado a la presentación de "Comunicaciones Cortas". Los interesados han de enviar un resumen extendido de la conferencia propuesta en a lo sumo 2 cuartillas. Las propuestas serán evaluadas por el Comité de Programa de la CIE-97, las aceptadas se presentarán durante la Conferencia y sus versiones en extenso serán publicadas en las Memorias CIE-97.

Además de las ponencias libres habrá ponencias de invitados nacionales y extranjeros. Los interesados deberán enviar un resumen del trabajo a presentar, con extensión de dos cuartillas, que incluya palabras claves, nombres de los autores, institución de procedencia, domicilio, fax y correo electrónico (Subrayar el nombre del autor para correspondencia).

Fecha límite para recepción de resúmenes: **2 de junio de 1997.**

El Comité de Programa premiará los mejores trabajos presentados por estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado.

Comité Organizador

Presidente: Dr. Guillermo Morales Luna
Programa: Dr. Juan Carlos Martínez, Dr. Valeri Kontorovich
Concurso: Dr. José Madrid, Dra. Magali Estrada, Dra. Ana Ma. Martínez
Organización: Dr. Pablo Rogelio Hernández, Dr. Arturo Escobosa

Fechas de importancia:

Recepción de resúmenes
Notificación de aceptaciones
Entrega de ponencias en extenso
CIE-97

2 de junio
30 de junio
1 de agosto
17-19 de septiembre



INFORMES

Dr. Guillermo Morales-Luna o Sra. María del Carmen Quintero
Departamento de Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN
Tel: 747 70 00 Ext. 3018, Fax: 747 70 02
"e-mail": cie97@mvax1.red.cinvestav.mx
"URL": <http://www.cinvestav.mx/webelect>

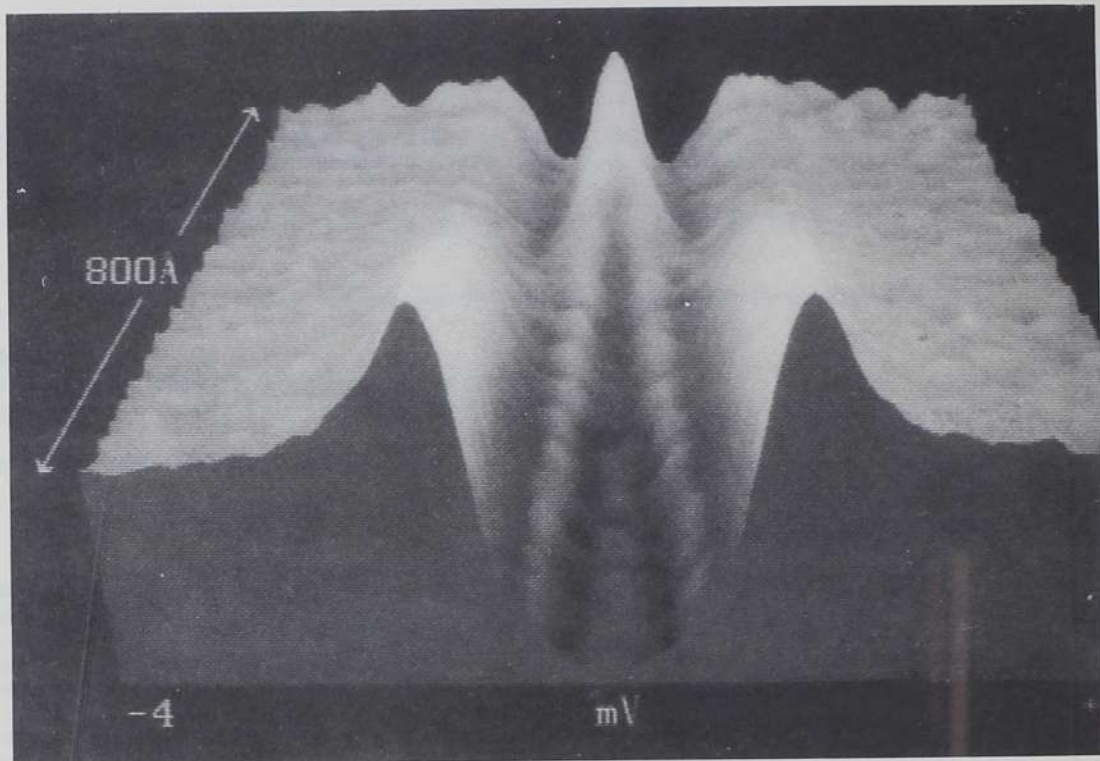
Pozos, hilos y puntos cuánticos: estructuras semiconductoras de baja dimensión

**Máximo López López y
Miguel A. Meléndez Lira**

Los doctores Máximo López López y Miguel A. Meléndez Lira son investigadores titulares de la Sección de Física del Estado Sólido del Departamento de Física del Cinvestav.

Quizás al empezar a leer estas líneas el lector se encuentre escuchando la reproducción de su música favorita almacenada en un disco compacto, acabe de recibir una llamada telefónica o un *fax*, esté esperando que termine la impresión de un texto en su impresora láser, o quizás ya se aburrió de explorar *internet* y el título de esta contribución le ha parecido atractivo como para empezar a leerlo.

Podríamos decir que términos como disco compacto, *fax* e *internet* son relativamente recientes, que los aparatos/sistemas de información que describen han crecido en sofisticación en la presente era de las comunicaciones, y contribuyen de manera decisiva a la tan llevada y traída globalización mundial. Sin embargo, nos podemos preguntar ¿cuáles son los factores científicos y tecnológicos que han hecho posible el desarrollo de estos aparatos y sistemas de información? Podemos decir que hay dos factores muy importantes; uno es la posibilidad de procesar información en forma cada vez más rápida, el otro lo constituye la capacidad alcanzada para emplear la luz como elemento clave en la transmisión y/o almacenamiento de información. A pesar de que casi todos nos quejamos de la lentitud de nuestras computadoras, lo cierto es que en la actualidad la velocidad de procesamiento de la información es impresionante; este nivel ha sido alcanzado gracias al desarrollo de dispositivos electrónicos muy elaborados como los transistores de alta movilidad. Por otra parte, es fácil aceptar que sin la transmisión de información a través de fibra óptica la comunicación tele-



fónica no existiría en la forma actual y probablemente *internet* sería inimaginable. El almacenamiento de información por medios ópticos y su empleo en forma masiva ha sido posible, entre otros factores, gracias a la producción de dispositivos emisores de luz de gran eficiencia y bajo costo. Así pues, los transistores de alta movilidad, el diodo emisor de luz y los láseres de semiconductor constituyen algunos de los dispositivos fundamentales en el desarrollo de los aparatos y sistemas de información mencionados, y han dado lugar a la creación de una rama de la tecnología conocida como opto-electrónica. Asimismo, constituyen un factor fundamental en la investigación y el posible desarrollo de uno de los sueños de la tecnología: la computación óptica.

Es claro que una persona no especializada en el tema no tiene porqué conocer la física involucrada en estos dispositivos, le sería difícil imaginar que los aparatos tan comunes en la vida diaria como un reproductor de discos compactos hace uso de fenómenos cuánticos. Esto último puede ser visto como un indicador del grado de madurez que ha alcanzado la física

cuántica y pone de manifiesto que para alcanzar un desarrollo tecnológico es necesario, en la mayoría de los casos, tener un conocimiento sólido de los fenómenos físicos que se presentan en el sistema de interés.

En los últimos años los efectos de confinamiento cuántico en materiales semiconductores han atraído ampliamente el interés en la comunidad científica y tecnológica. Desde el punto de vista básico, los nuevos fenómenos físicos que surgen con estos efectos son apasionantes y han dado lugar al área de la física de sistemas de baja dimensionalidad. Desde el punto de vista aplicado, la necesidad de buscar dispositivos ópticos y electrónicos más confiables, con características superiores y con nuevas propiedades, motiva el desarrollo e investigación de dispositivos que involucren sistemas confinados cuánticamente. Algunos de estos dispositivos son ya una realidad: diodos láser con pozos cuánticos que son usados en los sistemas de discos compactos y en líneas de transmisión por fibra óptica, y dispositivos de alta velocidad y alta frecuencia como los transistores de alta movilidad.

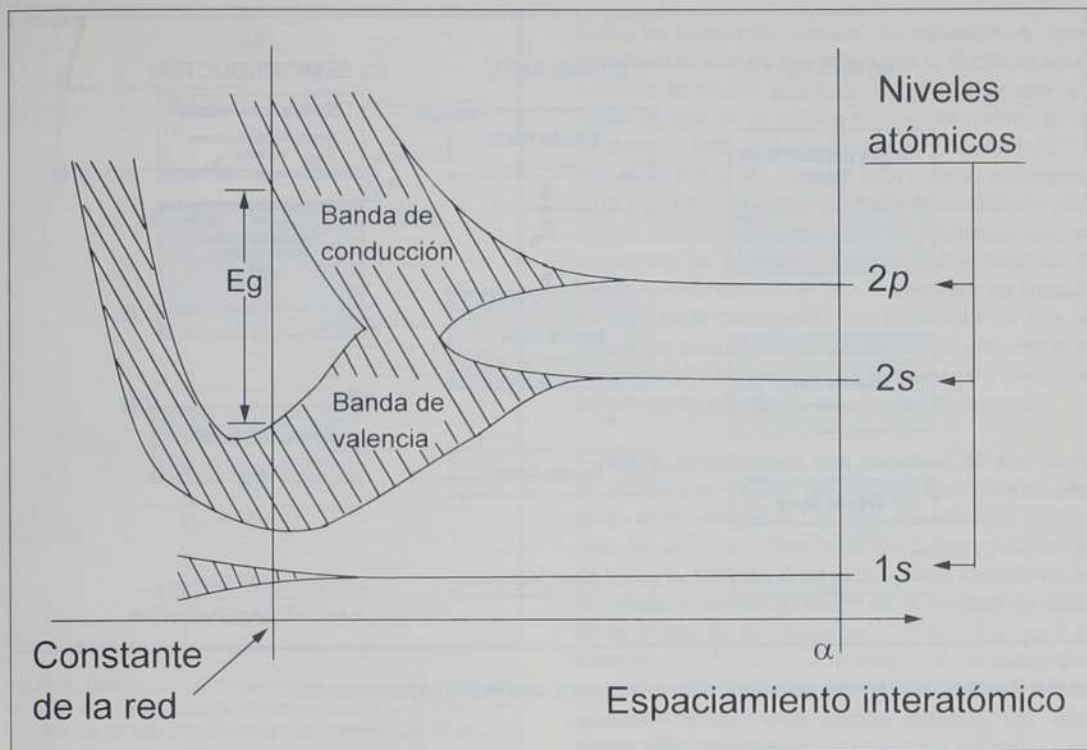


Figura 1. Representación esquemática de la formación de las bandas de energía en un material cristalino a partir de los niveles atómicos de los átomos aislados.

En este artículo presentaremos el estado del arte en la fabricación de estructuras cuánticas semiconductoras de baja dimensión, y de manera breve algunos aspectos de importancia relacionados con el papel que juegan estas estructuras en la ciencia básica y en la aplicada. Primero daremos una explicación sencilla de los metales, aislantes y semiconductores, y de cómo las propiedades electrónicas de estos últimos son óptimas para lograr confinamiento cuántico.

Describiremos también el pozo cuántico, que es la más sencilla de las estructuras cuánticas semiconductoras, para luego pasar a los hilos y puntos cuánticos. Es conveniente señalar que también es posible obtener confinamiento cuántico en otros materiales; sin embargo, en el presente artículo nos limitaremos a los semiconductores, y en particular a los compuestos y aleaciones semiconductoras formadas con elementos III y V de la tabla periódica, que juegan un papel relevante en la fabricación de dispositivos ópticos y electrónicos.

Metales, aislantes y semiconductores¹

En un material cristalino existen bandas de energía donde los electrones pueden moverse "libremente". En términos sencillos podemos pensar que estas bandas son el resultado de la superposición de los niveles atómicos de los átomos que constituyen el cristal. Cuando los átomos individuales se acercan para formar el material y se colocan periódicamente en una red cristalina, sus niveles atómicos interactúan y dan lugar a bandas de energía como se muestra esquemáticamente en la Fig. 1. Los electrones del material se van acomodando en estas bandas llenando primero las bandas de menor energía. En un material metálico los electrones no terminan de llenar completamente la última banda (Fig. 2(a)). Es por esto que los metales son buenos conductores eléctricos ya que los electrones pueden moverse fácilmente con poca energía extra ocupando los estados vacíos en la misma banda. En un material aislante los electrones llenan comple-

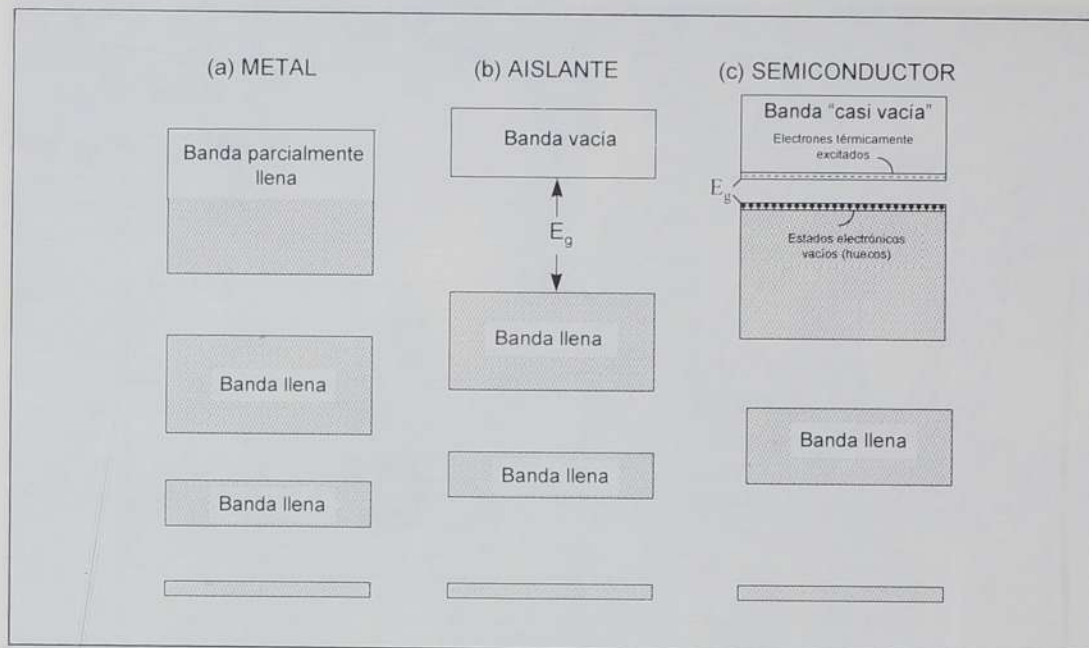


Figura 2. Diagrama de las bandas de energía de (a) un metal, (b) un aislante y (c) un semiconductor.

tamente un número de bandas de energía (Fig. 2(b)). A la última banda llena se le denomina banda de valencia y a la siguiente banda de conducción, a la diferencia en energía entre el máximo de la banda de valencia y el mínimo de la banda de conducción se le llama "brecha prohibida" y la denominaremos E_g (del inglés *band gap*). Así, para que haya conducción en un material aislante los electrones tienen que "saltar" a la banda de conducción y requieren E_g como mínimo de energía, que típicamente es del orden de unos cuantos electrón-volts (eV). A diferencia de un material aislante, un material semiconductor tiene una brecha prohibida pequeña de alrededor de 1eV (Fig. 2(c)), de tal manera que los electrones pueden saltar a la banda de conducción con la energía térmica que pueden recibir de sus alrededores. Al saltar un electrón a la banda de conducción, deja un estado vacío en la banda de valencia que se le denomina "huevo". Los huecos pueden tratarse como partículas con carga igual a la de los electrones, pero positiva. Es así que en un semiconductor puede haber corriente de electrones en la banda de conducción y corriente de huecos en la banda de valencia. Dependiendo de las propiedades características de los semiconductores es posible que al aplicarles

energía mayor que la de la brecha prohibida, mediante radiación electromagnética por ejemplo, se creen pares electrón-huevo. Al tratar de regresar a su posición original, en la banda de valencia, un electrón que fue promovido a la banda de conducción entrega el exceso de energía que posee en forma de luz. Este proceso se presenta en todos los semiconductores, pero es más eficiente en los conocidos como semiconductores de brecha prohibida directa.

La posibilidad de cambiar la brecha prohibida de los semiconductores, por medio de la variación de las composiciones químicas de compuestos y aleaciones, ha tenido un impacto impresionante en el desarrollo científico y tecnológico de estos materiales. En forma muy simple podemos pensar que el efecto de variar el ancho de la banda prohibida induce un cambio en el color de la luz que se producirá cuando los pares electrón-huevo se recombinen. Tomemos por ejemplo el caso de la aleación de arsenuro de galio-aluminio que denotaremos como $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. La variación controlada del contenido de aluminio x nos permite cambiar la brecha prohibida desde 1.4 eV para $x=0$, hasta 2.1 eV para $x=1$, energías que corresponden desde el cer-

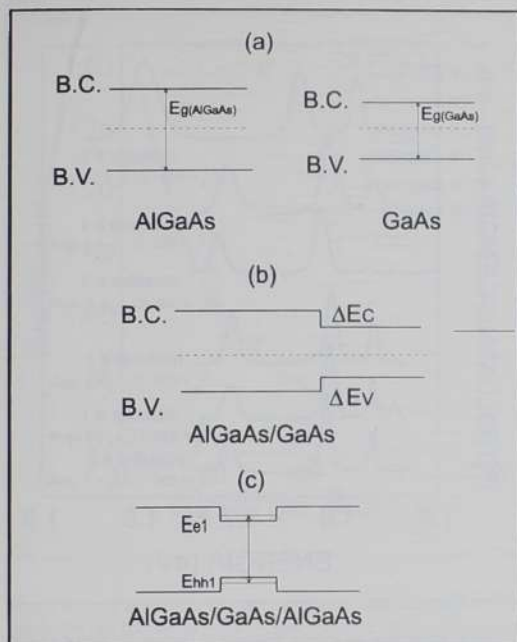


Figura 3. Descripción de la alineación de las bandas de conducción (B.C.) y las bandas de valencia (B.V.) cuando se forma la unión de AlGaAs con GaAs (a y b), y formación de un pozo cuántico (c).

cano infrarrojo hasta el rojo visible en el espectro electromagnético. En la actualidad existen varios métodos que permiten preparar monocristales de aleaciones semiconductoras de muy alta calidad cristalina: epitaxia en fase líquida (LPE, del inglés *Liquid Phase Epitaxy*), depósito químico de vapores metalorgánicos (MOCVD, del inglés *Metal Organic Chemical Vapor Deposition*), epitaxia por haces moleculares (MBE, del inglés *Molecular Beam Epitaxy*) y otros².

Pozos cuánticos

Como ejemplo concreto, explicaremos el pozo cuántico formado con aleaciones de arsenuro de galio-aluminio y el compuesto arsenuro de galio ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$) que es uno de los más estudiados. Primero consideremos una estructura de dos capas, la primera capa de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ y la segunda de GaAs (Fig. 3(a)). Cuando se une la aleación de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ con el compuesto de GaAs, debido a que la brecha prohibida en el $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ es más grande que en el

GaAs, las bandas de valencia y conducción de estos materiales se alinean de manera que la diferencia en el valor de la brecha prohibida (ΔE_g) se acomoda en forma tal que en la interfaz entre estos materiales se produce un salto en la banda de conducción (ΔE_C) y otro en la banda de valencia (ΔE_V), como se muestra en la Fig. 3(b). El salto en la banda de conducción ΔE_C es una barrera energética para los electrones que se encuentran en el GaAs, mientras que el salto en la banda de valencia ΔE_V es una barrera para los huecos. Es importante hacer notar que la manera en que se alinean las bandas de dos materiales con diferente brecha prohibida depende de muchos factores y encontrar los valores de ΔE_C y ΔE_V no es un problema fácil.

