

AVANCE Y PERSPECTIVA

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

Vol. 11, enero-febrero de 1992

México ISSN 0185-1411

Distribución gratuita



**El descubrimiento del
potencial de acción**

**Quiralidad:
el punto de vista
de los físicos**

**El CINVESTAV-IPN
frente al reto de un
posible Tratado
Trilateral de
Libre Comercio**

LA SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
Y LA ACADEMIA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CONVOCAN

A TODOS LOS ESTUDIANTES DE LICENCIATURA
A PARTICIPAR EN EL

VERANO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

OBJETIVO

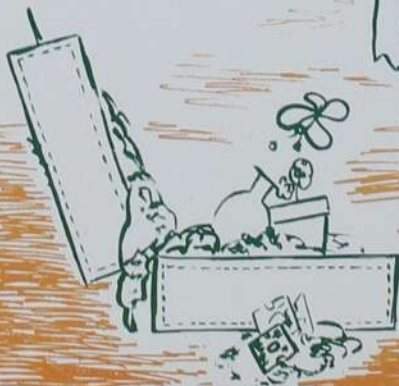
Fortalecer el posgrado en México mediante la vinculación de estudiantes de licenciatura con investigadores nacionales.

Durante dos meses de estancia, el talento joven del país podrá conocer las experiencias de trabajo de los investigadores, directamente en las áreas donde estos laboran rutinariamente. Esta acción servirá para motivar a aquellos estudiantes con vocación científica y constituirá un elemento de apoyo en la elección del área más adecuada para su futura preparación.

BASES

- Podrán participar todos los estudiantes de licenciatura que cuenten el tercer semestre o los subsiguientes hasta antes de presentar su examen profesional, y que tengan un promedio general mínimo de nueve.
- El candidato deberá presentar constancia de inscripción al semestre que cursa, copia de las calificaciones obtenidas, una carta donde exprese los motivos por los cuales desea obtener la beca, así como una carta de recomendación de algún profesor que lo conozca.
- En la solicitud debe incluirse la dirección y el teléfono donde pueda localizarse con facilidad al candidato.
- El candidato deberá especificar en la solicitud el área de especialidad que le interese o bien nombrar al investigador con el que desea trabajar.
- Las solicitudes se recibirán hasta el quince de marzo.
- La sistematización de solicitudes se hará del 16 de marzo al 16 de abril.
- Los comités de evaluación de la Academia de la Investigación Científica analizarán las propuestas y seleccionarán a los candidatos del 17 al 30 de abril.
- Los resultados se darán a conocer el 4 de mayo.
- La decisión de los comités será inapelable.
- La estancia en el Verano de la Investigación Científica iniciará el 29 de junio y concluirá el 30 de agosto de 1992.
- Las becas disponibles son 150, y cada una incluye gastos de traslado, alimentación y hospedaje, que serán cubiertos por la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la Secretaría de Educación Pública.
- Los estudiantes seleccionados participarán en un Congreso que se realizará del 31 de agosto al 2 de septiembre. Allí expondrán, junto con sus asesores, el resultado de su trabajo de investigación. Oportunamente se dará a conocer el lugar donde se concentrarán los participantes en el Congreso.

Entrega y recepción de solicitudes:



AVANCE Y PERSPECTIVA

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN-CINVESTAV

Director: Feliciano Sánchez Sinencio
Secretario Académico: Julio G. Mendoza Alvarez
Editor: Miguel Ángel Pérez Angón
Corrector de estilo: Carlos Chimal
Coordinación: Rosario Morales A.
 y Ana Laura Ramírez Y.

CONSEJO EDITORIAL

René Asomoza,
 Departamento de Ingeniería Eléctrica
Marcelino Cerejido,
 Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias
Rosalinda Contreras,
 Departamento de Química
Maria de Ibarrola,
 Departamento de Investigaciones Educativas
Rolando García B.,
 Sección de Teoría y Metodología de la Ciencia
Rubén López Revilla,
 Departamento de Biología Celular

Fotografía: Alfonso Medina

Apoyo: Sección de Fotografía del CINVESTAV

Captura: Ma. Eugenia López y Rosemary Ovando

Distribución: Sección coordinadora de cursos en provincia

Tipografía: José Luis Olivares Vázquez

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación trimestral editada por la Secretaría Académica del CINVESTAV. El número correspondiente a enero-febrero de 1992, volumen 11, se terminó de imprimir en enero de 1992. El tiraje consta de 6,000 ejemplares. **Editor responsable:** Miguel Ángel Pérez Angón. Oficinas: Av. IPN No. 2508, Esq. Ticomán. Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F. Certificados de licitud de 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. 705-82 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 016 0389, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Grupo Editorial EON, S.A. de C.V., Av. México-Coyoacán 421, Xoco, Col. General Anaya, 03330 México D.F., tels.: 604 1204 y 688 9112. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos escritos por miembros de la comunidad del CINVESTAV. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el primer número (enero-marzo) de cada volumen. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente.