Ahora consideremos una estructura de tres capas de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ - GaAs (de espesor L_z) - $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, como se muestra en la Fig. 3(c). En este caso tendremos dos saltos en la banda de conducción y dos en la de valencia. Cuando el espesor L_z de la capa de GaAs se reduce a valores del orden de la longitud de onda de de Broglie de los electrones ($\lambda = h/p \sim L_z$, con h la constante de Planck y p el momento), éstos comienzan a sentir los efectos de las dos barreras, es aquí donde aparecen los efectos de tamaño cuántico. Los electrones serán confinados en el pozo de la banda de conducción formado por los dos saltos de valor ΔE_C , mientras que los huecos se sentirán confinados en el pozo de la banda de valencia entre barreras de magnitud ΔE_V . En otras palabras, los portadores perderán la libertad de moverse en tres dimensiones, quedando "libres" ahora sólo en dos dimensiones (el plano de la capa de GaAs). Para pozos de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$, los efectos de confinamiento cuántico se comienzan a observar cuando $L_z \sim 100 \text{ \AA}$.

El problema de una partícula confinada en un pozo cuadrado de energía fue desde los inicios de la mecánica cuántica uno de los sistemas más simples y como tal ha sido ampliamente estudiado. Su solución aparece en la mayoría de los libros de texto de mecánica cuántica. La solución a este problema permite obtener los valores de los nuevos niveles de energía discretos que la partícula puede tener dentro del pozo debido a su confinamiento. Nótese que cuando la partícula no está confinada (partícula libre) puede tener cualquier valor de energía. En el caso del pozo de $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ que estamos tratando, aparecen niveles de energía discretos tanto para los electrones en

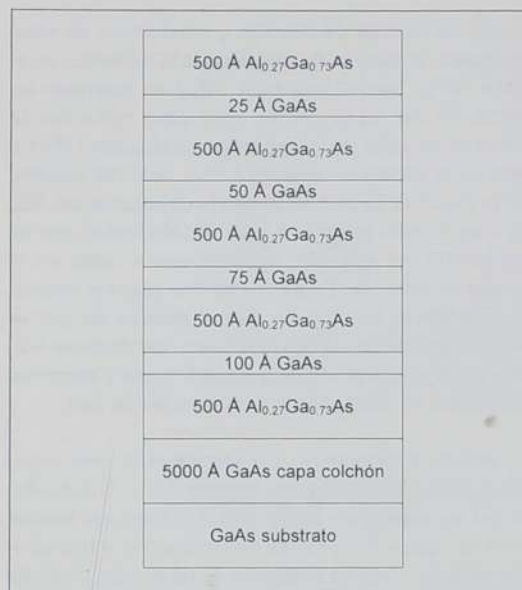


Figura 4. Representación esquemática de una estructura que contiene cuatro pozos de GaAs de diferente espesor (25, 50, 75 y 100 Å) entre barreras de $\text{Al}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{As}$.

la banda de conducción como para los huecos en la banda de valencia³.

Una de las mayores dificultades en la fabricación de pozos cuánticos, dando por sentado que la calidad cristalina de las capas está garantizada, es la producción de interfaces $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ bien definidas que determinarán en gran medida la eficiencia de la estructura. Algunos de los problemas asociados con las interfaces son la presencia de vacancias, fronteras de antifase, desacople de la red, campos eléctricos, etc. Existe una serie de técnicas tanto ópticas como eléctricas que nos permiten determinar la calidad de un pozo cuántico. Una de las técnicas más usadas en la caracterización de pozos cuánticos es la fotoluminiscencia. En esta técnica la muestra es excitada con radiación electromagnética de energía $h\nu'$, esta excitación produce pares electrón-hueco; los electrones son confinados en el pozo de la banda de conducción mientras que los huecos en el pozo de la banda de valencia. Cuando uno de estos electrones se recombina con uno de los huecos (el electrón "cae" a alguno de los niveles discretos del pozo de la banda de valencia), emite un fotón con energía $h\nu'$ que tiene información de los niveles de energía del electrón y del hueco. En la

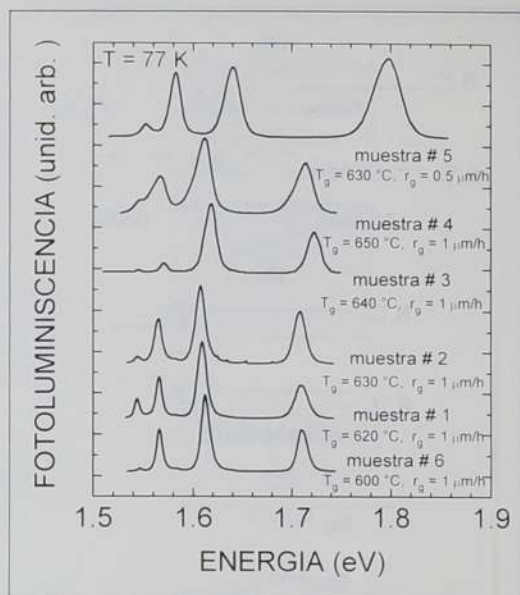


Figura 5. Espectros de fotoluminiscencia de seis muestras con la estructura de la figura 4 preparadas empleando diferentes parámetros de crecimiento.

espectroscopía de fotoluminiscencia se mide la intensidad de la luz, fotones de energía $h\nu'$, emitida por el pozo cuántico bajo una excitación de energía $h\nu$ constante.

En seguida describiremos un ejemplo del estudio de pozos cuánticos por medio de espectroscopía de fotoluminiscencia⁴. La Fig. 4 muestra la estructura bajo estudio, que consiste de cuatro pozos cuánticos de espesores de 25, 50, 75 y 100 Å. Para estudiar como afectan a la calidad de los pozos cuánticos los parámetros de crecimiento, tales como la temperatura (T_g) y la velocidad de crecimiento (r_g), se prepararon por la técnica de MBE diferentes muestras con esta estructura usando diferentes parámetros T_g y r_g . La Fig. 5 muestra los espectros de fotoluminiscencia de las diferentes muestras. En todos los espectros se observan cuatro picos, relacionados con la luminiscencia de los cuatro pozos cuánticos. Podemos hacer una asignación cualitativa de los picos considerando la relación de incertidumbre de Heisenberg, $\Delta p \Delta z > \hbar$ donde $p^2 = 2mE$. Así, si consideramos $\Delta z = L_z$ se obtiene inmediatamente que la energía del nivel confinado tiene una dependencia con el ancho del pozo como $1/L_z^2$. Es decir, debemos observar un corrimiento hacia altas energías cuando el ancho del pozo disminuye. Así

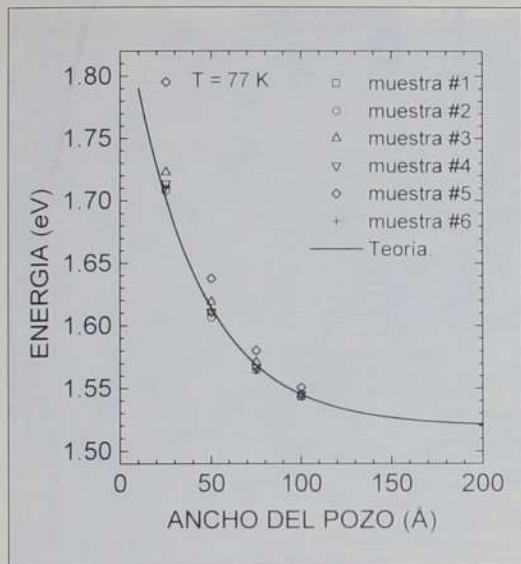


Figura 6. La línea sólida muestra el cálculo de la energía de la transición del primer nivel de los electrones al primer nivel de los huecos en función del ancho del pozo. Los símbolos representan las energías de los picos de fotoluminiscencia obtenidas de los espectros de la figura 5.

pues, en cada espectro de la Fig. 5 el pico localizado a más bajas energías corresponde al pozo de 100 Å, mientras que los demás picos en orden ascendente de energía corresponden a los pozos de 75, 50 y 25 Å.

Uno puede obtener en forma cuantitativa la energía de la luminiscencia ($h\nu'$) asociada con cada pozo resolviendo las expresiones teóricas que describen los niveles de los electrones y huecos confinados en pozos de ancho L_z entre barreras de altura ΔE_C y ΔE_V , respectivamente. De esta manera se obtuvo la línea continua mostrada en la Fig. 6, que representa el cálculo de la energía de la transición del primer nivel de los electrones al primer nivel de huecos, en función del ancho del pozo. En la Fig. 6 también se muestran las energías de los picos de fotoluminiscencia obtenidas de los espectros de la Fig. 5. En términos generales, podemos decir que en la Fig. 6 el valor experimental se acerca bastante bien al valor calculado. En principio, para todas las muestras deberíamos obtener la misma posición de los cuatro picos, pues los anchos nominales de los pozos fueron los mismos. Sin embargo, los diferentes parámetros T_d y r_d usados causan desviaciones en el ancho real del pozo dando lugar a corrimien-

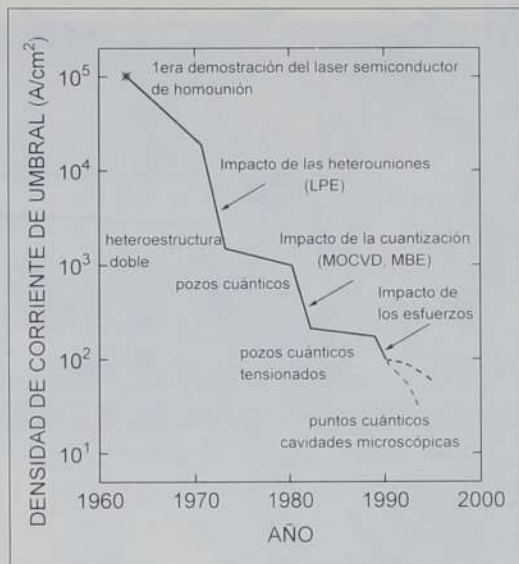
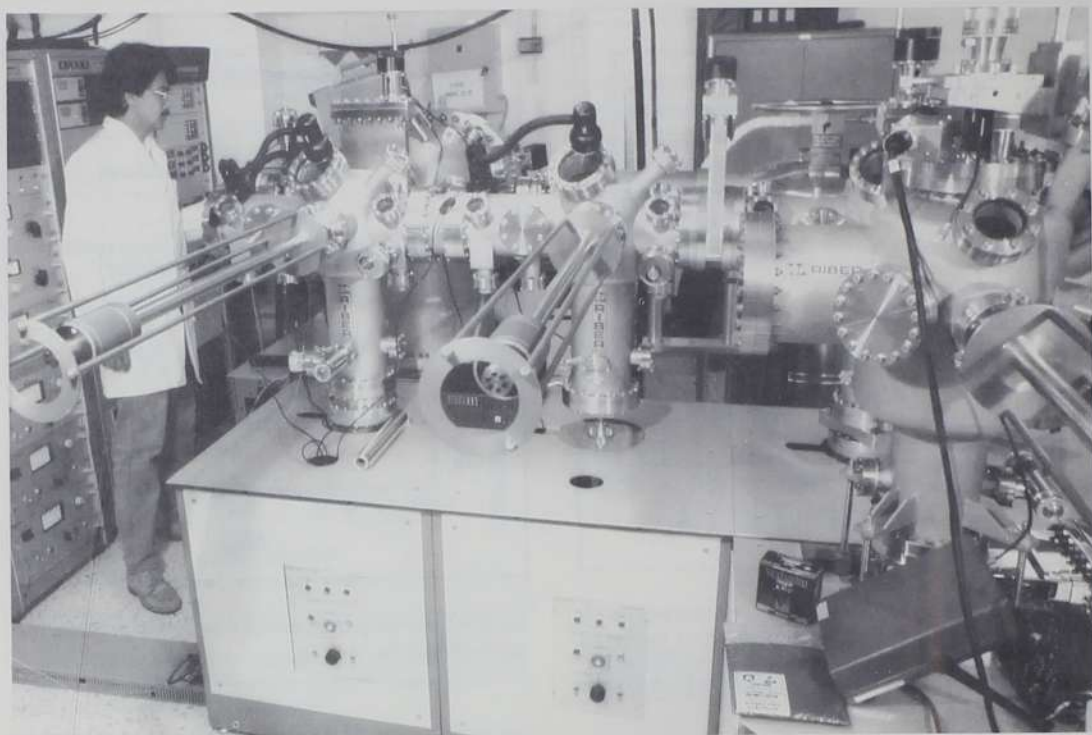


Figura 7. Disminución de la corriente de umbral de diodos láser en los últimos años.

tos en los picos de fotoluminiscencia. Las diferencias observadas en estos espectros proporcionan una idea del grado de control necesario durante el crecimiento de las estructuras para lograr reproducibilidad en los dispositivos opto-electrónicos.

Sin entrar en detalles, está aceptado que un pozo cuántico de buena calidad debe tener un pico de luminiscencia alto y angosto (típicamente de unos 5 meV). Como se muestra en la Fig. 5, la muestra 6 es la que presenta los picos más angostos, y en consecuencia es la de mejor calidad. También es importante señalar que los picos de fotoluminiscencia de esta muestra son los que mejor coinciden con el cálculo teórico.

En la actualidad se fabrican rutinariamente pozos cuánticos de muy alta calidad de manera masiva por las técnicas de MOCVD y MBE para la producción de dispositivos, tales como diodos láser. En la Fig. 7 se muestra el impacto del uso de pozos cuánticos en la corriente de umbral de diodos láser⁵, que es la corriente necesaria para obtener el efecto láser. Como se puede ver en esta figura el uso de pozos cuánticos redujo en más de un orden de magnitud el valor de la



corriente de umbral, con la consecuente disminución en el consumo de energía y fallas asociadas con fenómenos disipativos. Es precisamente la demanda de dispositivos que consuman menos energía uno de los factores que impulsa la investigación en sistemas con mayor confinamiento cuántico, como los hilos y los puntos cuánticos. En la Fig. 7 también se muestran las expectativas, basadas en cálculos teóricos, de menor corriente de umbral para dispositivos fabricados con estas estructuras cuánticas, las cuales describiremos en la siguiente sección.

Hilos y puntos cuánticos

Habíamos dicho que en un pozo cuántico los portadores se pueden mover libremente en dos dimensiones y están confinados en una dirección. El aumento en las direcciones de confinamiento da lugar a los llamados hilos y puntos cuánticos que son las estructuras en las que los portadores son confinados en dos y tres direcciones, respectivamente. Es decir, el grado de libertad de movimiento de los portadores disminuye a

una dimensión en un hilo cuántico y a cero dimensiones en un punto cuántico, es por esto que a estas estructuras se les da el nombre de estructuras de baja dimensión.

Los nuevos fenómenos que surgen con el mayor confinamiento de los portadores y que tienen gran potencial de aplicaciones tecnológicas son los que han atraído la atención hacia estas estructuras. Uno de los fenómenos esperados es un corrimiento hacia el azul (del inglés *blue shift*) en la luz emitida por las estructuras de baja dimensión, que se puede entender sencillamente a partir del principio de incertidumbre de Heisenberg, como ya se hizo para el pozo cuántico. Otras predicciones teóricas son: una movilidad mucho mayor de los portadores en transistores basados en hilos cuánticos⁶, mayor estabilidad térmica de láseres con hilos o puntos cuánticos⁷, etcétera⁸⁻¹⁰.

El confinamiento cuántico en una dirección (sistema de dos dimensiones) se obtiene fácilmente con las técnicas de crecimiento de MOCVD y MBE. Basta con cambiar del crecimiento de AlGaAs a GaAs y pos-



teriormente regresar al crecimiento de AlGaAs; con estas técnicas estos cambios se pueden hacer en fracciones de segundo y producen la modulación de las bandas en una dirección: la del crecimiento. Sin embargo, no es fácil lograr la modulación de las bandas en direcciones perpendiculares a las de crecimiento para aumentar el grado de confinamiento y la fabricación de hilos y puntos cuánticos.

Uno de los primeros intentos que se hicieron para obtener el confinamiento en dos direcciones (hilo cuántico), fue tomar un pozo cuántico, sacarlo del sistema de crecimiento y "cortarlo" en tiras en forma de "mesa". Este procesamiento involucra pasos de litografía y ataques químicos que pueden dañar la calidad del pozo. Más aún, las paredes de la mesa expuestas al aire se degradan fácilmente siendo una fuente de defectos donde los portadores se recombinan sin emitir luz, los cuales son llamados centros de recombinación no radiativa. Los efectos de las paredes de la mesa se vuelven predominantes cuando el ancho de la mesa disminuye. Esto se puede ver en la Fig. 8 (triángulos), donde se gráfica la intensidad de la luz emitida en función del ancho de la tira. Se puede ver que para an-

chos de alrededor de $100 \text{ \AA}$, necesarios para observar efectos cuánticos en una dimensión (hilo cuántico), la intensidad de la luz disminuye drásticamente. Para tratar de solucionar este problema se intentó "cubrir" las paredes de la mesa introduciendo la muestra nuevamente al sistema de crecimiento para depositar un material de brecha prohibida más grande, por ejemplo AlGaAs. El procedimiento anterior es conocido como recrecimiento. Como se puede observar en la Fig. 8 (círculos sólidos), la intensidad de la luz se incrementa con el recrecimiento, pero la fuerte disminución de la intensidad cuando decrece el ancho de la tira aún está presente. Las causas de esta tendencia se deben a que una vez expuestas las paredes al aire es muy difícil remover los contaminantes que se les adhieren durante el procesamiento, y éstos quedan presentes en la interfaz con el material recrecido generando centros de recombinación no radiativa.

Una de las técnicas más prometedoras en la fabricación de estructuras de baja dimensión es el procesamiento *in situ*, donde todos los pasos, crecimiento, litografiado, ataque, y recrecimiento son realizados en ultra alto vacío, sin necesidad de exponer la muestra al

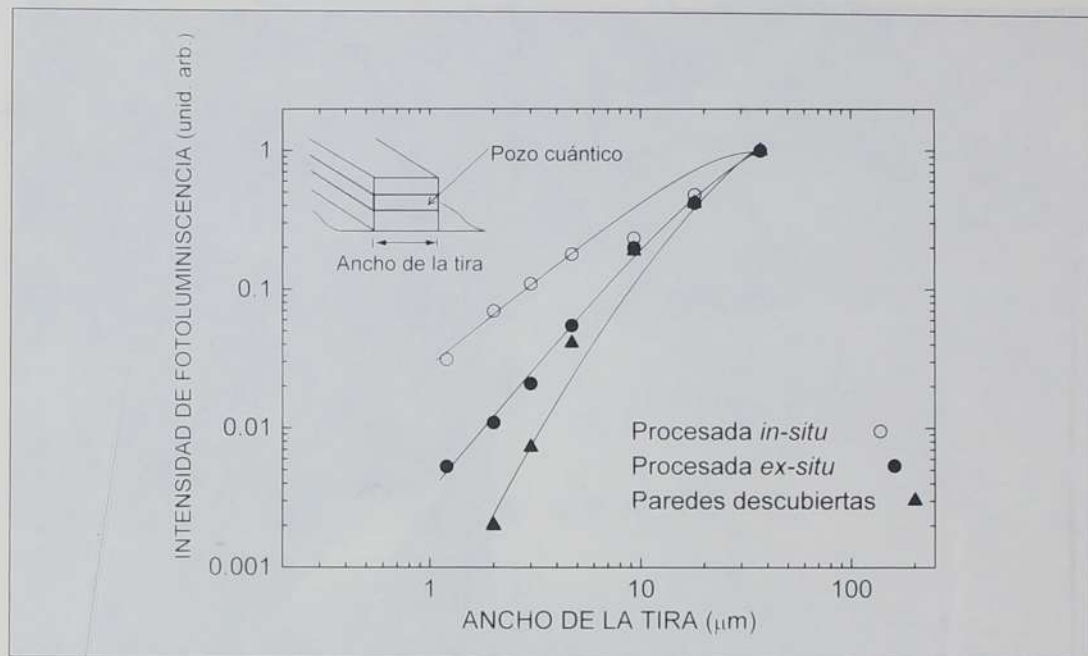


Figura 8. Intensidad de fotoluminiscencia de pozos cuánticos procesados en forma de tira.

aire. En la Fig. 8 (círculos abiertos) se muestra la gran mejoría en la intensidad de la luz obtenida con esta técnica¹¹. Se espera que al mejorar el sistema de procesamiento *in situ*, la disminución de la intensidad de la luz con el ancho de la mesa será mucho menor.

Otra aproximación para la fabricación de hilos cuánticos es el uso de técnicas de crecimiento complicadas que permitan obtener la modulación lateral de las bandas durante el crecimiento, sin necesidad de procesar la muestra ni de exponerla al aire. Una de ellas es el uso de sustratos que presentan escalones en la superficie, como se muestra en la Fig. 9. La idea es depositar media monocapa de GaAs de tal manera que los átomos se acomoden en las orillas de los escalones y cubran la mitad de la terraza entre escalón y escalón. En el siguiente paso se deposita media monocapa de AlAs de tal manera que cubra la otra mitad restante de la terraza. Al repetir este ciclo varias veces obtendremos tiras de GaAs entre tiras de AlAs, como se muestra en la Fig. 9. Las tiras de AlAs servirán como barreras que producen el confinamiento lateral de los portadores en las tiras de GaAs. A pesar de que hay autores que proclaman haber obtenido hilos cuánticos

con esta técnica¹², lo cierto es que es sumamente difícil el control de la dinámica del crecimiento para lograr el depósito de los átomos tanto de Ga y Al en el lugar adecuado. Más aún, el problema grave de esta técnica es el control de la geometría de los escalones para tratar de hacerlos lo más rectos posible.

El uso de técnicas de crecimiento especiales también se ha empleado para intentar la fabricación de puntos cuánticos. Recientemente, los llamados puntos cuánticos autoensamblados han tenido un gran auge¹³. En esta técnica se usa un sustrato con parámetro de red diferente al de la película por crecer. Las tensiones generadas en la película por la diferencia en el parámetro de red, más la particular dinámica de crecimiento, hacen que la película se deposite de manera no uniforme sobre el sustrato, y debido a lo anterior se produce de manera natural un crecimiento en forma de pequeñas islas (Fig. 10). Son estas islas las que se pretenden usar como puntos cuánticos donde los portadores serán confinados en las tres dimensiones si el tamaño de las islas es el adecuado. El problema más grave con esta técnica es precisamente controlar el tamaño de las islas. Por lo general se tiene una dis-

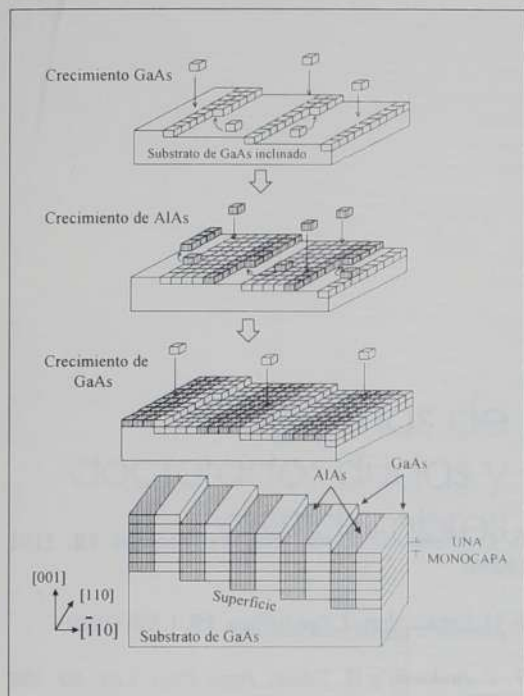


Figura 9. Esquema de la fabricación de hilos cuánticos sobre sustratos con escalones.

tribución bastante amplia de tamaños de islas, cada uno de estos puntos cuánticos emitirá luz de energía que depende de sus dimensiones. Por ello la luz observada en un arreglo de puntos autoensamblados tiene un espectro muy ancho, debido a la superposición de contribuciones de puntos cuánticos de diferente tamaño¹⁴. En la actualidad se hacen esfuerzos para lograr controlar el tamaño de las islas de tal manera que se pueda obtener un ancho de luminiscencia angosto.

Como hemos visto es bastante difícil la fabricación de estructuras de baja dimensión con tan solo el uso de técnicas de crecimiento. Por otra parte, el uso de técnicas de procesamiento puede dañar severamente la calidad de las estructuras. Una aproximación que recientemente se ha propuesto para resolver este problema es el uso de un procesamiento *in situ* combinado con una técnica de crecimiento para la fabricación de puntos e hilos cuánticos. Con esta técnica se ha logrado ver efectos en la luminiscencia de las estructuras que son característicos de un mayor confinamiento¹⁵.

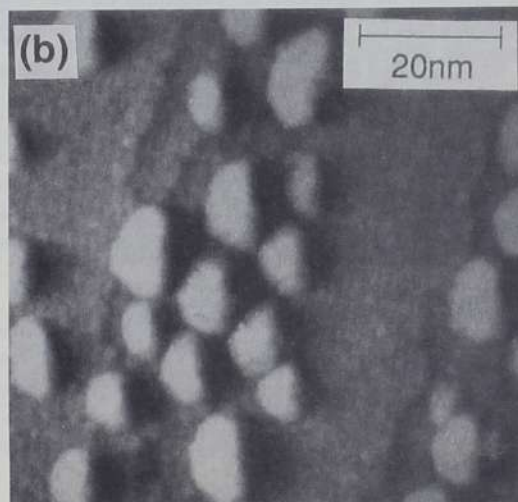
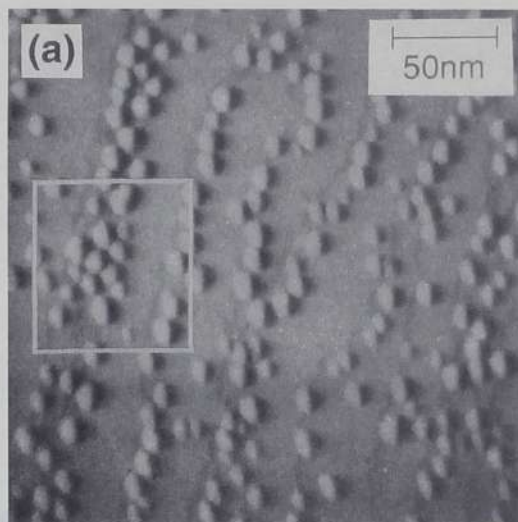


Figura 10. Imagen de puntos cuánticos autoensamblados de arsenuro de indio tomada con un microscopio de túnelamiento.

Conclusiones y perspectivas

En este artículo hemos dado una presentación breve de las estructuras de baja dimensión. Describimos los principales métodos de fabricación y algunos de los problemas que hay por resolver para obtener estructuras de alta calidad. Es importante señalar que nos limitamos a describir algunas de las propiedades ópticas, en particular luminiscencia; no tratamos las

propiedades de transporte en estructuras de baja dimensión, que por sí solo es un tema muy importante y digno de un artículo aparte.

Algunas de las nuevas propiedades físicas predichas teóricamente, y tan esperadas en las estructuras de baja dimensión, ya han sido confirmadas. Sin embargo, aún faltan muchos problemas experimentales por resolver para obtener estructuras con la suficiente calidad para explotar completamente estos efectos. A pesar de que se han realizado grandes esfuerzos para obtener estructuras de baja dimensión de alta calidad a nivel de laboratorio de investigación, se tendrá que esperar algunos años a fin de que la calidad sea adecuada para aplicaciones tecnológicas.



Notas

1. Para un tratado completo de estos tres materiales recomendamos el libro: Neil W. Ashcroft y N. David Mermin, *Solid State Physics* (Holt-Saunders International Editions, Filadelfia, 1976).
2. Una explicación sencilla de estas técnicas de crecimiento se puede encontrar en: J. G. Mendoza Alvarez, *Avance y Perspectiva* **8**, 15 (1989).
3. G. Bastard, *Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures* (Les editions de Physique, Francia, 1988).
4. M. A. Meléndez Lira, M. López López e I. Hernández Calderón, *Jpn. J. Appl. Phys.* **35**, 3923 (1996).

5. C. Weisbuch, *J. Vac. Sci. and Technol.* **12**, 1191 (1994).
6. H. Sakaki, *Jpn. J. Appl. Phys.* **19**, L735 (1980).
7. Y. Arakawa y H. Sakaki, *Appl. Phys. Lett.* **40**, 939 (1982).
8. Y. Miyamoto, Y. Miyake, M. Asada y Y. Suematsu, *IEEE J. Quantum Electron.* **25**, 2001 (1989).
9. H. Sakaki, *Surface Science* **267**, 623 (1992).
10. Y. Arakawa y A. Yariv, *IEEE J. Quantum Electron.* **21**, 1666 (1985).
11. T. Ishikawa, I. Matsuyama, N. Tanaka, M. López, M. Tamura, Y. Nanbu, *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, L1412 (1995).
12. M. S. Miller, H. Weman, C. E. Pryor, M. Krishnamurthy, P. M. Petroff, H. Kroemer y J.L. Merz, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3464 (1992).
13. R. Nötzel, J. Temmyo y T. Tamamura, *Nature* **369**, 131 (1994).
14. J. Y. Marzin, J. M. Gerard, A. Izrael, D. Barrier y G. Bastard, *Phys. Rev. Lett.* **73**, 716 (1994).
15. M. López, N. Tanaka, I. Matsuyama y T. Ishikawa, *Appl. Phys. Lett.* **68**, 658 (1996).

Programas de doctorado: dudas y certidumbres

Adolfo Martínez Palomo

Con la muy grata presencia del secretario de Educación, a quien mucho agradecemos su apoyo constante, nos reunimos por tercera ocasión consecutiva para realizar el más significativo de nuestros eventos académicos: la entrega de diplomas de maestría y doctorado del Cinvestav. Este 17 de abril, cuando el Centro cumple 36 años de haber sido creado por Decreto Presidencial, se otorgarán 165 diplomas de maestría y 50 de doctorado, correspondientes al año académico abril 1996 - marzo 1997.

Prueba del curso ascendente del Centro es la comparación de estas cifras de egresados con las obtenidas hace tan sólo una década. Hoy, en relación a los titulados en 1987, se duplica el número de maestrías y se triplica el de investigadores que reciben el diploma de doctorado.

Testimonio del éxito de las tareas de descentralización de la actividad científica y tecnológica que realiza el Cinvestav es el alto porcentaje (43%) de los profesionales que hoy se gradúan, provenientes de diferentes estados. De éstos, 74 realizaron estudios de licenciatura en universidades estatales y 18 en institutos tecnológicos. La presencia del rector de la Universidad Autónoma de Puebla es particularmente significativa, porque el conjunto más numeroso (19 en total) proviene de esa institución. Además, el Cinvestav ha introducido con esta universidad un nuevo modelo de formación de recursos humanos: todo un grupo de investigación se integrará, completo, a la Universidad de Puebla, después de haber recibido su formación cien-

El Dr. Adolfo Martínez Palomo es director general del Cinvestav. Este texto fue leído en la ceremonia de entrega de diplomas de maestría y doctorado de los estudiantes del Cinvestav graduados entre abril de 1996 y marzo de 1997, celebrada el 17 de abril de 1997.



tífica en el Centro. La descentralización es un camino de dos vías; además de lo mencionado, uno de cada cinco de nuestros graduados recibió su entrenamiento de posgrado en las unidades que el Cinvestav ha establecido fuera de la ciudad de México.

Evidencia de la diversidad que enriquece al Centro, y lo aleja de la peligrosa endogamia, es también la diversidad de instituciones del Distrito Federal en las que realizaron sus estudios de licenciatura. La mitad de los graduados la obtuvieron en el Instituto Politécnico Nacional, en la Universidad Nacional Autónoma de México o en la Universidad Autónoma Metropolitana, o bien en otras instituciones, incluyendo cuatro centros privados.

Vocación por la excelencia, la pluralidad y la dedicación a la descentralización son algunas de las fórmulas que el Cinvestav ha encontrado a lo largo de sus siete lustros de existencia para acercarse a la meta de cumplir cabalmente su cometido: promover la investigación y formar los científicos que el país requiere.

Nunca se insistirá bastante en la importancia del papel que las instituciones de enseñanza superior

pueden desempeñar en el desarrollo de un país. En un mundo en el que el conocimiento tendrá cada día más importancia que los recursos materiales como factor de desarrollo, aumentará forzosamente el impacto de las instituciones de educación superior como la nuestra. Además, a causa de la innovación y del progreso tecnológico, las economías exigirán cada vez más competencias profesionales que requieren un nivel elevado de estudios. Nunca el cambio ha sido tan rápido ni los valores del conocimiento y la capacidad intelectual tan apreciados como en este final de siglo. La aparición de sectores industriales basados en las tecnologías de la información y las comunicaciones y el peso creciente de la inversión intangible, evidencian la alteración profunda de los procesos reguladores de la economía.

Si el Cinvestav ha procurado estar atento al entorno nacional, también intenta el contacto permanente con el resto del mundo. En años recientes, las políticas de formación de recursos humanos para la ciencia han sido objeto de intenso debate, entre otras razones, por la dimensión internacional de la formación científica. Esta globalización juega un papel cada vez más importante en la movilidad de los egresados del doctorado en regiones económicas multinacionales, como la

Unión Europea o en los países de la Cuenca del Pacífico.

Por ello parece conveniente, aquí y ahora, comentar algunas inquietudes que flotan en el ambiente internacional en relación al futuro de la educación de posgrado.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) manifestó hace poco que la enseñanza superior está en crisis en gran parte del mundo en desarrollo por las políticas de ajuste estructural y por la inestabilidad política. La forma y el contenido del entrenamiento doctoral han sido objeto de intensa discusión entre los países miembros de esta organización. Una de las cuestiones centrales del debate se refiere a la calidad del entrenamiento: ¿debe ésta ser medida por la producción de una tesis que sea una contribución significativa al conocimiento, o lo importante es la calidad del proceso de formación; esto es, el énfasis en el adiestramiento, en los procesos y los métodos de la investigación?

Además del papel tradicional de los doctorados para la preparación en una carrera académica y docente, la OCDE insiste en que los egresados deben tener una preparación más amplia para responder a una mayor variedad de funciones sociales, como la capacitación para la industria. Por ello, se empieza a considerar la conveniencia de que la calidad de los doctorados se base no sólo en la originalidad de la contribución al conocimiento que debe representar la tesis doctoral, sino además, en el dominio de un amplio cuerpo de conocimientos y habilidades; al mismo tiempo, los temas de investigación deben acercarse cada vez más a los problemas del desarrollo.

Algunos consideran estos puntos de vista como atentados a la libertad académica, pero otros insisten que es necesario dar atención a la demanda de los doctorados no sólo en, sino también fuera de las instituciones de educación superior.

Si la calidad de la ciencia que realizan los doctorandos no debe modificarse, parece conveniente incluir en su formación destrezas para un mercado de trabajo más heterogéneo que el estrictamente académico. De cualquier forma, los centros de investigación y las universidades seguirán teniendo como metas fundamen-

tales la reproducción de la comunidad científica y la realización de investigación.

Para los expertos de la educación superior en los Estados Unidos, los retos son otros. El número de nuevos doctorados ha crecido hasta llegar a más de 25,000 graduados al año. Algunos dudan seriamente la conveniencia de continuar con ese ritmo de titulación. Los pesimistas consideran que ese país ha llegado al inicio de una crisis malthusiana en la que la oferta del mundo académico excede peligrosamente a la demanda. Otros piensan que lo que se requiere es un tipo de doctorado diferente, menos prolongado, menos estrecho en miras y más relacionado con las necesidades del mundo de la producción. Los primeros piden reducir la matrícula de ingreso al doctorado, los segundos han iniciado nuevos modelos de doctorados más cortos, una base de adiestramiento más amplia, contactos frecuentes con la industria y programas que contemplan más de un tutor para cada alumno y más de un departamento para cada currículo académico.

La idea es lograr un profesional más versátil, más flexible, más apto para el trabajo en grupo y dotado de un espectro más amplio de habilidades, que las que adquiere en el doctorado tradicional, heredado de la Alemania del siglo XIX. Vale la pena recordar que esta multiplicación de diferentes doctorados fue experimentada en Francia, en donde a mediados de los años 80 había hasta cuatro tipos de doctorado diferentes, para finalmente volver al esquema del doctorado único.

La formación de los futuros investigadores está así sujeta a cambios complejos que las instituciones de educación superior deberían tomar en cuenta: las relaciones de la economía con la sociedad, su función con respecto a las políticas nacionales de investigación y su adecuación a la dimensión internacional.

El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo también ha analizado estos retos. Este programa retoma una reciente proyección del Banco Mundial: América Latina tiene el potencial para duplicar su tasa promedio de crecimiento a un seis por ciento anual en el transcurso de la próxima década. Si la región se desarrollara sólo al nivel de la tasa promedio anual para el periodo 1970-1985, que fue de 2.9 por 100, ni siquiera llegaría a disminuir los niveles actuales de pobreza.

América Latina ha experimentado en las últimas décadas un crecimiento acelerado de sus sistemas de educación superior y de ciencia y tecnología. Así, el número de universidades se multiplicó por 10, la matrícula aumentó de 270,000 a más de 7 millones de alumnos y los graduados pasaron de 25,000 a 700,000 por año. Sin embargo, este crecimiento asombroso no ha ido parejo con un desarrollo de las capacidades nacionales para innovar; las redes de comunicación son débiles, la utilización práctica de los productos del sistema es escasa y esporádica y su aprovechamiento para transformar la realidad, adaptar la sociedad al cambio y producir novedades es limitado. Además, los recursos y resultados científicos en América Latina no llegan al uno por ciento de los totales mundiales, teniendo el ocho por ciento de la población global.

¿Son válidas para nosotros estas inquietudes? Algunas sí, otras definitivamente no. A pesar de la crisis, el campo de trabajo para los egresados del Centro sigue con las puertas abiertas de par en par. Prueba de ello es el resultado del estudio de los primeros 2,500 egresados del Cinvestav: el índice de desempleo es menor al dos por ciento. Es evidente que nuestro sistema de educación superior está muy lejos de llegar a la saturación en el número de doctorados que requiere. Tan es así que el Cinvestav iniciará en fecha próxima una intensa colaboración con el Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública con el objeto de apoyar la superación académica de profesores de las universidades estatales.

¿Ajustar los tiempos de titulación en el posgrado? A todos conviene ceñirnos a los tiempos más reducidos, pero que sean compatibles con una formación rigurosa, que han permitido que este Centro sea la única institución que tiene todos sus programas de maestría y doctorado registrados en el Padrón de Excelencia del Conacyt. Esta es una tarea que requiere de un análisis cuidadoso.

¿Redefinir el perfil del doctorado? Es éste, también, un tema importante que merece un estudio detallado, tanto en nuestra institución como en los otros establecimientos que otorgan doctorados en el país.

Para que las naciones de la región, entre ellas la nuestra, ingresen al próximo siglo en condiciones de mayor competitividad y equidad se requiere ampliar y mejorar las capacidades nacionales necesarias para aumentar la competitividad hacia afuera y fomentar la equidad hacia el interior. Desde luego, los científicos y los tecnólogos no son los únicos partícipes en la renovación que todos anhelamos. Está claro, sin embargo, que ambos son absolutamente indispensables para que ese cambio se realice.

Para terminar, si hay un solo concepto que debe quedarles claro a nuestros egresados de hoy es que el mañana está en sus manos.

¡Enhorabuena a los que se titulan! Les deseamos a todos el mayor de los éxitos en su vida profesional. 

La problemática oceanográfica en México: algunas consideraciones

Luis Capurro

Introducción

Durante toda mi vida académica, desde el fin de la Segunda Guerra Mundial, he sido testigo del desarrollo de la ciencia oceanográfica global, muy particularmente en los países en desarrollo con intereses marítimos. La Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), con sede en la UNESCO-PARIS, fue un instrumento en la aglutinación y coordinación de las aspiraciones de muchas naciones para desarrollar esa incipiente área científica. México prestó decidido apoyo a la incorporación de esta nueva rama de la ciencia a la actividad universitaria; los numerosos institutos especializados al respecto, tanto en ciencia como en tecnología son prueba evidente de este esfuerzo.

He tenido también la oportunidad de participar en la discusión y diseño de los planes de investigación de algunos de estos institutos, en México y en otros países en desarrollo; la experiencia adquirida en estos ejercicios ha sido muy valiosa. Un aspecto común que he observado es que la creación de los nuevos centros de estudio respondía mas bien a un honesto interés de esos países a unirse a la corriente mundial, propiciada por las naciones desarrolladas, que a la necesidad y deseo de hacer uso racional de sus intereses nacionales en el mar. Es así que las investigaciones programadas a corto y mediano plazo eran un simple agregado de los proyectos individuales presentados por sus plantas académicas, es decir, proyectos que se ajustaban sobre todo a los deseos y capacidades individuales de los in-

El Dr. Luis Capurro es investigador titular del Departamento de Recursos del Mar de la Unidad Mérida del Cinvestav.



vestigadores. En ninguno de estos ejercicios en que he participado existía un documento que reflejara los intereses nacionales en el mar, y mucho menos cuáles eran los problemas científicos y oceanográficos prominentes que reclamaban solución urgente. El resultado fue que las actividades de los institutos, si bien interesantes, no eran pertinentes a las necesidades de la región y tampoco se ajustaban a las realidades nacionales. Mi objetivo es presentar un análisis sobre este tema en esta breve contribución.