Sumario Vol. 11, enero-febrero de 1992

CORREO

- 2 Eugenio Frixióne, Miguel Ángel Soriano Jiménez
- 5 Nuestro primer verano de investigación científica
Francisco Luis Aviña Cervantes y Jorge Luis Ayala Luján
- 11 El descubrimiento del potencial de acción
José Castillo, Amelia Rivera y Fidel Ramón
- 25 Quiralidad: el punto de vista de los físicos
José Luis Lucio Martínez, Hilda J. Mercado
y Miguel Vargas

PERSPECTIVAS

- 30 El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. frente al reto de un posible Tratado Trilateral de Libre Comercio
Feliciano Sánchez Sinencio

PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN EN BIOLOGÍA EXPERIMENTAL Y BIOMÉDICA (Parte II)

- 36 La secreción de hormonas: nuevos enfoques, nuevas fronteras
Gabriel Cota
- 42 Perspectivas de la terapéutica
Enrique Hong
- 48 El futuro de las neurociencias
Julio Muñoz

AVANCES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Los Premios Nobel en Ciencias 1991

- 57 Neher y Sakmann: los canales iónicos en la mira
Gabriel Cota y Marcia Hiriart
- 60 Pierre Gilles de Gennes: el Isaac Newton de nuestra época
José Luis Arauz Lara y Faustino Aguilera Granja
- 62 Richard Ernst: transformada de Fourier y resonancia magnética nuclear
Rosalinda Contreras

NOTICIAS DEL CENTRO

ESPACIO ABIERTO

- 70 La poesía de la ciencia
John Timpane

Portada

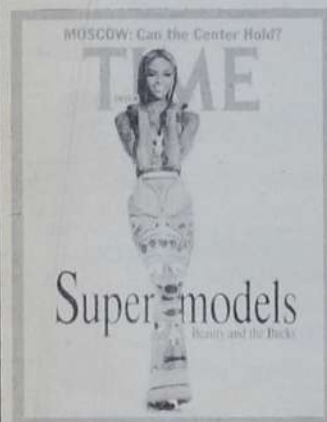
Fragmento del mural de Diego Rivera en el Instituto Nacional de Cardiología (1943-1944), que incluye al grupo de investigadores que domaron la energía eléctrica para aplicar al estudio del corazón, entre ellos Luigi Galvani (1737-1798).

LETTERS

SUPERMODELS

"Naomi Campbell's dress is lovely—her smile is even better."

Ana María Ellis
Oxford, England



Congratulations on getting away from the predictable and doing a cover story on a relaxing and eye-pleasing subject like supermodels (Sept. 16). It is perfectly valid for these gorgeous women to earn as much money as they can from the way their bodies look, just as others—athletes, dancers, football players—cash in on the way their bodies perform. But do male models take home as much as \$2.5 million a year? And if they don't, shouldn't there be a furor over the same-job, same-salary issue?

Eugenio Frixione
Mexico City

Sobre cartas y contribuciones

Sr. Editor:

Agradezco tu amable comunicación fechada el 3 de octubre, en la que me haces una nueva y cordial invitación para contribuir con artículos publicables en *Avance y Perspectiva* (AyP).

Como sabes, en más de una ocasión he contribuido gustosamente con material para la revista del CINVESTAV. En fechas más recientes, sin embargo, mis aportaciones —como sin duda también recordarás— no han logrado sortear con éxito los rigores editoriales de AyP. Temo que un nuevo intento tenga un desenlace igualmente descorazonador. Debido a este recelo preferí abstenerme de enviar la reseña solicitada sobre aquel libro que en esta oportunidad me permito volver a recomendarte (*Stress analysis of a strapless evening gown*).