El título de este trabajo puede no indicar lo que pretendo con el mismo, razón por la cual es conveniente aclararlo. Con el término problemática quiero señalar los problemas prioritarios que el país debe encarar y resolver en lo referente a investigación oceanográfica, científica y técnica, en los mares mexicanos y en los internacionales.

El procedimiento mas lógico y preciso a seguir para este ejercicio, sería el de identificar, cuantificar y predecir el valor de los intereses marítimos nacionales; y con base en ellos diseñar las actividades científicas, técnicas y operacionales a llevarse a cabo para un manejo sostenible de los intereses citados. Esta información debería figurar en el Plan de Desarrollo del país, pero generalmente no es éste el caso, o bien está men-

cionada de manera tan general que no resulta de mucha utilidad.

El enfoque exhaustivo sugerido supera el alcance de este trabajo, razón por la cual me permitiré describir cualitativamente dichos intereses y comentar sobre los aspectos que requieren ser estudiados para su manejo sostenido. Es evidente que para proponer opciones de manejo es necesario conocer la estructura y funcionamiento de esos intereses.

En un contexto geográfico amplio, México puede ser considerado como una gran península, rodeada por agua en una gran parte de su perímetro; esta simple realidad física le otorga una vocación marina natural, que adquiere mayores proporciones por la creciente concentración de grupos humanos en el litoral marítimo.

Su asentamiento en el borde de una placa tectónica terrestre en movimiento hacia el oeste, que choca con una placa oceánica que se desplaza hacia el este, impone diferentes características geológicas a sus litorales; el borde oriental Atlántico, que incluye al Golfo de México y el Mar Caribe, posee las características estables del borde de arrastre de una placa tectónica, caracterizada por un margen continental, es decir,

plataforma, talud y emersión continental. La zona costera occidental es, por el contrario, del tipo de borde de choque de dos placas, con ausencia de plataforma continental y presencia de una extensa y profunda fosa, de alta actividad sísmica y volcánica, testigo de la destrucción por subsidencia de la placa oceánica. Esta diferencia, manifiesta en su línea de costa y topografía submarina, condiciona el comportamiento de sus aguas en ambos litorales. Por otro lado, la ubicación tropi-semi-tropical de nuestras costas da origen a una amplia gama de ecosistemas tropicales y templados, con las características propias de cada uno de ellos.

México reconoce el valor de estas condiciones, y ha propiciado y apoyado la creación y desarrollo de una infraestructura humana y física que participa en las varias actividades relacionadas con los usos del mar, incluyendo la investigación científica y técnica. Ello se traduce en los numerosos laboratorios e instituciones marinas existentes en el país, en apoyos a la investigación y en un sólido programa de becas para la formación de recursos humanos.

Sin embargo, hasta donde estoy enterado, no existe un plan a largo plazo de investigación científica y técnica que identifique y asigne prioridad a los proyectos a realizar con el propósito de conocer el funcionamiento de estos intereses, que es la herramienta principal para poder manejarlos en forma sostenida. Ese plan es lo que defino como problemática oceanográfica; su existencia permitiría una planeación orgánica de los programas de desarrollo de sus instituciones académicas marinas y de la asignación de fondos por las agencias patrocinantes de la ciencia.

Tengo bien claro que, dentro del ambiente académico, la investigación que da más frutos es aquella que responde a la vocación y gusto del investigador, cualquiera que sea su repercusión en los intereses nacionales. Pero desgraciadamente no existen en la mayoría de los países fondos disponibles para tales satisfacciones personales. Los estudios que cuentan con apoyo financiero gubernamental deben, al menos, responder a necesidades prioritarias de los intereses nacionales. Este requerimiento implica contar con un plan de investigación diseñando para tal fin, el cual debe ser confeccionado en base a una problemática oceanográfica.

Intereses marítimos mexicanos

Su gran superficie, su extenso litoral marítimo, la riqueza de sus recursos naturales y, tal vez lo más importante, su crecimiento poblacional permiten inferir que el país jugará un papel sobresaliente dentro del panorama mundial. Por otro lado, la globalización de todo tipo de problemas: sociales, económicos y ambientales, requerirá de la interacción activa de México con el resto del mundo, la que en su gran mayoría se efectuará por vía marítima. México es un país con vocación marina.

Su condición climática tropi-semi-tropical otorga otra dimensión al valor de su litoral marítimo, particularmente en el aspecto recreacional, como lo evidencian los crecientes megaproyectos turísticos en Acapulco, Cancún, Puerto Vallarta y Los Cabos, entre otros. La creciente demanda de proteína animal, apenas cubierta por las pesquerías oceánicas y costeras, varias de ellas sobreexplotadas, requiere considerar seriamente el uso de sus cuerpos de agua costeros para el cultivo de peces y mariscos. La actual explotación de los recursos minerales, líquidos y gaseosos en el mar, sus grandes reservas conocidas en el Golfo de México, y las que probablemente pueden descubrirse en el litoral del Pacífico, es otro aporte a la suma de intereses marítimos.

La zona desértica mexicana es relativamente grande en relación a la superficie total del país. La gran limitante para su aprovechamiento es la ausencia de agua potable, ya que el potencial en nutrientes de su suelo es generoso. El desarrollo del Imperial Valley en California es una pequeña muestra de lo que podría esperarse del desierto mexicano de contar con recursos de agua. La producción de agua dulce a partir del agua salada es una actividad que se va generalizando en todo el planeta; la planta desalinizadora de Rosarito, en Baja California, es un ejemplo exitoso de este uso del mar. No está lejana la época en que este uso se extenderá a ambos litorales de la península de Baja California.

Existen además otros intereses de menor magnitud que no se incluyen aquí para no extender este trabajo, pero que contribuyen a destacar la vocación marítima de México. La tabla 1 sintetiza estos diversos usos actuales del mar, así como sus implicaciones ambientales.

Tabla 1. Usos del ambiente marítimo mexicano

Uso del mar	Características del uso	Impacto ambiental	Región afectada
Transporte de carga y pasaje, incluyendo infraestructura portuaria	Buques de todos portes, transportando carga a granel y contenedores, así como pasajeros. La carga a granel de petróleo ha propiciado la construcción de buques de gran calado, i.e. 40m y tonelaje bruto 500,000 ton. Requiere infraestructura y terminales marítimas fuera de la costa.	Intenso tráfico de buques en los puntos focales, i.e. zona marítima de entrada a puertos de mar o de ríos. Además de la modificación de la línea de costa, perturbación al ecosistema por remoción de sedimentos, dragados, residuos de los buques, de lavado de tanques, de aceites lubricantes y otros.	Tampico, Veracruz, Tuxpan, Coatzacoalcas, Progreso, Cozumel y plataformas petroleras en el Golfo de México y el Caribe. Ensenada, La Paz, Guaymas, Mazatlán, Manzanillo y Acapulco en el Pacífico.
Pesquerías, incluyendo acuacultura	Artesanales y semiartesanales en zonas costeras, con embarcaciones	Se afecta al recurso cuando se pesca en cuerpos de agua donde se crían juveniles de peces marinos. El cultivo de peces genera destrucción de hábitat y otros efectos a la biota. La infraestructura portuaria causa menos perturbación que la de buques de carga y pasaje.	Las lagunas costeras del Golfo de México y del Pacífico pueden ser seriamente afectadas por la destrucción de manglares.
Desarrollo turístico costero	Urbanización de la línea de costa, incluyendo el cuerpo de agua adyacente, a partir de la construcción de marinas y puertos para yates	Modificación de la estructura y funcionamiento del ecosistema playero. Los residuos propios de la urbanización son descargados en las cercanías de la playa. Sería amenaza a los manglares y arrecifes coralinos en zonas tropicales.	Acapulco, Cancún, litoral caribeño y desarrollos costeros en el Pacífico.
Desalinización del agua del mar	Diversas técnicas, tales como destilación rápida y ósmosis inversa. Las de gran escala podrán procesar varios miles de millones de litros por día.	Los contaminantes mayores son: calor, salinidad y metales pesados. La fauna y flora serán adversamente afectadas por el efluente; el cobre es el efluente más tóxico.	Rosarito en Baja California destila 28.5 millones de litros por día; el potencial es grande, particularmente para la Península de Baja California.

Es posible cuantificar la mayoría de los intereses mencionados; sin embargo, este trabajo no pretende desarrollar un modelo de desarrollo marítimo para el país, sino destacar simplemente las necesidades y prioridades de la investigación científica y técnica requeridas para el manejo sostenido de esos intereses en el mar. En tal sentido, estimo que su identificación y descripción cualitativa es suficiente para lo que se pretende lograr de este análisis.

Ecosistemas marinos de México

Los cuerpos de agua que bañan el litoral mexicano po-

drían ser catalogados o caracterizados en las siguientes categorías de ecosistemas: (1) lagunas costeras; (2) corriente de borde oriental; (3) Golfo de California; (4) Golfo de México y (5) Caribe Mexicano.

Las lagunas costeras del país juegan un papel importante en la problemática socioeconómica del litoral ya que la calidad de vida de la gente depende en gran parte de la salud de esos sistemas naturales. La mayoría de esas comunidades viven de la pesca artesanal que se lleva a cabo en las aguas marinas adyacentes y en las lagunas mismas. La existencia de estas

pesquerías depende de las buenas condiciones del ecosistema lagunar, ya que las primeras etapas del ciclo de vida de los peces de la región tiene lugar en ellas.

Los humedales salobres de ambos litorales son de características distintas, lo que se que se refleja en sus respectivas biotas y productividad. Las lagunas costeras del Pacífico están influidas o son parte del ecosistema conocido como de corriente de borde oriental, en este caso la Corriente de California. Lo irregular de la línea de costa, la presencia de una cadena montañosa costera que afecta local y regionalmente la circulación atmosférica, y la compleja topografía submarina e islas, dan origen a una complicada circulación oceánica incluyendo el movimiento hacia la superficie de las fértiles aguas profundas (surgencias). Esto otorga a la región una alta productividad, claramente visible por su volumen de pesca y de abundancia de mamíferos y aves marinas, que son los exponentes más altos de la cadena alimenticia.

Las lagunas del Golfo de México y del Caribe Mexicano son más someras que sus contrapartes del Pacífico, con una circulación más débil y un clima tropical más estable. El mangle, los arrecifes coralinos y los pastos marinos constituyen la cobertura vegetal más abundante; la fauna íctica y béntica es inferior a la del litoral del Pacífico.

Conviene destacar aquí que las lagunas y los estuarios son los receptores de los escurrimientos de las cuencas terrestres, y la de mayor superficie es la cuenca de los ríos Usumacinta y Grijalva en Tabasco. El aporte de agua dulce a las lagunas costeras de la Península de Yucatán tiene lugar a través de una fuerte circulación subterránea, de modo que los contaminantes propios de los escurrimientos quedan en gran parte retenidos en el subsuelo.

El ecosistema Pacífico Oriental se caracteriza, en la mayor parte de su extensión, por la presencia de la Corriente de California. Este sistema de borde ha sido bien estudiado en casi todos sus aspectos por los programas del California Cooperative Fisheries Investigations (CALCOFI) y por los científicos norteamericanos cuyos resultados pueden extenderse al litoral mexicano, ya que la configuración del ecosistema es prácticamente la misma. La alta fertilidad de estas aguas se debe principalmente a los varios afloramientos de

aguas profundas, debidos al régimen de vientos y a la interacción del flujo oceánico con la compleja topografía submarina y la irregular línea de costa.

El Golfo de California es en mi opinión el ecosistema más complejo del litoral mexicano. Su condición de mar semicerrado, con una topografía submarina compuesta de cuencas e islas, una amplia conexión con el Pacífico, un fuerte régimen de mareas y un mesoclima estacional propio afectado por las altas tierras circundantes, está sometido a toda clase posible de forzamientos físicos externos. La circulación oceánica es compleja y, en general intensa, con afloramientos de agua en diversas épocas y regiones del Golfo. Su alta productividad se refleja en el hecho de que más de la mitad de la producción pesquera mexicana proviene de esta región, todavía no explotada en su totalidad.

El comportamiento básico del Golfo de México está condicionado por el intenso flujo que penetra por el Estrecho de Yucatán y sale por el estrecho de Florida. Este fuerte chorro de agua, que lame el litoral sur de la Península de Yucatán, ve impedida su circulación al encontrar la angostura del Estrecho de Yucatán, elevando el nivel del agua, "cabeza hidráulica", que genera el intenso flujo que penetra al Golfo. Este flujo oscila entre 25 y 35 millones de metros cúbicos por segundo y es el resultado de los cambios en la circulación ecuatorial del Atlántico. En mi opinión, esos 10 millones de diferencia son responsables de la mayor parte de la variación anual del clima oceanográfico del Golfo, que se refleja en el mayor o menor grado de fertilización del Banco de Campeche por interacción con las aguas profundas del talud continental, ricas en nutrientes, y en el desprendimiento de vórtices oceánicos que se desplazan hacia las costas de México y de los EUA y afectan los climas oceanográfico y atmosférico.

El Caribe mexicano está caracterizado por la fuerte Corriente de Yucatán, que fluye casi pegada a la línea de costa y sobre una topografía submarina que incluye una extensa barrera arrecifal coralina que se extiende desde Belice hasta Isla Mujeres. La presencia de las Islas de Cozumel y Mujeres, así como el cambio de orientación de la línea de costa en Cabo Catoche, perturbando la regularidad de la corriente y generan afloramiento de aguas profundas. La existencia de los

someros arrecifes coralinos y de la fuerte corriente oceánica, que actúa a manera de rompeolas hidráulico, protege y estabiliza a la línea de costa.

Problemática oceanográfica

Hasta ahora hemos identificado los intereses marítimos nacionales y caracterizado a escala regional los distintos sistemas naturales donde se llevará a cabo la explotación de esos intereses. Para completar el cuadro debemos analizar la intensidad en el uso de los varios ecosistemas y asignar prioridades en el estudio de su funcionamiento, para poder administrarlos y manejarlos eficientemente. Después de esta jerarquización, se evaluará la factibilidad de llevar a cabo esas investigaciones en función de los recursos humanos y físicos y se propondrán estrategias con tal fin. Para este análisis supondremos lo siguiente:

- (1) La máxima prioridad se asignará a los procesos costeros, que son los más amenazados por las actividades humanas, al menos en países en desarrollo.
- (2) Si bien puede haber interés en colaborar en experimentos internacionales de gran alcance, como el Experimento Mundial de Circulación Oceánica (WOCE), no se está en condiciones de participar eficazmente en él.
- (3) El manejo de los ecosistemas utilizados para responder a los intereses marítimos antes mencionados debe efectuarse bajo el concepto de "manejo sostenido", es decir, descartando un enfoque sectorial o puntual disciplinario de los mismos. El estudio debe ser exhaustivo e integrado y su meta debe ser la confección de un modelo matemático que permita conocer la reacción del ecosistema en distintos escenarios.
- (4) El buque oceanográfico sigue siendo la herramienta principal en el estudio de los ecosistemas marinos oceánicos. Sin embargo, la experiencia nacional ha probado que no hay verdadera conciencia en este aspecto, ya que aun contando con buques modernos de investigación como el *Puma* y *Justo Sierra 7*, los fondos disponibles para su operación no son suficientes para hacerlos rentables. Para que un

buque oceanográfico pague dividendos debe usarse durante más de 250 días por año, lo que está muy lejos de la práctica actual. En este análisis considero cuestionable su uso.

- (5) Se debe estimular el uso de buques de oportunidad, de la información de satélites espaciales y de instrumentos de registro continuo en estaciones costeras, que aseguren la permanencia y seguridad del equipo.
- (6) Se debe estimular la colaboración internacional en ecosistemas de interés común, i.e., con Cuba en el Caribe y Golfo de México con los EUA en el Golfo de México y el Pacífico Oriental.

Con estas suposiciones en mente, trataremos ahora de jerarquizar y asignar prioridad a los estudios oceanográficos en base a los riesgos actuales y futuros a los ecosistemas arriba descritos, así como a la factibilidad de poder llevarlos a cabo.

Lagunas costeras. Máxima prioridad. Muy factible de formular modelos matemáticos comprensivos, ya que no requiere de buque oceanográfico, sino de embarcaciones menores, actualmente disponibles en todas las instituciones oceanográficas. Son los ecosistemas más amenazados y tienen una componente socioeconómica importante.

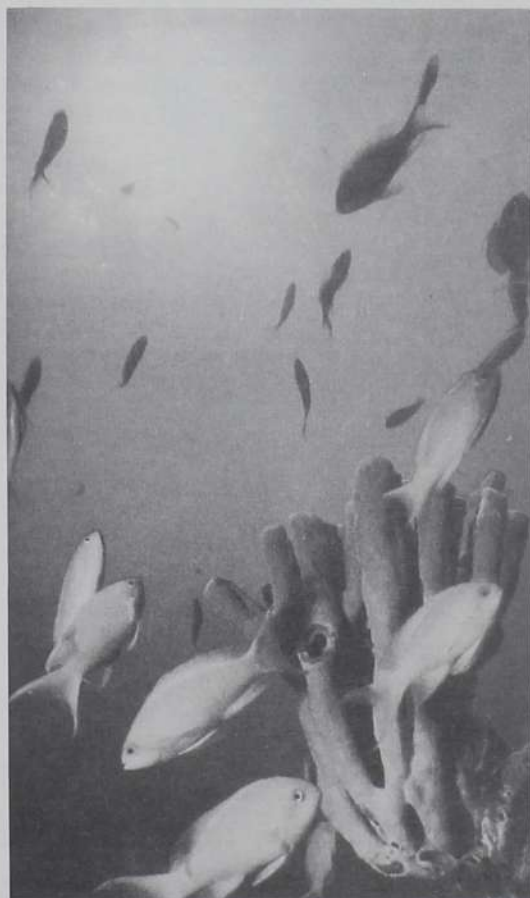
Golfo de California. Es el ecosistema regional más complejo del país por las razones antes explicadas. Recoge el escurrimiento del granero de México, Sinaloa, con su aporte de plaguicidas, lo que puede afectar a la gran riqueza íctica y estética de sus costas. Es el único cuerpo de agua de México totalmente nacional y para estudiarlo, es decir que su estudio no puede contar con colaboración internacional con interés en la región; el esfuerzo es totalmente mexicano. Su estudio es factible a medias, al no contar con buque oceanográfico. Se deben dotar ambos litorales con registradores continuos de variables oceanográficas, como mareógrafos entre otros; hacer uso intenso de los buques de oportunidad, como son los transbordadores La Paz-Mazatlán, La Paz-Topolobampo, Rosalía-Guaymas; y utilizar datos de satélites oceanográficos.

Golfo de México. Cuerpo de agua factible de modelar por las investigaciones que llevan a cabo los EUA.

El modelo es aparentemente más sencillo que el del Golfo de California. Asigno máxima prioridad a medir las variaciones del transporte de agua a través del Estrecho de Yucatán, lo que puede hacerse fácilmente con medidores del nivel del mar, instalados en la Península de Yucatán y en Cuba. Deben dotarse de instrumentos a las plataformas petroleras existentes en el Banco de Campeche. La interacción de las aguas de la plataforma continental y del talud continental, así como el desprendimiento de vórtices del flujo principal, son temas prioritarios. Estas investigaciones pueden contar con la participación de los científicos de los EUA y Cuba, ya que el tema es de interés común.

Corriente de borde oriental. Requiere de buque oceanográfico. Se aconseja optimizar el uso del buque de investigación Puma y colaborar con los colegas de EUA.

Caribe mexicano. Es el más expuesto a riesgo por el explosivo desarrollo turístico de los ecosistemas. Las instituciones estatales y federales con un interés en el mar, como son la Secretaría de Pesca, la Marina de Guerra y Pemex entre otros, deben además colaborar con sus propias actividades específicas. Por ejemplo, la Secretaría de Pesca en prospección pesquera, pues los recursos potenciales pesqueros son desconocidos; la Marina, para intensificar el conocimiento de la batimetría submarina; Pemex, para conocer el carácter geofísico del subsuelo marino; y los estados con litoral marítimo a fin de apoyar los estudios de sus lagunas y cuerpos de agua costeros.