Por otra parte, las cosas ya no son como antaño, o como al parecer continúan siendo en las poco imaginativas universidades del primer mundo. La situación local ha cambiado mucho a raíz del multifurcado despliegue nacional de ese ingenioso mecanismo con el que nuestra institución consiguió al fin resolver el antiguo problema de cuantificar la producción intelectual. Comprenderás que hoy en día me vea precisado a administrarme mejor, dedicando mi tiempo a la elaboración de productos que puedan hacerse llegar al público a través de canales algo menos exigentes y bastante más redituables, de acuerdo con las tarifas vigentes. Cualquier desvío de esta ruta considerablemente más costeable resulta poco prudente para

quienes, incapaces de sumarnos a las apretujadas colectividades que al unísono realizan una fracción creciente de la moderna investigación científica, nos aferramos a la caduca práctica de la creación individual.

No obstante, entiendo la zozobra que puede generar el asegurar material para doscientas páginas impresas con frecuencia bimestral. De aquí que me cruzara por la mente la alternativa de poner a tu disposición, como opciones para elección por el Consejo Editorial de AyP, 4 o 5 artículos aparecidos en los últimos dos años y que podrían proporcionar una idea más o menos exacta de las actividades de nuestro laboratorio. Sin embargo, para infortunio en el caso presente los trabajos publicados en otras fuentes acreditadas, y que por lo mismo contarían quizás con mejores probabilidades de ser aceptados por AyP, están protegidos con los respectivos registros de propiedad a nombre de editoriales extranjeras. Si bien no sería en principio imposible obtener el permiso necesario para su reproducción legal, queda todavía el obstáculo de que los temas no son tratados en ellos con el lenguaje simple, sencillo y ameno que conviene a AyP. Además, alguien no sujeto a las vicisitudes de un par de becas dependientes de destajo debería ocuparse de traducirlos al español con la debida corrección técnica y gramatical. Sinceramente, no creo que AyP disponga por el momento de los medios para asegurar este servicio.

Con el ánimo de, pese a todo, colaborar en los esfuerzos del Consejo Editorial de AyP por mantener "un foro de comunicación que promueva la unidad de los miembros de nuestra comunidad", ofrezco a su amable consideración el pequeño texto que

figura en la fotocopia adjunta, y que reúne las siguientes características:

1. aparición muy reciente (7 de octubre de 1991) en un conocido órgano informativo de vasta distribución internacional y que cuenta con todos los atributos clave (larga tradición, prestigio establecido, líder en su especialidad, en inglés, papel couché, etc.)

2. elegido para publicación entre cientos de comunicaciones análogas recibidas semanalmente por los editores, lo que podría significar cierta garantía para sus pares en AyP

3. asunto de gran actualidad, motivo de polémica y reflexión enmarcadas dentro del ámbito de las ciencias sociales —una de las áreas académicas de nuestra institución—, y de indudable interés general

4. plantea dos preguntas que con suerte alguien en nuestra comunidad pudiera responder, cosa que personalmente agradecería

5. es aparentemente desconocido aún para numerosos lectores habituales de AyP, no obstante la profusa circulación del original, por lo que se justificaría su reproducción

6. breve extensión y sin dificultades especiales para una traducción rápida, o que incluso podría insertarse en AyP en el idioma original sin comprometer en exceso la comprensión por parte del público académico ni la fidelidad a nuestra lengua nativa

7. por tratarse de sólo un párrafo para el que no me fue requerido firmar cesión de derechos, es probable que pueda ser reproducido dentro de la ley previo permiso del autor, mismo que desde luego concedo por este conducto y sin más trámite.

Para terminar me atrevo a sugerir que, en caso de alcanzarse una decisión favorable a este respecto, se ilustre la inserción con una viñeta en la que pueda apreciarse a la señorita Campbell. Aparte de coadyuvar a una más cabal interpretación del sentido del texto, dicho complemento colocaría a AyP dentro de la pauta más contemporánea y ginecocéntrica

que, para alborozo de no pocos de sus miembros, está marcando en el renglón de las imágenes ornamentales el *Boletín de la Academia de la Investigación Científica*.

Confío en que esta limitada oferta de contribución sea de alguna utilidad, y acepto de antemano sin discutir cualquiera que pudiese ser el inapelable dictamen sobre el *imprimatur*.

Recibe un afectuoso saludo, que espero haga extensivo a los integrantes del consejo que presides.

Atentamente,

Dr. Eugenio Frixione

Departamento de Biología Celular

P.D. Por supuesto no tengo inconveniente en que, a falta de algo más substancial, se aproveche también esta comunicación para reinagurar la sección de cartas al editor y fomentar así, precisamente, la comunicación entre los miembros de nuestra comunidad.

¿Doscientos años de Faraday?

Sr. Editor:

Interesante, a todas luces, es el extracto del libro que aparecerá en la colección "La Ciencia desde México" de los autores potosinos Francisco Mejía Lira y José Luis Morán López (AyP 10, 179, 1991). En particular, la referencia hecha al concepto de Faraday sobre la fusión superficial que ha resultado la más correcta, pone de manifiesto un hecho que se ha repetido a lo largo de la historia de la Ciencia.

Debido a lo anterior, es de desearse que en la formación del científico se enfatizara el conocimiento del desarrollo histórico de los conceptos de la Ciencia. En nueva referencia a Michael Faraday, es de notar lo que el pensamiento espontáneo puede ayudar a la clarificación de las ideas. Fa-

raday, sin formación matemática, mediante su imagen de líneas de fuerza, presenta de manera pictórica evidente el concepto de campo, el electromagnético, formalizado posteriormente por Maxwell.

Debo hacer mención, sin embargo, que seguramente los editores, emocionados por la actualidad de los conceptos de Michael Faraday, le dan una vida de 200 años (1791-1991) en el crédito de la portada de ese número. Sirva como aclaración que Michael Faraday nació en Newington, Surrey, el 22 de septiembre de 1791 y murió en Hampton Court, cerca de Londres, el 25 de agosto de 1867. Tomado de *Enciclopedia Biográfica de Ciencia y Tecnología*, Isaac Asimov, Alianza Editorial (1988).

Dr. Miguel Angel Soriano Jiménez
FCFM-UAP

Estimado Dr. Soriano Jiménez:

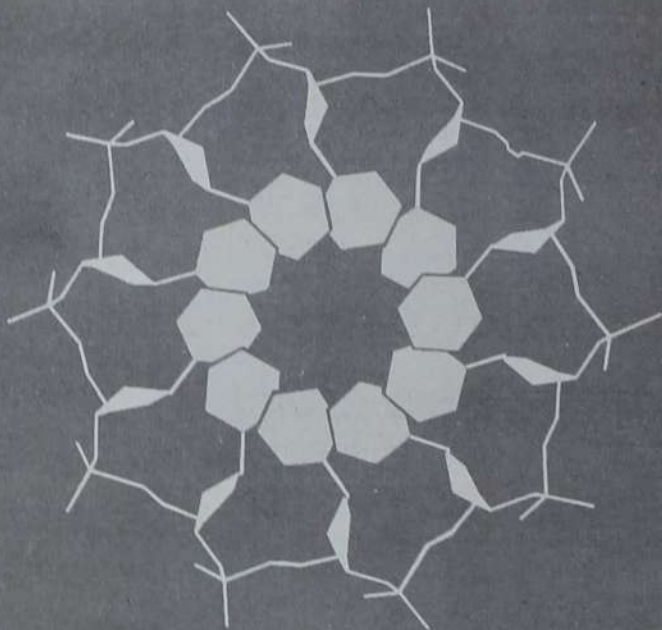
Sin duda nuestro entusiasmo por la figura de Faraday es evidente, y por desgracia no lo es tanto nuestra verdadera intención al señalar aquellas fechas que, pensándolo un poco, se refieren con toda claridad a la celebración de los 200 años de su nacimiento. De cualquier manera, Faraday vive ¿o no?

Fe de erratas

Los pies de dos de las fotos de la entrevista con el Ing. Eugenio Méndez Docurro en el número anterior de *Avance y Perspectiva* deben ser: foto pág. 288, A. Rosenblueth y N. Wiener. En el fondo los murales de Diego Rivera en el antiguo Instituto Nacional de Cardiología. Foto pág. 298, A. Rosenblueth, V. Bravo Ahuja, J. García Ramos, E. Méndez Docurro, J. Adem y M. Highland.