VII ICFA SCHOOL ON INSTRUMENTATION IN ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS

León, Guanajuato, México

July 7-19, 1997

Organized by

ICFA Panel on Instrumentation Innovation and Development

Division of Particles and Fields (Mexican Physical Society), University of Guanajuato at León and CINVESTAV

International Organizing Committee

A. Cattai, Switzerland
B. Dolgoshein, Rusia
T. Ekelöf, Sweden
I. A. Golutvin, Rusia
A. Gurtu, India
G. Herrera, México
Ma Ji-Mao, China
T. Kondo, Japan
S. Majewski, USA
D. R. Nygren, USA
H. Okuno, Japan
A. Savoy-Navarro, France
M. Sheaff, México/USA
V. Sidorov, Rusia
J. Va'vra, USA
A. P. Vorobiev, Rusia
H. Walenta, Germany

Local Organizing Committee

A. Becerril Vilchis, ININ
H. Castilla Valdez, CINVESTAV
J. Félix Valdez, IF-UG (co-chair)
A. Fernández, FCFM BUAP
G. Herrera, CINVESTAV (chair)
A. Menchaca, IFUNAM
H. Méndez, CINVESTAV
A. Morelos, IF-UASLP
M. Sosa, IFUG

School Programme

Lecture Courses

Physics of Particle Detection

C. Grupen, Univ. Siegen

Gaseous Detectors

J. Va'vra, SLAC

Particle Identification

T. Ekelöf, Univ. Uppsala

Calorimetry

H. Marsis, SLAC

Silicon Detectors

P. Weilhammer, CERN

High Rate Data Acquisition

P. S. Cooper, Fermilab

Laboratory Courses

Multiwire Proportional Chambers

G. Moreno and M. Sosa, Guanajuato Univ.

Muon Lifetime Measurement

L. M. Villaseñor, Michoacán Univ.

Silicon Detectors and Signal Processing

P. Weilhammer, CERN and P. Giubellino, U. Torino

Microstrip Gas Chambers

P. Bellazzini, INFN-Pisa

Scintillating Fibres and Advanced Photo Detectors

M. Atac, Fermilab/UCLA

Analog and Digital Circuits

G. Hall, Imp. College (*)

Data Acquisition

M. Sheaff, CINVESTAV and M. Johnson, Fermilab

X-Ray Imaging

Y. Zanevsky, JINR

PPAC Multi Strip Detectors

A. Martinez and R. Alfaro, IFUNAM

Review Talks

Heavy-Ion Experiments

A. Sandoval, GSI Darmstadt (*)

Perspectives in High Energy Physics

A. Zepeda, CINVESTAV

Medical Applications; Radiology and Nuclear Medicine

L. Shekhtman, Budker INP

New Ideas in Detector Technology

A. Breskin, Weizmann Inst. (*)

Dark Matter Detector

D. Mc Cammon, Univ. Wisconsin

Photodetection

K. Arisaka, UCLA

VLPC's for Tracking, Medical Imaging and Astronomy

M. Atac, Fermilab/UCLA

Airshower Detectors

C. Escobar, UNICAMP/USP

Neutrino Detectors

K. Nakamura, KEK

(*) To be confirmed

Further Information: Gerardo Herrera-Julian Félix Valdez

Fax: (5) 747 70 98, E-mail: icfa@fis.cinvestav.mx

<http://www.fcm.buap.mx/~marciano/ICFA/Page.html>



Victor Manuel Villalobos Arámbula, subsecretario de Recursos Naturales de la Semarnap

El pasado 17 de abril el Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula, investigador titular y director de la Unidad Irapuato del Cinvestav, fue designado por la Presidencia de la República subsecretario de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap). La Dirección General del Cinvestav nombró en su lugar al Dr. Alejandro Blanco Labra como director interino de la Unidad Irapuato.

El Dr. Víctor M. Villalobos Arámbula es ingeniero agrónomo con especialidad en fitotecnia, egresado de la Universidad Chapingo (1976). Obtuvo su grado de maestría en genética vegetal en el Colegio de Postgraduados (1979) y el doctorado en morfogénesis vegetal en la Universidad de Calgary, Canadá (1983). Ha realizado contribuciones importantes al entendimiento de la organogénesis *in vitro*; en particular, propuso el concepto de "promeristemoides" como una de las primeras etapas de la diferenciación de los órganos vegetales. Sobre este tema ha publicado 15 artículos originales de investigación en revistas de prestigio internacional. Entre ellos se encuentra el primer trabajo publicado sobre la microinjertación de embriones somáticos. En el aspecto de formación de recursos humanos, ha dirigido 9 tesis de maestría y 6 de licenciatura.

Durante el periodo 1984-1991, el Dr. Villalobos Arámbula fue coordinador de la Unidad de Recursos Fito-genéticos y director del Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales del Centro Agrónomo Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Turrialba en Costa Rica. Fue fundador y dirigió la Unidad de Biotecnología del CATIE, donde se instrumentaron por vez primera las técnicas de biotecnología molecular para la caracteri-



Dr. Víctor Manuel Villalobos

zación del germoplasma vegetal; ahí mismo también estableció el primer laboratorio de crioconservación de células vegetales en Centro América. Ha sido consultor de la FAO en cultivo de tejidos vegetales y producción de semilla agámica. En 1995 recibió el Premio al Mérito Agronómico que otorga la Presidencia de la República por su brillante desempeño en el ámbito de la biotecnología aplicada a la agricultura y su destacada proyección agronómica en los organismos internacionales. Fue distinguido con el *Philip White Memorial Award* en 1984 por la Asociación de Cultivo de Tejidos de los EUA. Ha sido invitado por la FAO para representarla ante el Parlamento Europeo en temas de bioseguridad.

María Teresa Rojano Ceballos, jefa del Departamento de Matemática Educativa

La Dirección General del Cinvestav nombró a la Dra. María Teresa Rojano Ceballos como jefa del Departamento de Matemática Educativa por un periodo de cuatro años a partir del 18 de abril pasado, en sustitución del Dr. Fernando Hitt Espinosa, quien cubrió su periodo de cuatro años al frente de este departamento. La Dra. Rojano Ceballos es matemática egresada de la Facultad de Ciencias de la UNAM y obtuvo sus grados de maestría

Notas Breves

La Junta Directiva del Cinvestav expidió el pasado 31 de marzo el Reglamento

del Consejo Académico Consultivo (CAC) del Cinvestav. Este consejo es el órgano asesor del Centro constituido según lo establecido en el artículo décimo del Decreto Presidencial de creación del Cinvestav. Está integrado por el director general, los directores de las unidades, los jefes de departamento en el Distrito Federal y los jefes de los laboratorios foráneos. Además, se integraron al CAC, como investigadores invitados, los siguientes cuatro investigadores

que fueron elegidos por mayoría del cuerpo colegiado del área correspondiente: **Dr. Saúl Villa Treviño** (Biología Celular) por el área de ciencias biológicas y de la salud; **Dra. Ma. Antonia Candela** (Investigaciones Educativas) por el área de ciencias sociales y humanidades; **Dr. Augusto García** (Física) por el área de ciencias exactas; y **Dr. Arturo Escobosa** (Ingeniería Eléctrica) por el área de ingeniería y tecnología.



Dra. Ma. Teresa Rojano Ceballos

y doctorado en ciencias; en la especialidad de Matemática Educativa, en el mismo Cinvestav. Realizó una estancia posdoctoral en el Instituto de Educación de la Universidad de Londres sobre el uso de microcomputadoras en el aula para la enseñanza de las matemáticas. Se incorporó en 1975 al Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav como investigadora adjunta y actualmente ocupa la categoría de investigadora titular 3D. El Departamento de Matemática Educativa cuenta en la actualidad con una planta académica integrada por 28 investigadores, 20 titulares y 8 adjuntos, y una matrícula de 78 estudiantes de maestría y 42 de doctorado.

El interés actual de investigación de la Dra. Rojano Ceballos es el proceso de modelaje en la enseñanza de las ciencias con recursos de informática. En particular le interesa el uso del lenguaje algebraico en la resolución de problemas de las disciplinas científicas como la química y la física. Sobre estos temas ha publicado 20 artículos originales de investigación y 18 en memorias de reuniones científicas de prestigio internacional. En la formación de recursos humanos ha dirigido cinco tesis de doctorado, 19 de maestría y una de licenciatura.

Notas Breves

El **Dr. Enrique Ramírez de Arellano** fue nombrado jefe interino del Departamento de Matemáticas del Cinvestav, a partir del 1º de mayo pasado, en sustitución del Dr. Onésimo Hernández, quien terminó su periodo de cuatro años al frente de este departamento.

El pasado 22 de mayo falleció el **Dr. Carlos Argüello López**, investigador titular del Departamento de Patología Experimental del Cinvestav. Desde 1988 formaba

parte de la planta académica de este departamento después de haber obtenido su grado de doctor en ciencias en el Departamento de Biología Celular del mismo Cinvestav.

El **Dr. Enrico Stefani**, investigador titular de la Universidad de California y ex profesor del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav, fue nombrado director del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Argentina.

Porcentajes de la componente femenina de la planta académica y de la matrícula del Cinvestav correspondiente a 1997. Los números entre paréntesis indican el universo total (hombres y mujeres) del rubro respectivo. De dos rubros no obtuvimos el desglose por área de investigación y no se incluyen en la tabla: auxiliares de investigación: 49% de mujeres de un total de 403 elementos; egresados (1996): 27% (466) en doctorado y 23% (1675) en maestría.

	Investigadoras titulares (%)	Investigadoras adjuntas (%)	Estudiantes doctorado (%)	Estudiantes maestría (%)
Ciencias exactas	15 (84)	12 (26)	29 (131)	22 (64)
Ciencias biológicas y de la salud	21 (97)	33 (40)	49 (195)	52 (158)
Tecnología y ciencias de la ingeniería	13 (88)	22 (60)	24 (153)	24 (275)
Ciencias sociales y humanidades	43 (44)	55 (22)	26 (49)	41 (119)

Desde 1989 la Dra. Rojano Ceballos ha realizado proyectos de investigación conjunta con el Instituto de Educación de la Universidad de Londres sobre el uso de ambientes computacionales para la enseñanza del álgebra y modelación matemática. Recientemente inició un proyecto de colaboración con la Universidad J. Fourier de Francia y la Escuela de Educación de la Universidad de Bristol para formar investigadores especializados en el uso de las telecomunicaciones en la enseñanza de las matemáticas y las ciencias.

La Dra. Rojano Ceballos es responsable desde 1984 de la coordinación de investigación del Programa Nacional de Formación y Actualización de Profesores de Matemáticas (PNFAPM), programa que está a cargo del Departamento de Matemática Educativa del Cinvestav. Este programa se desarrolla en 22 entidades federativas, 17 de ellas situadas en sedes universitarias y las otras 5 en institutos tecnológicos. Su propósito es la formación y actualización de profesores de matemáticas, tanto del nivel medio superior como superior. Se imparte de manera abierta, con la finalidad de que los profesores puedan continuar ejerciendo la práctica docente en sus instituciones de origen.

Con este nombramiento de la Dra. María Teresa Rojano Ceballos, el Cinvestav cuenta con cinco investigadoras situadas en puestos directivos, con responsabilidad académico-administrativa, entre un universo de 22 jefes de departamento, directores de unidad foránea, secretarios y el director general. En abril de 1989, en las mismas páginas de *Avance y Perspectiva*, a propósito de la fundación de la Asociación de Mujeres

Científicas y Técnicas de Países en Desarrollo en Trieste, Italia, se presentaron algunos datos sobre la componente femenina de la planta académica del Cinvestav. En ese año, el porcentaje de investigadoras con responsabilidad en puestos directivos fue del 20%, comparado con el 22% de ahora. Para beneficio de los que aprecian los datos estadísticos en el área del género, en la tabla adjunta se presentan los datos correspondientes a 1997 sobre la componente femenina de la planta académica y de la matrícula del Cinvestav.

Martha Sonia Morales, Premio Martín de la Cruz 1996

El Consejo de Salubridad General, dentro de la convocatoria de los Premios al Mérito 1996, otorgó el Premio Martín de la Cruz a la Dra. Martha Sonia Morales, investigadora titular del Departamento de Química del Cinvestav. Este premio se otorga a investigadores que se han distinguido por sus aportaciones en el desarrollo de fármacos a partir de compuestos vegetales. La Dra. Morales ha realizado importantes contribuciones en el campo de la química farmacéutica, en especial ha desarrollado nuevas rutas de síntesis utilizadas en la preparación de alcaloides indólicos pertenecientes al grupo de la fisostigmina. Estos alcaloides se aíslan a partir de las semillas del calabar y su importancia farmacológica se debe a su uso en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer. En esta misma línea de investigación ha estudiado la síntesis de alcaloides indólicos de origen marino pertenecientes al grupo de las flustraminas.



Dra. Martha Sonia Morales

La Dra. M. S. Morales es química farmacéutica bióloga egresada de la UNAM y obtuvo su doctorado en química orgánica en la Universidad Pierre y Marie Curie de Francia. Se incorporó al Departamento de Química del Cinvestav en 1983. Ha sido distinguida también con el Premio Mexicano de Tecnología Ixta-1987 que es auspiciado por la compañía Ixta. Ha publicado 38 artículos originales en el campo de la química farmacéutica. Tiene tres patentes registradas sobre los procesos involucrados en la preparación de tres variedades del monohidrato del ácido 3-amino-2 propiónico. Una de estas patentes tiene registro en los EUA. En el área de formación de recursos humanos, la Dra. Morales ha dirigido cuatro tesis de maestría y tres de licenciatura.

Ricardo Pérez Fuentes, Premio Jorge Rosenkranz 1996

El pasado mes de noviembre fue entregado el Premio Jorge Rosenkranz 1996 al M. en C. Ricardo Pérez Fuentes, estudiante de doctorado del Departamento de Patología Experimental del Cinvestav. Este premio es patrocinado por el Instituto Syntex con el fin de reconocer el mejor trabajo de investigación realizado en nuestro país en el área de la investigación médica. El trabajo premiado se titula "Enfermedad de Chagas: estudio holístico de la relación huésped-*Trypanosoma cruzi* en individuos de una comunidad del Estado de Puebla", y corresponde al trabajo de investigación desarrollado en su tesis doctoral bajo la dirección del Dr. José Luis Rosales Encina, Investigador titular del mismo Departamento de Patología Experimental. Después de presentar su examen final de doctorado, el M. en C. Pérez Fuentes se reintegrará a la planta académica de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Puebla. En este trabajo de investigación también participan la M. en C. María del Carmen Sánchez Guillén —esposa de Ricardo Pérez Fuentes, estudiante de doctorado del mismo Departamento de Patología Experimental y adscrita al laboratorio de Parasitología del Centro de Investigación Biomédica de Oriente del IMSS en Puebla— así como Carlos González Arias del Servicio de Cardiología del Hospital Ignacio Chávez de la SS.



El objetivo del trabajo premiado consistió en evaluar de manera integral, con un enfoque multidisciplinario, las características inherentes a los factores que participan en la relación huésped-*T. cruzi*. Se estimó la incidencia y presentación de las variantes clínicas de la enfermedad de Chagas en una comunidad del Estado de Puebla, en donde no habían sido registrados casos autóctonos de la enfermedad; los resultados obtenidos sugieren que en esta relación el aislado de *Trypanosoma Sp.*, obtenido del transmisor *T. barberi* en la comunidad bajo estudio, y caracterizado taxonómicamente por microscopía electrónica, representa un factor necesario para la ocurrencia de la infección pero no es determinante de la expresión de las variantes clínicas de la enfermedad crónica.

Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán, México
14 al 18 de julio de 1997

Clame

Comité Latinoamericano
de Matemática Educativa



RELME

Reunión
Latinoamericana
de Matemática
Educativa



Actividades dirigidas a estudiantes, profesores e investigadores

- Conferencias magistrales
- Foros de discusión
- Talleres
- Cursos cortos
- Premio Simón Bolívar
- Revista Latinoamericana

Informes e inscripciones

Departamento de Matemática Educativa
Cinvestav-IPN
Nicolás San Juan No. 1421
Col. Del Valle, C.P. 03100
México, D.F., México

Teléfonos

(52-5) 604 1635
(52-5) 604 1704
(52-5) 688 6312
(52-5) 688 2908

Fax

(52-5) 688 6111

Correo electrónico

clame@mvax1.red.cinvestav.mx
<http://www.cinvestav.mx/clame/>

Convocan: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Cinvestav-IPN UAEN Conacyt SEP ANUIES UNAM ITESM UAT
Gobierno del Estado de Michoacán (México)
Ministerio de Educación de Cuba Universidad de Costa Rica Universidad Pedagógica Nacional Universidad Javeriana (Colombia)
Universidad de Panamá Universidad de la Patagonia Universidad de Puerto Rico Universidad Autónoma de Santo Domingo

Ciencia y conciencia: el museo de la mente

Carlos Chimal

"Algunos son imaginativos, otros muy audaces... Todo tiene que ser probado en términos experimentales, lo demás son buenas intenciones."

P. Rudomin

"Siempre hay una solución harto conocida a cada problema humano; pulcra, posible y equivocada"

H. L. Mencken

Explicar la conciencia se ha vuelto una especie de obsesión en los últimos años. Es una vieja pregunta que nunca había estado tan cerca del canon o, si se quiere, del programa "nuclear"¹ de investigación en las ciencias duras. Lo que hasta hace no más de una década era sólo charla de café o "asunto de filósofos", hoy se debate en los institutos de investigación más importantes del mundo. Estudiar las bases biológicas de la conciencia y explicar los procesos mentales ha producido por lo menos una veintena de libros con éxito notable en librerías² e investigadores de muy diversas áreas han orientado su aparato teórico y experimental hacia ese órgano "gris, blando, húmedo y ruidoso", el cerebro.

Del telar encantado a la nube indiferenciada

El fantasma en la máquina, la posibilidad de un homúnculo, la "maldición" cartesiana ha determinado la discusión acerca del surgimiento de la conciencia,

Carlos Chimal, escritor interesado en la comprensión pública de la ciencia, es colaborador de Avance y Perspectiva.

que no es más que una forma de volver a enunciar el problema de la relación mente-cuerpo o, en palabras de Bronowski, de la relación mente-cerebro.

Antes que Descartes, nadie había intentado una definición precisa del alma y el cuerpo. Con ella estableció un vínculo sustantivo entre la metafísica y la fisiología, que subsiste en nuestros días. El argumento cartesiano adquirió una extraordinaria sinergia y produjo cuatro formas de concebir lo que está pasando adentro de nuestras cabezas. Dualismo, monismo, mecanicismo y vitalismo son marcas de las que nadie puede acabar de desprenderse cuando se tratan de explicar las causas y origen (u orígenes) de la conciencia.

Y es que la relación mente-cerebro pasa forzosamente por el lenguaje. Como lo expresó Susan Greenfield durante nuestra entrevista, "nadie sabe lo que está sucediendo en el interior porque no se puede abrir la cabeza de una persona y efectuar las pruebas correspondientes. Así que tenemos que hacer un correlato con base en la experimentación sobre animales". Si la experiencia del conocimiento pasa por el lenguaje, no es difícil suponer que con mucha frecuencia se recurra al uso de metáforas y analogías para explicar los argumentos y conjeturas. Susan Greenfield, David Chalmers y Stuart Hameroff tienen, desde luego, diferencias por la disciplina desde la cual abordan el asunto de la conciencia, eso es obvio. Más interesante puede resultar descubrir que muchas de estas diferencias se explican por el tipo y la calidad de las metáforas, así como por la intencionalidad de su discurso, tanto en sus escritos como en sus exposiciones orales, frente a un medio electrónico o frente a un público real. Neurofisiólogos, químicos, ingenieros eléctricos, físicos, filósofos se preguntan: ¿Cómo debería escribirse una teoría de la mente?³

En los años 50 se creía que el sistema nervioso funcionaba como una especie de máquina de captar y representar información. Era algo que algunos autores llaman una "nube indiferenciada"⁴. Se trataba de una cibemática difusa que, no obstante, durante los siguientes 20 años se transforma y cristaliza en un paradigma computacional cognitivista, es decir, basado en la idea de que lo mental es similar a una computadora: la manipulación simbólica a través de reglas. La década de los 70 nos trae una versión mucho más reducida de esa nube⁵.