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Departamento de Biología Celular



Maestría y Doctorado en BIOLOGIA CELULAR

El Departamento de Biología Celular del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados cuenta con programas de Maestría y Doctorado en Biología Celular que ofrecen la posibilidad de dedicarse a la investigación en las siguientes áreas biomédicas: Biología del Citoesqueleto, Biología de la Reproducción, Diferenciación Celular, Inmunología, Parasitología Molecular, Carcinogénesis y Ultraestructura Celular.

Requisitos de Admisión al Posgrado

Para la Maestría

1. Estudios profesionales completos (examen profesional ya realizado o por realizarse en los próximos seis meses) en carreras biomédicas o afines, tales como Biología, Medicina, Ingeniería Bioquímica, QBP, QFB, Odontología, Veterinaria, etc.
2. Por medio mínimo de 8 en los estudios profesionales.
3. Presentar una solicitud completa y los documentos pertinentes (acta de nacimiento, copia certificada completa de estudios profesionales, dos cartas de recomendación de profesores del solicitante, tres fotografías tamaño infantil).

Para el Doctorado

1. Grado de Maestría o equivalente (a juicio de los profesores del Departamento).
2. Entregar la solicitud y documentos pertinentes (igual que para la maestría).
3. Aprobar el examen predoctoral.

Becas

Los aspirantes que sean admitidos al posgrado recibirán apoyo departamental (Institucional) para el trámite de la beca correspondiente ante el CONACYT.

Para Mayor Información dirigirse a:
Coordinador Académico
Departamento de Biología Celular
Ciudad de México
Av. Instituto Politécnico Nacional 2508
Apologeto Postal 14-740
04500 México, D.F.
Teléfono: 754 02 00 y 752 06 77
Ext. 3510 y 3503



Nuestro primer verano de investigación científica

Estudiantes de licenciatura aprovechan sus vacaciones realizando una estancia en un centro de investigación.



Unidad Irapuato, CINVESTAV.

Francisco Luis Aviña Cervantes y Jorge Luis Ayala Luján

La Academia de la Investigación Científica (AIC), en colaboración con la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica (SESIC), organizó un programa destinado a vincular jóvenes estudiantes a proyectos de investigación. El Verano de la Investigación Científica (VIC) tiene como finalidad promover el ingreso de estudiantes de li-

cenciatura a programas de posgrado mediante el patrocinio de una estancia académica de dos meses en un proyecto de investigación a cargo de un científico miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). En nuestro caso fuimos asignados a la Unidad Irapuato del CINVESTAV.

Francisco Luis Aviña Cervantes es estudiante de la carrera de Biología en la FC-UNAM. Jorge Luis Ayala Luján es estudiante de la carrera de Químico Farmacobiólogo de la FCQ-UAZ.

Nuestras primeras impresiones

Al observar los puestos de fresas a lo largo de la carretera a la entrada de la ciudad, pudimos dar-

nos cuenta que habíamos llegado a Irapuato. Después de conseguir hospedaje, nos trasladamos al Cinvestav, localizado en las afueras de la ciudad. Grande fue nuestra impresión al ver por vez primera la armonía con la que sembradíos rodean a los modernos edificios de la Unidad. Su director —el Dr. Ariel Alvarez Morales— nos recibió de una manera cordial y, después de explicarnos a grandes rasgos las líneas de investigación del Cinvestav, logró despertar en nosotros interés y confianza. El Dr. Alvarez dispuso que las primeras dos semanas hiciéramos un recorrido por cada uno de los laboratorios, con el propósito de conocer los distintos trabajos que en ellos se están llevando a cabo y al término de las visitas poder elegir el proyecto en el cual deseáramos participar.

Al realizar el recorrido por los laboratorios de la Unidad, nos encontramos con proyectos que despertaron un enorme interés en nosotros y que consideramos de gran importancia para el desarrollo científico, económico e inclusive social de nuestro país; por esta razón no podemos dejar de mencionar algunos de ellos.

Amaranto y jícamas

En el Departamento de Biotecnología y Bioquímica se realizan trabajos para aprovechar al máximo los recursos agrícolas. En México, muchos años antes de la conquista, los aztecas incluían en su dieta una variada cantidad de cereales. De todos es conocido el maíz, símbolo de México; no obstante, únicamente los estudiosos de los antiguos mexicanos saben de la importancia que el amaranto tuvo como elemento nutricional y religioso en sus vidas. Si el amaranto era el segundo cereal en importancia dentro del régimen alimenticio azteca, ¿por qué no perduró su consumo hasta nuestros días, como en el caso del maíz?; la respuesta parece hallarse en el valor otorgado al grano en las ceremonias religiosas. Según los códices, durante dichas celebraciones los mexicas acostumbraban realizar sacrificios humanos, destinando cada uno de los órganos de la persona ofrendada a una función específica; de esta manera, la sangre de la víctima era empleada como encementante en la manufactura de figurillas hechas de amaranto, parecidas al dulce que hoy conocemos como alegría.

Los españoles decidieron erradicar su cultivo por considerarle un alimento incitador de instintos bestiales y canibalescos; su producción quedó casi en la clandestinidad en zonas muy pequeñas del Estado de México y el Distrito Federal.

¿Por qué darle tanta importancia a este cereal? Resulta que en el presente siglo se han realizado análisis nutricionales de la semilla, que muestran un alto contenido proteico y una excelente fuente de almidón. Los investigadores del Cinvestav han enfocado sus estudios sobre *Amaranthus hypochondriacus*; la riqueza proteica por una parte ha despertado el interés por someter a dicho cereal a la nixtamalización, extrusión y micronización. El primer proceso es necesario para la producción de tortillas de amaranto, con cualidades nutricionales superiores a las tradicionales tortillas de maíz. Mediante el proceso de extrusión se pretende elaborar frituras para ser consumidas como botanas; y, finalmente, con el proceso de micronización se fabrican harinas.

El amaranto se puede considerar como una buena alternativa en la obtención de componentes necesarios en la elaboración de alimentos, ya que su cultivo es relativamente sencillo, es resistente a plagas y sequías y tiene alto rendimiento, entre otras cualidades.

La jícama, tubérculo con alto contenido de agua, es objeto de estudio en el mismo laboratorio; la idea es encontrar estrategias de preservación de este alimento, ya que al paso de los días pierde gradualmente agua, lo que le resta frescura y aspecto. En nuestro país no han podido desarrollarse todavía métodos de conservación que nos permitan disfrutarla todo el año y aprovechar sus vitaminas y minerales. Paralelamente, se intenta comercializar un refresco de esta raíz.

El frijol

El frijol y el maíz son la esencia de la dieta del mexicano. Durante su almacenamiento, la semilla del frijol sufre diversos cambios, los cuales van en detrimento de su valor nutricional y favorecen el efecto de endurecimiento; el estudio de esta leguminosa trata de evitar que las semillas almacena-

das se deterioren. Para dar una idea del problema en cuestión, piénsese en la cantidad de gas usada por una ama de casa para cocer frijoles endurecidos (en ocasiones se necesitan hasta ocho horas); si se lograra evitar la dificultad de cocimiento, el tiempo de cocción se reduciría significativamente y se conservarían sus propiedades nutricionales, lo cual repercutiría directamente en beneficio del presupuesto familiar. Por otro lado, uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura es el uso cada vez más irracional de pesticidas y fertilizantes, que deterioran de manera alarmante la calidad de los suelos y del agua; por ello es que en los últimos años las investigaciones biotecnológicas están encaminadas a encontrar agentes naturales que puedan operar un control biológico de las plagas y optimizar un mejor aprovechamiento del nitrógeno por parte de las plantas.

Dentro del primer aspecto señalado, el Laboratorio de Bioinsecticidas realiza diversos trabajos de experimentación con la bacteria *Bacillus thuringiensis*, la cual produce, al momento de la esporulación, un cristal de naturaleza proteica con carácter insecticida, inocuo para los animales superiores. Día con día van descubriéndose nuevas cepas de este microorganismo, algunas de ellas con un grado de toxicidad superior a las cepas encontradas en el mercado. En el laboratorio es menester caracterizar más de 400 cepas de *B. thuringiensis* que han logrado aislarse de diferentes zonas del país.

Con respecto al mejor aprovechamiento del nitrógeno por las plantas, el Laboratorio de Ecología Microbiana lleva a cabo trabajos relacionados con las poblaciones microbianas que habitan en la rizósfera (porción del suelo adyacente a la raíz de una planta), entre las cuales destacan las bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium* que forman nódulos en las raíces de las leguminosas dando lugar a una relación mutualista planta-bacteria. No obstante, algunas de las cepas de *Rhizobium* son malas fijadoras de nitrógeno atmosférico, quedando en manos de los investigadores la tarea de evaluar las cepas bacterianas en algunas regiones de México y encontrar la manera de inducir nódulos con bacterias que puedan incorporar dicho elemento al metabolismo de la planta; esto se ha hecho en la zona frijolera de Zacatecas y en la Mixteca Oaxaqueña. También se llevan a cabo es-



tudios sobre micorrizas (asociación hongo-planta que favorecen el suministro de fósforo del hongo al vegetal), abriendo la posibilidad de utilizar árboles que presenten este tipo de asociación en los programas de reforestación.