Hacia una teoría de la mente

A partir de entonces, y desde la trinchera filosófica o desde el laboratorio farmacológico y físico, en el pizarrón y sentados frente a la computadora, se comenzaron a buscar formas eficaces de poner en duda la metáfora computacional cognitiva, que propagaba la idea del cerebro como un mero computador de información. Ya se veía que el puro concepto de "información" no era más que un flogiston. Todo mundo hablaba de él pero nadie sabía lo que quería decir.

Sólo si se replantea la naturaleza del problema mente-cerebro es posible encontrar las preguntas adecuadas que, sólo entonces, podrán llevarnos a explicar por qué existe la conciencia y, sobre todo, un registro de ella misma. A pesar de las objeciones monistas de Malebranche y Spinoza al dualismo y el incipiente holismo de Leibnitz, el impacto del dualismo cartesiano en las ciencias, sobre todo en la medicina y, más tarde, en la biología, fue tal que aún en nuestros días causa estragos y conduce a callejones sin salida. Agujoneados por la flecha del tiempo, los modernos mecanicistas no concebían el cuerpo humano como una burda máquina. La biología moderna tampoco acepta ninguna forma de vitalismo y, no obstante, sigue ésta reflejándose en los modelos del binomio cerebro-mente, podría decirse, en grado exuberante.⁶

Para los mecanicistas modernos, un organismo vivo es una estructura molecular, una pieza mecánica, hidráulica, termodinámica, eléctrica, óptica, química. Es un todo que presupone la existencia de sus partes y que tiende a mantenerse y a repararse por sí misma. En la teoría del cuerpo como un autómatas, por ejemplo, y en el desarrollo de la neurología clínica y experimental de los siglos XVIII y XIX, así como en el estudio de la actividad refleja del sistema nervioso central, dicha concepción mecanicista es llevada hasta sus últimas consecuencias.⁷

Con el advenimiento de la física contemporánea, en particular con las revisiones a la mecánica cuántica "clásica", el determinismo fue sustituido por la probabilidad estadística y el concepto de "causa" por el de "condición". No obstante, la medicina y la biología siguen bajo la tutela de un determinismo riguroso, heredero del mecanicismo "transparente", tal como fue expuesto por Thomas Hobbes en su *De Corpore*



(1655). Para él, el pensamiento no es más que la consecuencia del movimiento de ciertos órganos. De la razón no podemos concluir nada que se refiera a la naturaleza de las cosas, sino solamente con referencia a sus apelativos. Esto es, por medio de la razón sólo veremos si los nombres (énfasis mío) de las cosas se reagrupan bien o mal, según las convenciones que hayamos establecido a nuestro arbitrio para sus significados.

El cuerpo es, de esta manera, el único objeto posible de conocimiento; con ello el mecanicismo afirmó una estrecha dependencia causal de la actividad espiritual humana respecto de la actividad del cerebro. Hacia mediados del siglo XIX esta relación parecía incuestionable, si bien se había levantado desde el XVIII una ola crítica que culminó con el vitalismo. En 1854, críticos, como el zoólogo Karl Vogt, se burlaban de esta relación dependiente y les preguntaban a los mecanicistas si el pensamiento tendría, en consecuencia, la misma relación que la bilis con el hígado o la orina con los riñones.

El vitalismo propone que los fenómenos biológicos no pueden ser enteramente explicados mediante causas o mecanismos físicos o químicos y que tratar de "traducir" las leyes biológicas a las leyes de la física o de la química es un reduccionismo burdo. Afirma que un organismo jamás podrá ser producido en forma artificial en un laboratorio y que la investigación científica nunca podrá aprehender la esencia de la vida, ya que

su método es mecanicista y, por tanto, reduce la actividad del sistema nervioso a un conjunto de actos reflejos y niega, con ello, que pueda haber algo más allá, una especie de *elan vital* que actúa siempre en términos de valores y propósitos.

El organicismo de Kurt Goldstein fue un intento de escapar a la pugna entre mecanicismo y vitalismo, aunque tampoco pudo articular ningún relato del todo convincente. Habla de tres sustancias (espíritu, alma y cuerpo) que entran en contacto a través del cerebro. El cuerpo es una "imagen física determinada y multiforme", mientras que los procesos mentales son sólo diferentes conductas del organismo frente al medio. Puesto que un organismo no puede ser visto como una máquina, pues se trata de un todo indisoluble, la única forma de comprenderlo es en términos teleológicos, finalistas. Y si bien hay quienes suponen que la esencia de la vida es cognoscible en términos físico-químicos, y que sólo es cuestión de tiempo completar su conocimiento, hay quienes prefieren adoptar un agnosticismo en su biología. Edmund W. Sinnott, al igual que los filósofos Merleau-Ponty, y el matemático J. Bronowski opinaron que debemos declarar nuestra ignorancia en muchas áreas relativas a la mente; pensaban también que no debemos renunciar a la posibilidad de explicarla.

Gilbert Ryle, al igual que Arthur Koestler, señalaron en su momento que el error del dualismo cartesiano y del vitalismo es suponer que dentro de los cuerpos animados existe un homúnculo ordenador de sus movimientos. Esa idea ha sido recuperada en forma literaria⁸ y también se ha convertido en otro más de los fantasmas que arrastra el "telar encantado", como lo llamaría Sherrington al exponer la complejidad del asunto.

John Eccles⁹ y Karl Popper, por su parte, desecharon el dualismo e imaginaron tres sustancias, tres mundos posibles. El primero de ellos está constituido por los objetos y estados físicos, y que incluyen el mundo inorgánico, los seres vivos y los artefactos creados por los seres humanos. El segundo está formado por los estados de conciencia y del conocimiento subjetivo, las experiencias personales de percepción, pensamiento, emociones, memoria, sueños e imaginación creadora. El tercero comprende el conocimiento objetivo e incluye el registro de todas las literaturas,

filosofías, teologías, ciencias exactas y sociales, tecnologías y expresiones artísticas. Es el "rizoma que mantiene orquestadas las mentes cuyo único propósito es desafiar la entropía"¹⁰. Sin embargo, el modelo de Eccles y Popper también es insuficiente, pues no explica las relaciones entre el cerebro y la mente, sólo las describe.

El hecho de que algunas de nuestras funciones corporales sean reguladas de manera automática, como el control de la temperatura y la producción de hormonas, condujo al estudio de la retroalimentación en los seres vivos. Su modelo, la teoría de sistemas, ha querido explicar, con éxito en algunas áreas, el funcionamiento de los seres vivos. La máquina dejó de tener significado; lo que en realidad debía quedar explicado era qué hacía la máquina.

Daniel C. Dennett, en un intento por revitalizar la metáfora computacional, dice en la introducción de su libro más reciente¹¹: "Nuestras mentes son telares muy elaborados, tejidos con hilos de muy diversa índole y procedencia, e incorporan muchas clases de diseños. Algunos de sus elementos son tan antiguos como la vida misma, otros tan nuevos como la tecnología de nuestros días. Nuestras mentes son como las de otros animales y, al mismo tiempo, muy diferentes. Una óptica evolutiva puede ayudarnos a comprender cómo y por qué estos elementos mentales han llegado a tomar la forma que tienen". El cerebro humano es una máquina virtual. Importa su circuitería (*hardware*) pero, en el caso de la mente, importan más la lógica de su operación y sus programas (*software*) que trabajan en paralelo. Según él, hacemos cosas intencionales todo el tiempo, es decir, ponemos en juego nuestra mejor jugada (*smart moving*, lo llama Dennett) porque, de otra forma, no sobreviviríamos en este mundo. Poseemos "qualia" (cualidades mentales), un "operador de significados central" (*central meaner*), que procesa la información (*multiple drafts*) y la dota de sentido para cada uno de nosotros, y un "homunculus", es decir, una imagen pequeña o un mapa de nuestro cuerpo que radica en nuestro cerebro y es revisada todo el tiempo por el operador de significados. ¿Es la computadora una metáfora del funcionamiento del cerebro o una explicación real?

Roger Penrose, por su parte, desafía los postulados de la física que rigen la actividad cerebral y ha

propuesto su propio "reduccionismo objetivo" en términos de una mecánica cuántica revisada. Según él, una actividad particular de las mentes conscientes, la comprensión de las matemáticas, no puede explicarse dentro del ámbito de la física clásica porque implica la posibilidad real de entender números no computables. Las mentes pueden comprender cosas que no pueden probarse dentro del ámbito matemático. Hay aspectos en el mundo de la mente que permiten suponer una comprensión clara de verdades matemáticas no computables. Además, puesto que la física clásica y la física cuántica son procedimientos computables y deterministas, y debido a que el teorema de Gödel claramente indica que los sistemas algorítmicos o computables son incompletos, es posible deducir que la cuántica "ordinaria" es inadecuada para explicar la mente. Penrose ofrece una alternativa al dilema del gato de Schrödinger. La superposición de estados descritos que predice el vector de estado cuántico clásico es sustituida por una "reducción objetiva" de ese estado en un nuevo vector.

A grandes rasgos, es como sigue. Si dos estados existen en una superposición cuántica, cada uno posee campos gravitacionales cuánticos ligeramente diferentes, los cuales seguirán su propia evolución en el tiempo. Esto induce a una divergencia en la trayectoria, en la evolución temporal de ambos vectores de estado hasta tal punto que no podrán coexistir. De pronto, ambos estados "saltan" y se localizan en un estado o en otro. El sistema se colapsa entonces en una de sus posibilidades y eso es lo que mira el observador. A diferencia de la "reducción subjetiva", aleatoria, que postulaba la teoría cuántica clásica, donde el observador inducía el colapso del gato (vivo o muerto), Hameroff-Penrose proponen un colapso o salto "automático", lo cual genera diversos patrones de estados conformacionales de los microtúbulos y sus proteínas, las tubulinas, que regulan actividades neuronales, como la sinapsis. Más adelante se abunda en ese tema, durante la entrevista con el Dr. Hameroff.

Los tres grandes modelos de los organismos vivos, el reloj, la máquina de vapor y la computadora, han sido muy útiles para representarnos el problema mente-cerebro. Ahora tal vez sea necesario encontrar nuevas analogías a los correlatos experimentales que están surgiendo en muchos laboratorios del mundo. El panorama entre dos riberas opuestas por el destino, la



ciencia y la conciencia, se asemeja más a un museo que a un mosaico o a un paisaje.

Es, sobre todo, un espacio de discusión, conjetura, hipótesis, sugerencia, metáfora. Es más la imaginación puesta en juego que el desarrollo franco hacia una ciencia normal, khuniana. Las propuestas son contradictorias, a veces caprichosas, muy dependientes de la personalidad del expositor. Tanto Greenfield, Chalmers y Hameroff, sin embargo, mantienen hipótesis eficaces y fundamentadas en cuanto a su argumentación discursiva, narrativa.

Los hechos experimentales son, por ahora, escasos. Como lo dijo el Dr. Pablo Rudomín al clausurar el coloquio, "debemos, a pesar de todo, mantener este puente entre quienes, con inteligencia y honestidad, se acercan al problema mente-cerebro mediante la especulación y aquellos que tratan de explicar el surgimiento de la conciencia con bases experimentales. Es importante alentar los estudios neurofisiológicos que nos ayuden a explicar los procesos cognitivos, a pesar de las enormes dificultades que acarrea el hecho de

que la conciencia es una experiencia personal y, por tanto, fatalmente subjetiva. El camino es largo".

Susan Greenfield y la piedra Rosetta del cerebro biológico

Investigadora en el área de la farmacología (U. de Oxford), Susan Greenfield es autora de un interesante libro sobre la conciencia y su relación con diversos fármacos¹². Es notable lo "consciente" que está ella de las metáforas. Durante sus exposiciones en el Cinvestav y a lo largo de la entrevista para *AyP* se refiere con frecuencia al asunto. De hecho, la hipótesis de Greenfield es una larga e ingeniosa metáfora que hace alusión a la famosa piedra de Rosetta¹³, de manera que, a través de un lenguaje conocido (el griego, la química neuronal) se pueda establecer el correlato con un arcano (la escritura demótica y jeroglífica, es decir, el cerebro y su experiencia consciente).

Según su modelo "concéntrico", grupos de neuronas forman ensambles transitorios. Es concéntrico pues



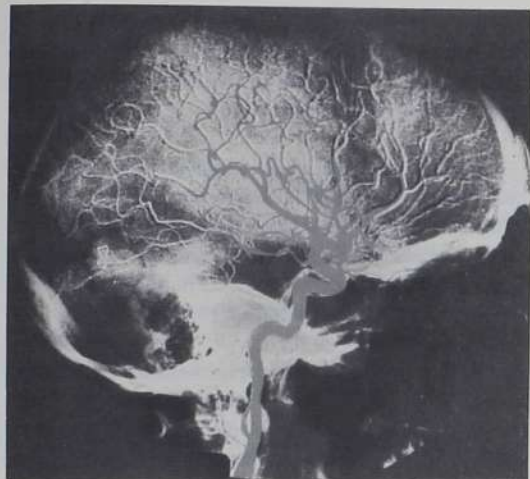
se asemeja a la caída de una piedra en el agua. Entre mayor es la excitación neuronal, más grande es la amplitud de onda desde un epicentro que parece corresponder a la profundidad de esa experiencia consciente. Así, para Greenfield la conciencia es una propiedad emergente de ensambles neuronales transitorios, cuya amplitud determinará el grado de conciencia experimentado. Los factores que gobiernan la formación de ensambles son los siguientes:

- grado y significado del estímulo (cuán amplia es la onda en el epicentro neuronal);
- estatus ortogenético (el estado de desarrollo fenomenológico) y filogenético (grado de conectividad fisiológica) del cerebro;
- niveles de "convocatoria" o alcance de la excitación neuronal;
- disponibilidad de amina¹⁴ en el cuerpo.

Greenfield ha conjugado estos factores en su búsqueda de correlatos de la conciencia con base neurológica. Ella piensa que en estados típicos, como el despertar de la conciencia en algún momento fetal o no, los sueños, el dolor y el miedo, la esquizofrenia, experiencias de la "muerte chiquita" como el salto en bungee, haciendo la cruz invertida desde 40 o 50 metros de altura, y los accidentes de tránsito, o bien luego de ingerir drogas como el éxtasis, en todos esos momentos el ensamble de neuronas es múltiple y armónico. Un grupo de neuronas, dependiendo de la experiencia a la que esté sometido cada individuo (gestándose en el vientre materno, soñando, con una pierna destrozada después de un choque, saltando al vacío, con hongos encima) se reunirá alrededor de un punto durante un lapso finito. Cuando el estímulo cesa (el efecto de la piedra en el agua termina) las neuronas convocadas regresan a un estado de calma (y las ondas se desvanecen).

La traducción de la "piedra Rachid de la conciencia" que Susan Greenfield propone es como sigue:

Mundo fenomenológico				Realidad fisiológica
Conectividad neuronal	Epicentro	Excitabilidad neuronal	Duración del ensamble	Tamaño del ensamble
escasa	fuerte	alta	largo	pequeño (asociado a la niñez)
amplia	débil	baja	corto	pequeño (asociado al sueño)
amplia	fuerte	alta	largo	pequeño (asociado a los accidentes)
amplia	fuerte	alta	corto	grande (asociado al dolor)
amplia	fuerte	alta	largo	pequeño (asociado a la esquizofrenia)
amplia	fuerte	media	corto	grande (asociado al pensamiento abstracto)
amplia	fuerte	baja	muy corto	grande (asociado a la expresión articulada)
escasa	fuerte	media	corto	pequeño (asociado al Alzheimer)



"Podemos usarla", nos dice Susan Greenfield, "en cualquier dirección. Podemos empezar articulando el sustrato químico-neurológico y buscar sus vínculos con el mundo fenomenológico, sus relaciones con ciertas caricaturas de la conciencia. O bien, podemos ir en la otra dirección, mirar las condiciones fenomenológicas, ciertos tipos de conciencia, y tratar de explicarlas en función del sustrato neuronal".

Según ella, lo que habilita la ensambladura de neuronas son las dendritas. Entre más ramificaciones nerviosas haya, mayor podrá ser el alcance del acto consciente. La extensión de un ensamble neuronal, capaz de generar una experiencia consciente, depende de la magnitud del estímulo, del grado de conectividad celular y de la receptividad, de acuerdo a la presencia de determinadas sustancias químicas. Así, por ejemplo, el ensamblaje de un bebé que mira una taza de café es pequeño y de corta duración, ya que percibe formas y experimenta sensaciones que aún no ha relacionado. En cambio, para un adulto que no puede pasar los primeros momentos al despertar sin café, la sola imagen de la taza humeante genera una cascada de relaciones que se traducen en un ensamble neuronal extenso y más duradero. Así que ensambles neuronales cortos, con un epicentro débil, es característico de la primera edad, el sueño y los estados esquizofrénicos.

No deja de llamar la atención, asimismo, que la investigadora visitante haya iniciado su conferencia final mostrando la foto de George B. Shaw como un sím-

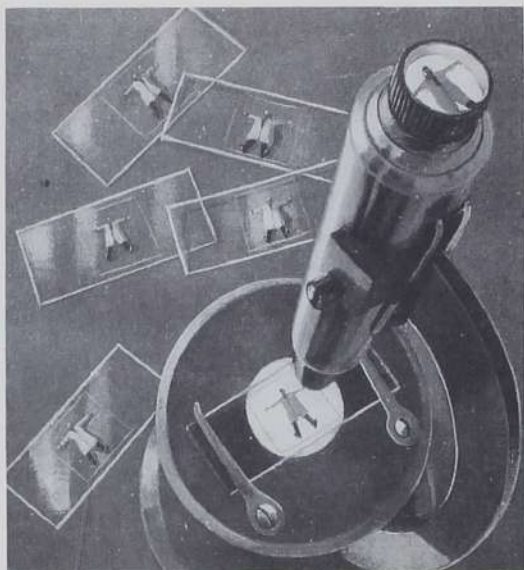
bolo de la conciencia, ya que una de las piezas más famosas del escritor irlandés que decidió viajar para conquistar Londres es *Pygmalion* (filmada bajo el título de *Mi bella dama*, con Audrey Hepburn y Rex Harrison). La historia tiene su punto culminante cuando la peladita que vende flores a la salida del teatro adquiere, gracias al método científico de Higgins, el acento para engañar a la aristocracia londinense pero no tiene noción alguna de lo que hoy se llama "políticamente correcto", provocando con ello escenas muy jocosas. ¿Puede el cerebro de Eliza Dollittle, hija de un carbonero, adquirir el "programa" adecuado, sin tener conciencia de su significado?¹⁵

Carlos Chimal (CCh): Usted ha dicho que un buen punto de arranque es esclarecer qué fuerzas o factores controlarían la formación de ensambles neuronales. ¿Cuál es la relación de estas ensambladuras con el surgimiento de la conciencia?

Susan Greenfield (SG): Existen dos líneas que evidencian la relación entre diversos grupos de neuronas y la conciencia. Los experimentos en animales, como los que realizó Grinvald en Israel con marcadores fluorescentes, sensibles a un impulso eléctrico y colocados en ciertas regiones nerviosas de ranas o en la corteza cerebral de gatos, muestran que la respuesta a un estímulo provoca un notable aumento en la actividad de un gran grupo de neuronas alrededor de un centro. Poco a poco, dicha actividad se disgrega en ondas hacia otras partes y desaparece.

Desde luego, esto no demuestra que la rana o el gato estén conscientes (aunque a veces estos últimos me hacen dudar). Tan sólo nos describe cómo se comporta un cerebro vivo que no es el humano, pues si alguien intentara realizar experimentos con el cerebro expuesto de una persona se metería en serios problemas. Aun así, otro tipo de experimentos en seres humanos, con técnicas no invasivas, apoyan esta idea.

Por ejemplo, se registró en voluntarios la actividad cerebral frente al dolor. Se les pidió que avisaran en qué momento sentían la fina aguja que iba a picarlos en una mano. En milisegundos, el cerebro ya estaba registrando el toque de la aguja y, sin embargo, ningún individuo registró nada hasta después de cierto periodo. Esto me hace suponer que necesitamos reclutar muchas células antes de que aparezca la conciencia. Si



bien el cerebro puede procesar las señales que envían los sentidos, adquirimos conciencia de ello sólo hasta que se han agrupado en un número mucho mayor de células nerviosas, rebasando los límites del área típica dedicada a cada uno de los sentidos.

Sabemos que no hay una zona fija en el cerebro donde resida el centro de la conciencia, así que el único modelo factible es el del ensamblaje neuronal. Debo hacer notar que se trata de un ensamblaje transitorio, a veces muy efímero. Las neuronas componentes de estas ensambladuras pueden llevar a cabo funciones muy diversas en el funcionamiento regular del cuerpo y, no obstante, ser convocadas en determinadas experiencias conscientes.

CCh: Usted mencionó tres propiedades que caracterizan su modelo concéntrico. ¿Puede comentarlas para nuestros lectores?

SG: El cerebro está compuesto de diversas regiones, fáciles de distinguir a simple vista. Los hemisferios son como pueblecillos, divididos por sinuosos caminos o surcos, los ventrículos cavemosos. Durante largo tiempo se ha creído que las diversas regiones cerebrales tienen una función específica con respecto al mundo exterior. Se hablaba de un "centro del lenguaje", un "centro de la memoria". Ahora sabemos que el cerebro no funciona así. Hablemos del caso

clásico de la visión. Hoy conocemos al menos 30 regiones distintas en el cerebro humano que contribuyen a conformar la capacidad de ver. No existe, pues, un cerebro dentro del cerebro.

Se trata, más bien, de regiones potencialmente múltiples en el tiempo y en el espacio. Cualquiera de estas áreas puede ser crítica en determinado momento de la conciencia y dejar de serlo en otra circunstancia. Esta es la primera propiedad, no hay un solo centro, hay muchos centros potenciales.

CCh: Algunos autores experimentales de la teoría cognitiva, como Francisco J. Varela, hablan de "vibraciones orquestadas", luego de realizar pruebas en epilépticos voluntarios del hospital de La Salpêtrière. Francis Crick se refiere a "oscilaciones" en el núcleo reticular del tálamo. Esto se acerca a su idea del "cerebro plástico", ¿no es así?

SG: Esa clase de evidencias ha despertado un enorme interés entre los científicos, como Stuart (Hameroff). Rodolfo Llinás ha registrado oscilaciones de 40 hertz entre diversas regiones del cerebro, en lo que él llama el circuito tálamo-cortical. Todos estos datos son importantes y muestran una actividad coherente entre los órganos del cerebro.

Por definición, no se puede estar consciente de nada, pues entonces se está inconsciente. Hay algo que dispara un ensamble de neuronas lo suficientemente profundo y largo para despertar la conciencia.

CCh: Con respecto a una segunda condición que caracteriza el surgimiento de un acto consciente, no se sabe si los animales, un feto o un bebé están conscientes o no y en qué momento aparece ese "chispazo". ¿Puede ampliar su argumento?

SG: En este momento, al menos en Inglaterra, hay un debate candente a fin de esclarecer si el feto es consciente o no y, desde luego, no solamente por razones científicas y filosóficas, sino también por motivos legales. Los ingleses están preocupados por los medicamentos que se administran a las mujeres embarazadas y la legalidad del aborto. Mi punto de vista personal es que el feto debe estar consciente, ya que, simplemente, no hay alternativa. Supongamos que no lo está. Entonces debe adquirir conciencia al nacer. Sin

embargo, hay quienes nacen a los siete meses, muchos a los nueve y hay otros que deben ser liberados mediante cesárea. ¿Cuándo surge la conciencia? ¿Un día después, a los seis meses, al año? No. Sin duda, tampoco sucede cuando el huevo ha sido fertilizado. La conciencia debe aparecer alrededor de las 46 semanas, cuando ya existe un cerebro primitivo. Y debe surgir no como un interruptor que, súbitamente, se prende, sino más bien como un continuo, en el que la conciencia crece conforme aumenta la talla del cerebro, maduran los diferentes órganos y se desarrollan las células que conforman el sistema nervioso, aún rudimentario.

CCh: No se trata, pues, de un fenómeno "binario", de todo o nada.

SG: Así es. La conciencia crece en la medida que aumenta la complejidad cerebral. Esta podría ser una manera de explicar la profundidad de la conciencia. A pesar de ser muy hábiles para sobrevivir, las ratas no parecen ser tan conscientes como los gatos, y éstos menos que los chimpancés. George B. Shaw o Van Gogh seguramente tuvieron experiencias aún más profundas y prolongadas.

CCh: Se ha tratado de incorporar a una teoría de la mente el concepto de complejidad. ¿Cuál es su opinión?

SG: Si bien se trata de una idea interesante, es inadecuada para explicar lo que sucede en el cerebro biológico. Los modelos actuales del cerebro no consideran el papel de las sustancias químicas y su relación con nuestra personalidad, nuestro comportamiento y nuestra conciencia del mundo. Como he dicho, no es una simple cuestión de encendido y apagado, de un aprendizaje de adaptaciones o experimentos, ni tampoco de excitación e inhibición. Hay un factor cualitativo, muy distinto, del cual los fármacos pueden darnos claves para entender la conciencia a partir de los procesos químicos que se llevan a cabo en el cerebro.

CCh: ¿Cuáles son las perspectivas de este campo novedoso?

SG: Al menos, gran parte de la renuencia de los científicos por atacar el asunto se ha atenuado en los últimos años. Desde mi punto de vista, el vacío entre

los científicos y los filósofos es que, según estos últimos, los primeros ignoran un elemento primordial en la experiencia consciente: la subjetividad, algo que ellos llaman "qualia"¹⁶. Y los científicos creen que esta subjetividad sólo causa "ruido" en la construcción de un modelo. Creo que ambos tienen que hacer un esfuerzo. Por eso, insisto, los fármacos son una buena herramienta bilingüe, ya que permiten indagar no sobre lo aprendido o recordado, sino sobre los sentimientos. Uno puede comparar sentimientos luego de administrar un fármaco a diferentes personas voluntarias, dispuestas a relatar su experiencia. Siento que, en lugar de perder el tiempo en tratar de construir computadoras que traten de simular ser conscientes, deberían construir máquinas útiles...

CCh: ¿Como corresponsales de guerra o en sondeos peligrosos?

SG: Justamente. Estoy convencida de que es necesario observar más el cerebro mismo y tratar de incorporar el mayor número de correlatos experimentales a fin de obtener lo más pronto posible un marco que permita explicar lo subjetivo en función de lo objetivo.

CCh: ¿Consideraría usted una tautología el propósito de construir un cerebro artificial?

SG: En efecto. Ignoran, además, que la morfología física tridimensional del cerebro y de las sustancias químicas que en él operan son factores esenciales que una computadora no puede replicar. La naturaleza de los neurotransmisores no se conoce del todo...

CCh: La química está en el fondo de la conexión mental.

SG: Eso creo. Las nuevas balas mágicas, al ser más limpias (en el sentido de que se dirigen con mayor especificidad al blanco químico o diana) ofrecen la posibilidad de esclarecer las conexiones entre las diversas regiones del cerebro. Pensemos un momento en el dolor. También se ha ligado a un código binario, todo o nada, y no es así. Sabemos ahora que nuestro umbral de dolor varía en forma notable durante el transcurso del día. Los combatientes afirman no haber sentido dolor alguno hasta mucho después de haber terminado una batalla. O el caso de uno de los analgésicos más antiguos y eficaces, la morfina. Actúa de

una manera muy interesante: las personas dicen seguir sintiendo el dolor, simplemente deja de importales. Esto me indica que la profundidad del dolor que uno siente se refleja en la profundidad del ensamblaje neuronal en ese momento. Por ejemplo, si nos dicen que vamos a sufrir un terrible dolor y tenemos el tiempo suficiente para crear muchos ensambles, es decir, diversos escenarios, entramos en un estado de plena conciencia sobre esa posibilidad. En un accidente o en un combate, una multitud de ensambles neuronales cortos aparecen y desaparecen, pues no hay tiempo de pensar. Tal vez la acción de la morfina es disminuir la eficiencia sináptica de las células nerviosas y genera ensamblajes de un tamaño adecuado para "enviar" el dolor a un segundo plano.

Hameroff y el reduccionismo "objetivo" de Roger Penrose

Stuart Hameroff es médico anestesiólogo y profesor de psicología en la U. de Arizona en Tucson, donde dirige el Centro de Estudios sobre la Conciencia y edita la serie *Towards a Science of Consciousness* para la imprenta universitaria del M.I.T. En fecha reciente, el Prof. Hameroff ha colaborado con el famoso matemático Roger Penrose en la búsqueda de una solución cuántica que explique el surgimiento de la conciencia. El modelo de Hameroff-Penrose trata de explicar sucesos difíciles de entender a través de las neurociencias "convencionales" y para ello se apoya en aspectos revisados de la teoría cuántica (por ejemplo, el concepto de coherencia), así como la existencia de un fenómeno físico, inédito hasta ahora, que parece darse en el interior de las neuronas cuando la función de onda cuántica se colapsa por sí misma en una "reducción objetiva orquestada", pues no requiere de la presencia de un observador a fin de que se realice el colapso o reducción de estados.

Se trata de un análisis muy detallado de la arquitectura, con mediciones sorprendentes sobre los posibles efectos de orden cuántico en un nivel subcelular. El modelo supone la existencia de unos microtúbulos en las neuronas donde parecen efectuarse sucesos cuánticos de reducción objetiva. Dichos microtúbulos son cilindros huecos de 25 nanómetros de diámetro y cuya longitud varía mucho. En algunos axones pueden encontrarse microtúbulos muy largos. Se trata de una re-

ducción "orquestada" porque moldea lo estados de conciencia mediante una red de proteínas asociadas a dichos microtúbulos, llamadas tubulinas, que actúan como "nódulos" donde se afinan y orquestan las oscilaciones cuánticas.

Inspirado en la idea de Kurt Gödel, según la cual todo sistema lógico formal es, por naturaleza, incompleto, la posición de Penrose sugiere que ninguna máquina de computación podrá ser inteligente como un ser humano, ya que los sistemas formales algorítmicos, es decir, los sistemas de instrucciones secuenciadas sobre los cuales están construidas las computadoras nunca les otorgarán la capacidad de "comprender" y "encontrar verdades" que los seres humanos poseen.

CCh: Dr. Hameroff, ¿podría esbozar a nuestros lectores cómo la física cuántica se relaciona con la conciencia?

Stuart Hameroff (SH): Hay dos asuntos específicos donde nuestro modelo cuántico puede contribuir a esclarecer el problema de la conciencia. El primero se refiere al yo. La identidad personal es una unidad irreducible, un elemento intrínseco de la realidad. Un estado cuántico también es una sola entidad; de hecho, es lo único indivisible que conocemos en la naturaleza. La inseparabilidad cuántica, o no localización, implica que todos los objetos cuánticos que alguna vez han interactuado siguen, de alguna manera, en contacto. Así, cuando dos sistemas interactúan, sus funciones de onda conforman una red neuronal en paralelo. Si una función de onda se colapsa, la otra, no importa cuán lejana se encuentre, también se colapsa. La conexión no localizada o "red cuántica" es instantánea, independiente de la distancia e indica que las entidades cuánticas, al compartir una función de onda, son indivisibles. Podría decirse que la conciencia es una entidad indivisible que se mantiene en un estado cuántico clásico en el cerebro y se colapsa en forma periódica.

El segundo aspecto en el que nuestro modelo puede arrojar luces es en lo que llamamos el "problema de fondo de la experiencia", planteado por varios filósofos. ¿Qué es la experiencia? ¿Por qué tenemos experiencias? Podríamos ser simplemente autómatas. ¿Cuál es la necesidad de estar conscientes de nuestros actos? Antes de contestar estas preguntas, Penrose y yo nos propusimos entender la arquitectura

física del cerebro. Concluimos que la experiencia se encuentra incrustada o codificada en el nivel fundamental de la realidad física, es decir, en dimensiones cercanas a la constante de Planck ($h = 6.62618 \times 10^{-34}$ J-s). La conciencia es un proceso auto-organizado en el nivel fundamental de la geometría del espaciotiempo einsteiniano, al igual que la realidad misma.

CCh: Paul Davies acepta que la mecánica cuántica podría agregar un punto de vista muy valioso al problema mente-cerebro. No obstante, cuestiona lo que, según él, son puntos débiles en su modelo. Considera como sería objeción el hecho de que la temperatura del cerebro sea de unos 37°C , lo cual es una temperatura más allá de lo razonable para que se dé la coherencia cuántica y no se convierta en un ambiente confuso. Según Davies, es necesario un mecanismo ambiental que proteja la coherencia cuántica.

SH: Sabemos que, por lo común, fenómenos cuánticos como los superconductores y los superfluidos necesitan conservarse a temperaturas bajo cero, a fin de que sus átomos constituyentes mantengan coherencia cuántica. Esto sucede también cuando se envía energía en forma de cuantos, como es el caso de los láseres. Sin embargo, varios autores han sugerido que los canales iónicos, el ADN, mecanismos pre-sinápticos y microtúbulos en el citoesqueleto de las células nerviosas podrían llevarse a cabo efectos cuánticos "clásicos" que actuarían como mediadores, digamos, en la transición de estados previos a la conciencia. Beck y Eccles (1992) propusieron la presencia de un "yo consciente" externo que podría influir en los efectos cuánticos aparentemente aleatorios, los cuales actúan dentro de cada axón durante la liberación de un neurotransmisor en la vesícula pre-sináptica. Desde nuestro punto de vista, la zona factible donde pueden realizarse sucesos cuánticos sin perder la coherencia cuántica, donde se concreta la reducción objetiva orquestada y, por tanto, donde se dispara la conciencia la constituyen los microtúbulos del citoesqueleto.

Dichos microtúbulos son aislados en forma periódica (unas 40 veces por segundo) mediante un gel activo en el interior de las neuronas mientras dura la fase de coherencia cuántica. Cuando el estado se colapsa, el gel se disuelve y permite la propagación y el intercambio con el ambiente a lo largo de la red integrada de cadenas de proteínas que llamamos, pre-

cisamente, citoesqueleto. Hemos encontrado que tales redes de organización autónoma también desempeñan funciones en otras células del sistema nervioso y en las del sistema circulatorio. Más tarde, el gel se reconstituye y vuelve a aislar los microtúbulos, de tal manera que la superposición cuántica restaura la coherencia cuántica, se pierde el límite gravitacional necesario para la reducción objetiva y así continúa el ciclo, con periodos regenerativos del gel y aislamiento, seguidos de apertura, auto-colapso y conexiones en paralelo.

CCh: Regreso a Paul Davies. Piensa que no queda demostrado de manera suficiente el que estos efectos puedan propagarse y recorrer distancias tan grandes como un par de centímetros dentro del cerebro.

SH: Nuestro modelo predice la participación de, al menos, mil millones de microtúbulos, es decir, varios cientos si no es que miles de neuronas. ¿Cómo es que esta coherencia en el interior de una neurona deviene en un estado macroscópico cuántico en todas esas células? Gracias a los canales iónicos (*gap junction*) que permiten una comunicación directa entre las neuronas y establecen continuidad entre el citoplasma de las células adyacentes y una simetría estructural entre las zonas donde se llevan a cabo las funciones pre y post-sinápticas. Como se sabe, es más probable que esta comunicación neuronal tan rápida sea de naturaleza eléctrica y no química.

La comunicación cuántica entre dendritas y neuronas, entre éstas y las células gliales, o entre axones y dendritas se produce por dichos canales. Visto de esa manera, podemos afirmar que hay un mecanismo mediante el cual es posible conjuntar el mayor número de células en un gigantesco complejo neuronal a fin de experimentar un estado más o menos consciente. Así, la anestesia inhibe los estados de superposición cuántica y el paciente pierde la conciencia. Cuando soñamos, la superposición existe pero es insuficiente, de manera que podemos o no despertar, o tal vez abramos los ojos unos segundos y regresemos al sueño¹⁷.

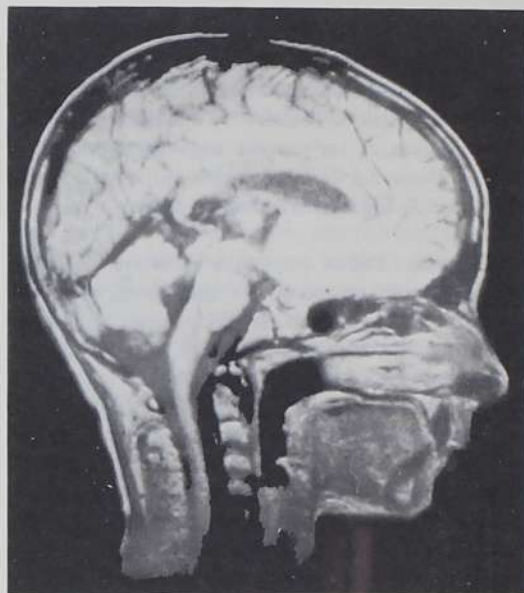
CCh: Según una explicación muy difundida de la conciencia, las redes neuronales alcanzan un nivel crítico, complejo, según la dinámica no lineal, de manera que en ese momento surge la conciencia como un fenómeno nuevo. ¿Qué opina usted?

SH: No hay pruebas de ello. En una suposición elegida por eliminación. No resuelve el aspecto fundamental de la geometría espaciotemporal donde suceden esos fenómenos. En nuestro modelo describimos, por ejemplo, la existencia de subunidades de "autómatas celulares" en los microtúbulos, organizados de acuerdo a una geometría precisa. Cada subunidad se comunica sólo con las adyacentes; el tamaño y forma de la "colonia neuronal" es igual en todas las células. Un reloj universal da la coherencia necesaria, de manera que cada subunidad puede cambiar a un nuevo estado con el paso del tiempo. Las reglas de transición para el cambio de estado dependen del estado "presente" de cada autómata y el de sus vecinos. Dependiendo de condiciones iniciales (patrones de origen), los intercambios simples en las colonias pueden derivar en patrones, en arborescencias dinámicas, complejas, capaces de computar información. Von Neumann (1966) demostró en términos matemáticos que los autómatas celulares pueden funcionar como máquinas de Turing.

CCh: ¿Cuál es su opinión acerca de las ideas "panpsíquicas" de Spinoza y Leibniz, Whitehead, Wheeler, y, más recientemente, Thomas Nagel y David Chalmers?

SH: Me gustan mucho. Ellos también aceptan que la experiencia está incrustada en un nivel fundamental. Ni Roger (Penrose) ni yo estamos de acuerdo en afirmar que un electrón o que esta mesa tengan conciencia. Desde nuestro punto de vista, hay una especie de experiencia proto-consciente que se produce en esa parte fundamental de la geometría de Einstein. Hay, ciertamente, una similitud con las mónadas de Leibniz, aunque, en lugar de una estructura, pensamos más bien en una forma dinámica, como las "ocasiones de experiencia" que caracteriza Alfred N. Whitehead. La idea de un panpsiquismo debe ser consistente con la mecánica cuántica y la relatividad.

CCh: La filósofa de la ciencia Patricia Churchland ha dicho que el teorema de Gödel no necesariamente implica que el pensamiento humano sea no algorítmico. Lo considera un argumento especulativo. Agrega que es muy probable que iones citoplasmáticos de calcio y sodio se encuentren presentes en los poros microtubulares, lo cual cancelaría los efectos cuánticos que usted y Penrose predicen en su modelo. ¿Son objeciones serias?



SH: Esos argumentos han sido rebatidos por Roger y a ellos remito al lector¹⁸. Churchland critica la posición de David Chalmers y John Searle, así como el modelo Hameroff-Penrose. Para ella, todo se da en la superficie neuronal y en la sinapsis, y deja de lado los sucesos del citoesqueleto.

CCh: Según Susan Greenfield, la química es la clave para entender el problema de la conexión (*binding problem*).

SH: Muy bien. Yo diría: "Muéstrenme cómo lo hacen". La química nos caracteriza lo que sucede en términos fenomenológicos y nos indica la presencia de diversos cambios en el cerebro pero no va al fondo del problema de la experiencia. De hecho, algunos fármacos parecen funcionar con un mecanismo cuántico. Por ejemplo, quiasma¹⁹ inducida por anestesia, las moléculas ocupan niveles de energía mínimos. Se trata de sucesos cuánticos que previenen la superposición de estados cuánticos coherentes en el nivel macroscópico. En el otro extremo se encuentran las drogas psicodélicas y las experiencias alucinatorias, que provocan estados cuánticos intensos. Nada de esto puede ser explicado en términos químicos.

CCh: Antes de terminar, ¿podría apuntarnos algunas de las ventajas evolutivas de la conciencia?

SH: Es interesante que hayan aparecido tantos organismos en el inicio del Cámbrico, cuyo nivel de complejidad neuronal se acerque a nuestras predicciones, es decir, organismos pluricelulares que tendrían entre unos cientos y cerca de dos mil neuronas. Hay quienes piensan que la conciencia es un epifenómeno y que no tiene significado real en la evolución de las especies. Sin embargo, nosotros creemos que la presencia de una conciencia primitiva aceleró la explosión cámbrica. Pensamos que la no computabilidad, esto es, los procesos no algorítmicos se diferencian de los procesos bioquímicos clásicos, de naturaleza algorítmica, durante esa edad geológica. Las reacciones impredecibles representan una enorme ventaja evolutiva²⁰.

David Chalmers y el problema de fondo

Como se dijo antes, empezando por Thomas Nagel varios filósofos han propuesto que el tema de la conciencia debe ser tratado aparte de los otros problemas de la mente, ya que se trata del "problema más difícil". John Searle y David Chalmers, entre otros, también son partidarios de dividir los problemas "sencillos" del asunto "verdaderamente de fondo" (*the hard problem*). Sin embargo, mientras que Searle piensa que la conciencia es, sobre todo, un proceso biológico, como la digestión y la fotosíntesis, Chalmers explora en su libro las posibilidades de que un termostato o un electrón tengan conciencia²¹.

Chalmers estudió matemáticas en la U. de Adelaide, Australia, y más tarde obtuvo un doctorado en Filosofía y Ciencias Cognitivas en la U. de Indiana. En la actualidad es profesor de Filosofía en la U. de California en Santa Cruz.

CCh: ¿Puede explicarnos cómo dio con el "problema de fondo"?

David Chalmers (DCh): Me interesé en este campo porque encontré que no había una explicación suficiente sobre cómo un sistema físico, el cerebro, también puede ser un ser consciente con una experiencia subjetiva. Creo que el problema de la conciencia es el desafío mayor de la ciencia en nuestros días. La neurofisiología, la química neuronal, la física explican bien el funcionamiento de los objetos y organismos, su

estructura y su apariencia. Esos son problemas fáciles, lo cual no quiere decir que sean triviales, aunque no resuelven el misterio. El programa de investigación de las neurociencias no va más allá. Tratar de explicar la subjetividad individual, ese es el problema de fondo. ¿Por qué todo ese complejo cerebro da lugar a una experiencia subjetiva y a un mundo experimentado también de manera subjetiva. Yo estoy seguro de que tengo una experiencia aparte de los demás, como creo que todo mundo la tiene. No importa cuán sofisticado y complejo sea el cerebro, la pregunta sigue en el aire: ¿Por qué no sucede todo en la obscuridad? ¿Qué sentido tiene darse cuenta de lo que sucede afuera?

CCh: Los correlatos de la ciencia, ¿no le dicen nada?

DCh: Soy un filósofo. No pienso en un nivel infracelular en concreto o en un modelo neuroquímico determinado. Es difícil creer que una argumentación puramente física o química pueda explicar cómo funciona la conciencia. No podemos establecer correlaciones de manera que podamos decir: "A un cerebro como X le corresponde un estado de conciencia como Y". Todos esos modelos sólo ofrecen buenas soluciones a problemas locales, donde aprendemos sobre el comportamiento de los átomos, las redes de neuronas o de los microtúbulos. Nadie aclara por qué eso va acompañado de una experiencia consciente.

CCh: ¿Puede darnos un ejemplo?

DCh: Para explicar el gene, Crick y Watson propusieron su modelo helicoidal del ADN. Descubrieron cómo una serie de moléculas complejas guardan información y la transmiten de una generación a otra. Desde entonces decimos que el gene fue "explicado" y el programa de investigación genético se estableció. Si uno conocía las funciones (mecanismos hereditarios) todo estaba resuelto. En cambio, el problema de fondo de la conciencia es distinto, pues uno puede esclarecer el mecanismo, establecer las características y funciones primarias y adyacentes. Y la pregunta sigue ahí: ¿cómo es que surge la conciencia? Así que tal vez exista una correlación pero no parece ser una respuesta, ya que lo que debe ser explicado aquí no es algo que el cerebro lleva a cabo sino algo intrínseco a la mente.

CCh: ¿Qué lo explicaría, al menos en principio?

¿La teoría del caos, una nueva física, la idea de lo complejo?²²

DCh: La complejidad es interesante. Trabajé algún tiempo en dinámica no lineal y sistemas complejos, aunque, insisto, la naturaleza reduccionista de estas disciplinas no nos ponen en el camino correcto para explicar la conciencia porque sólo describen estructura y función. Creo que deberíamos buscar una teoría de la mente basada en ciertas leyes que llamo "psico-físicas", fundamentales, como el Modelo Estándar de la materia, para entender su conexión con el sustrato físico, biológico y químico. Desde luego, los datos objetivos son escasos. La conciencia es personal y eso aterra a los científicos. La ciencia es objetiva y no debe ceder a la tentación de apelar a la experiencia subjetiva para explicar los fenómenos. No obstante, es un hecho que si no existiera la experiencia y la información subjetivas, nadie tendría motivos para suponer la existencia de un estado consciente.

Prefiero recurrir a los experimentos mentales. Supongamos que María vive en el siglo XXIII y sabe ya todos los detalles estructurales y funcionales del cerebro biológico y su relación con los sentidos. Puede explicarlo todo... sólo que ha vivido toda su vida encerrada en su cuarto blanco y negro. Todo su conocimiento es superfluo porque no sabe lo que significa ver rojo. No tiene conciencia de los colores y, por tanto, de nada le sirve haber escrito sus correlatos bioquímicos, neuro-fisiológicos, termodinámicos. Es necesario un elemento distinto.

CCh: Si no es "científico", ¿acaso será poético?

DCh: No, filosófico. Tal vez se necesite un cambio conceptual, como el que generó la revolución newtoniana. Por lo pronto, veamos cuál de los correlatos que propone la ciencia, nuestra genuina interlocutora, sobreviven al paso inexorable del tiempo. 

Notas

1. Para Khun, Lakatos, Feferabend y, desde luego, Popper, el programa nuclear fuerte (*hard core program*) de una disciplina es lo que distingue a la ciencia de la pseudociencias. No debe quedar duda, a pesar del embate de filósofos NAT (*new age travellers*), como John Searle, Patricia Churchland, Thomas Nagel y David

Chalmers, entre otros, que el programa nuclear fuerte de la relación mente-cerebro radica en las neurociencias. Para un panorama general de los parámetros que deben regir la discusión alrededor del binomio mente-cerebro, véase C. Chimal, "Popper nuestro de todos los días" y "La doble muerte Thomas K", en *Vuelta* 110 y 115.

2. Las aproximaciones discursivas, literarias y con una fuerte base empírica, como las de Francis Crick (*Astonishing Hypothesis*, 1994) o las de Gerald M. Edelman (*Bright Air, Brilliant Fire*, 1992), John Searle (*The Rediscovery of the Mind*, 1992), Paul Churchland (al menos *Matter and Consciousness*, 1984), Daniel Dennett, (*Consciousness Explained*, 1991), Roger Penrose (*The Emperor's New Mind*, 1989 y *Shadows of Minds*, 1996), Patricia Smith Churchland (*Neurophilosophy: Toward a Unified Science of the Mind—Brain*, 1986), son materia dispuesta para el Rodin de una nueva filosofía de la diversidad biológica y la aparición de la conciencia humana.

3. Oliver Sacks lo dijo así hace cuatro años en el *NYTRB*: "... Si hemos de tener un modelo o una teoría de la mente, que nos muestre cómo ocurre realmente en las creaturas vivas de la Tierra, tendría que ser muy distinta a una de corte computacional. Tendrá que estar basada en la realidad biológica, en los detalles anatómicos, de desarrollo y funcionales del sistema nervioso; incluso, en la vida interior o vida mental de las creaturas vivas, en sus sentimientos, propósitos e intenciones; en su percepción de los objetos y situaciones; finalmente, en cuanto a los seres superiores, deberá considerar la capacidad de pensar de manera abstracta y compartir la conciencia de otros mediante el lenguaje y la cultura. "Sobre todo, dicha teoría debe tomar en cuenta el desarrollo y peculiar adaptación de los sistemas vivos. Estos nacen en un mundo lleno de retos y novedades, en un mundo de significados, al que deben adaptarse o perecer. Los organismos vivos crecen, aprenden, se desarrollan, organizan el conocimiento y emplean su memoria de una manera que no tiene paralelo en el universo de los objetos inanimados. La memoria, en sí misma, es una característica de la vida. Y la memoria origina un cambio en el organismo, de tal forma que se adapta y se apresta a enfrentar lo mejor posible a los desafíos del entorno. El mismo 'yo' del organismo crece gracias a la memoria".

4. Francisco J. Varela, en entrevista personal. Véase Boletín de la AIC 28, 11 (1996).

5. La historia de este proceso se lee con gran interés en el libro de Jean Pierre Dupuy, *Aux Origins des Sciences Cognitives, La Découverte*, (París, 1995).

6. Desde la publicación de su artículo "What is it like to be a bat?" (*Philosophical Review* **83**, 1974), el filósofo Thomas Nagel planteó la idea de que la conciencia es un problema "inescrutable" para la neurofisiología. Otros, como Frank Jackson, John Searle y David Chalmers, piensan en forma similar y profesan una especie de vitalismo *new age*. A pesar de que, como doctrina, el vitalismo fue enterrado por el positivismo lógico del XIX, hay Lázaros que regresan al mundo de los mortales.

7. Véase "Cerebro y supervivencia", en Césarman y Estañol, *Ludus vitalis*, vol. II núm. 2, (1994).

8. Hay ejemplos diversos. De alguna manera, la literatura es, por naturaleza, un monólogo interior, un conjunto de voces, tantas como quepan en mi cabeza. Está, desde luego, la obra fundacional de James Joyce al inicio del siglo. Italo Calvino contribuyó con maestría y humor, al igual que su discípulo Antonio Tabucchi (*Sostiene Pereira*, Anagrama, Barcelona, 1994). También *El Hombre Invisible*, de H. G. Wells es una alegoría de este "comando interno".

9. Por desgracia, Eccles murió el 3 de mayo de 1997.

10. Del poeta Agustín García Pavón, *Un universe sens dessus dessous*, (Toulouse, 1996).

11. *Kinds of Minds. Towards and Understanding of Consciousness*. Weidenfeld & Nicholson, Londres, 1996. (Science Masters Series).

12. *Journey to the Centres of the Mind, Toward a Science of Consciousness*. W. H. Freeman, 1995.

13. Rosetta o Rachid, en árabe, es un pequeño puerto en el extremo occidental del Nilo, alguna vez muy activo. Fue allí donde un oficial de ingenieros francés, un tal Bouchard, descubrió en 1799 una estela mientras trabajaba en el fuerte de San Julián, muy cerca del puerto que, en 1801 caería en manos de los británicos. La estela aparece en dos lenguas (antiguo egipcio y griego) y está escrito con tres grafías (caracteres jeroglíficos, demóticos, una letra inclinada que gustaba a los notables de la época, y alfabeto griego). Gracias a ello, Thomas Young primero (1814) y más tarde Champollion (1821-1822) pudieron establecer el correlato suficiente para descifrar los jeroglíficos que parecían

irreconocibles. El texto es parte de un decreto expedido por Ptolomeo V Epifanio (205-180 antes de nuestra era).

14. Es decir, disponibilidad de diferentes aminas en diferentes momentos del día que se activan para modular la sensibilidad de las neuronas reclutadas en un ensamblaje. Según el Dr. José Segovia, organizador del coloquio *Ciencia y conciencia*, la Dra. Greenfield se refiere precisamente a las catecolaminas, entre las que destacan tres: norepinefrina, epinefrina y dopamina.

15. Durante la Primera Guerra, Shaw se opuso al "inútil derramamiento de sangre" y se hizo notorio por sus panfletos en favor de un armisticio. Por fortuna, regresó a la literatura y escribió cinco obras, *De regreso a Matusalén* (1922), donde se refiere a una especie de evolución creadora que surge en los jardines del Edén y termina en el año ¡31,920! ¿Será ésta una fecha lo suficientemente lejana para la conciencia humana?

16. Este concepto no es idéntico al que se refiere Dennett en su modelo de la conciencia.

17. Un suceso consciente típico pronostica la superposición de mil millones de tubulinas a lo largo de 500 milisegundos hasta alcanzar el auto-colapso.

18. En los libros *The Emperor's New Mind*, *Shadows of the Mind* y *The Large, the Small and the Medium Mind*, así como en un artículo en la revista *Psique*.

19. Definido como el entrecruzamiento de nervios o cromátides. Se llama quiasma óptico a la decusación de las cintillas visuales.

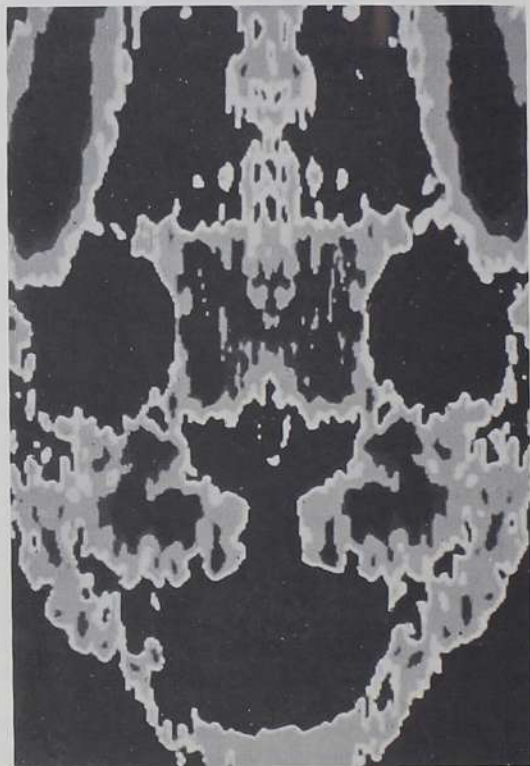
20. En esta idea, según algunos autores, se encuentra una veta rica de posibilidades para la inteligencia artificial. Una máquina capaz de pasar la prueba de Turing no sólo debe ser buena para aprobar exámenes de matemáticas, sino también debe saber escribir una historia sobre sus vecinos, ya sea apegada a la realidad o totalmente falsa. O, peor aún, debe saber mentir en cuanto a su propia identidad. La mente es necesariamente incompleta, generativa, siempre capaz de producir nuevas proposiciones sobre sí misma o sobre cualquier otro contenido de su sistema y de su contexto.

21. *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*, (Oxford Univ. Press). John Searle discute en el *New York Review* (6 de marzo de 1997) la posición de los filósofos *new age*. Chalmers replicó y se declaró agnóstico.

22. Paul Davies piensa que esta idea no ha sido bien explorada en función de la conciencia. "Complejidad para mí", dice Davies, "implica la existencia de dos estados claramente definidos: hay una complejidad organizada y otra desorganizada. Un gas en equilibrio termodinámico, con todas sus moléculas desplazándose en forma caótica, es un fenómeno muy complejo. Su registro sería astronómico. Podemos distinguir otra clase de complejidad caótica, por ejemplo, en las bacterias. Se trata de una complejidad sumamente organizada a lo largo de millones de años. Se necesita procesar mucha información para formar una bacteria. Por eso creo que la complejidad organizada es la clave para entender la conciencia. No me refiero solamente a reconocer que algo es complejo y seguir pensando en que se trata de una complicación más. En otras palabras, el espíritu reduccionista de la Física nos induce a pensar en los elementos constituyentes y no en términos holísticos. No obstante, creo que las cifras que están arrojando las investigaciones en este campo no algo más que incidentales. Si es posible cuantificar la complejidad, me parece que pronto podríamos tener ciertos principios fundamentales complejos, que podrían colocarse junto a la termodinámica a fin de explicar la materia y la energía.

"A veces he jugado con la idea de que el conocido 'colapso' de la función de onda o la concreción de posibilidades cuánticas, que ocurren cuando llevamos a cabo una observación definida del mundo, es real cuando el sistema cuántico, es decir, la totalidad del sistema que estamos considerando, es lo suficientemente complejo. Sabemos que un observador humano

puede hacerlo. Estoy seguro que el gato de Schrödinger era lo suficientemente complejo para colapsar dicha función de onda cuántica. Creo que incluso las computadoras son ya tan complejas como para eso".



CONVOCATORIA

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.
CINVESTAV Unidad Mérida

Invita a:

**Profesionales en áreas afines a las ciencias marinas
(Biología, Oceanología, Física, Geología y Química) para estudiar:**

*Maestría en
Biología Marina*

*y
Doctorado en
Ciencias Marinas*

INFORMES

CALENDARIO

Fecha límite de entrega de documentos

20 de Junio de 1997

Examen de admisión

23-25 de Junio de 1997

Inicio del curso

2 de septiembre de 1997

Departamento de Recursos del Mar
Dr. David Valdés Lozano, Coordinador Académico
Tel. (99) 81 2973, 81 2905 ext. 294
Fax: (99) 81 2917;

E-mail: dvaldes@kin.ciemer.conacyt.mx
En México D.F.: Lic. Alfredo Alejandre,
Oficina de Control Escolar,
Tel: (5) 747 7000 y 01 ext. 2527

Página <http://kin.ciemer.conacyt.mx/Cinvestav/Recursos/>

Posio Latinoamericano Física del Estado Sólido

Leo Falicov

Oaxaca, Oax., México, 11-16 de Enero de 1998

CONFERENCISTAS INVITADOS

- J. A. Alonso** (U. de Valladolid, España)
I. Alvarez (IFC-UNAM, México)
D. Azofeifa (U. de Costa Rica, Costa Rica)
C. Balsero (Centro Atómico de Bariloche, Argentina)
R. Barbosa (U. Federal de Río de Janeiro, Brasil)
R. Barrio (IF-UNAM, México)
G. Cabrera (U. de Campinas, Brasil)
A. Calles (FC-UNAM, México)
M. Calvo (U. Católica de Valparaíso, Chile)
H. Chacham (U. Federal Minas Gerais, Brasil)
O. de Melo (U. de la Habana, Cuba)
P. Díaz (U. de la Habana, Cuba)
J. Dorantes Dávila (IF-UASLP, México)
J. Giraldo (U. Nacional, Colombia)
G. González de la Cruz (CINVESTAV, México)
J. González (U. de los Andes Venezuela)
A. Gont (Technische Universität, Berlin Alemania)
C. Gutiérrez (Southwest Texas, State University)
M. José Yacamán (ININ, México)
M. López López (CINVESTAV, México)
A. Lorenzana (Centro Atómico Bariloche, Argentina)
G. Luna (IF-UAP, México)
A. M. Llals (Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina)
E. Medina (U. Simón Bolívar, Venezuela)
F. Melo (U. de Santiago, Chile)
P. Mello (IF-UNAM, México)
B. Mendoza (CIO, México)
J. Menéndez (U. del Estado de Arizona, USA)
R. Merlin (U. de Michigan, USA)
J. M. Montejano Carrizales (IF-UASLP, México)
V. Mujica (U. Central de Venezuela)
A. Muñoz (UAM-I, México)
R. Pérez (U. de la Habana, Cuba)
A. Pinczuk (AT&T Bell Labs, USA)
L. Quiroga (U. de los Andes, Colombia)
R. Ramírez (U. Católica de Chile, Chile)
J. Robles (FQ-UGT, México)
A. Rojo (U. de Michigan, USA)
M. Tamargo (City College of New York, USA)
H. Terrones (IF-UNAM, México)
S. Ulloa (U. de Ohio, USA)
A. Vela (UAM-I, México)
J. C. Villagrán (U. Francisco Marroquín, Guatemala)
O. Zelaya (CINVESTAV, México)

Para más informes:

J. L. Morán López
Instituto de Física
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
78000 San Luis Potosí, S.L.P.
México
Tel: 52 (48) 17 31 53 Fax: 52 (48) 13 38 74
E-mail: moran@deci.fisica.uaslp.mx

M. L. Marquina
Sociedad Mexicana de Física
Facultad de Ciencias
UNAM, México
Tel. y Fax: (5) 622 4848, (5) 622 4946
E-mail: smf@hp.ciencias.unam.mx