Plantas transgénicas

En nuestra segunda semana continuaron las visitas dentro de la Unidad, pero ahora en el Departamento de Ingeniería Genética. En este departamento se desarrollan proyectos que suenan muy ambiciosos para el futuro de la ingeniería genética de plantas. Nos mostrábamos con gran curiosidad durante las explicaciones de los investigadores, quienes utilizan aparatos sofisticados para lograr avances en la ciencia. Algunas de nuestras inquietudes fueron aclarándose a través de esa semana, por lo que ahora nos permitimos mencionar, al igual que en el área de Biotecnología y Bioquímica, algunos de los trabajos que allí se realizan.

En el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales se realiza la multiplicación vegetativa *in vitro* de células, tejidos y órganos; esta micropropa-

gación ha sido particularmente útil para el mejoramiento de plantas ornamentales y frutales a nivel comercial, así como plantas libres de enfermedades en cultivos de importancia económica y últimamente para la obtención de metabolitos secundarios de interés.

La manipulación del material genético en los microorganismos y en plantas hace posible el avance de la biotecnología, obteniendo líneas mejoradas de vegetales conseguidas por la metodología de la biología molecular; todos estos métodos son aplicados para la obtención de plantas transgénicas.

Después llegamos a los laboratorios donde se estudian los marcadores genéticos, el control de bacterias y hongos fitopatógenos, siendo importante el diagnóstico de enfermedades de las plantas por microorganismos difíciles de identificar.

La calidad nutricional de los granos ha sido otro de los trabajos relevantes. Mediante la ingeniería genética se estudia la posibilidad de introducir genes a plantas para que produzcan granos con aminoácidos esenciales que por lo común no contienen. En cuanto al tema de la nutrición, no hay que dejar de mencionar la investigación que se hace sobre la maduración de frutos, estudiando los

genes responsables de este proceso y así lograr retardarla con el propósito de conseguir un mejor manejo de las frutas cuando se tienen que transportar a lugares lejanos para su consumo.

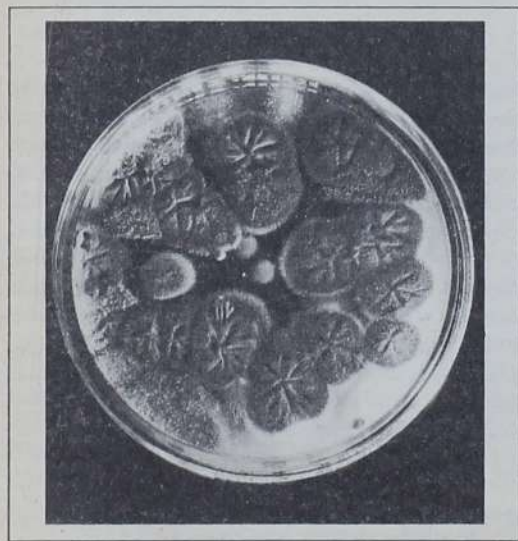
El control de plagas insectiles no podía pasarnos desapercibido. Obtuvimos conocimientos sobre biología molecular de insectos, hongos, virus y bacterias entomopatógenos que representarían para la agricultura el control biológico idóneo de plagas insectiles, repercutiendo en una mayor producción de granos a un menor costo. Por último nos dimos cuenta de los avances de la ingeniería genética. Con el desarrollo de plantas transgénicas no falta mucho tiempo para verlas en nuestros campos, así como los alimentos mejorados en nuestra mesa.

Micotoxinas

Al cabo de dos semanas habíamos tenido la oportunidad de conocer a grandes rasgos las líneas de investigación desarrolladas en la Unidad Irapuato del Cinvestav. Uno de nosotros —Aviña— decidió colaborar en el Laboratorio de Micotoxinas, del Departamento de Biotecnología y Bioquímica. En él se realizan investigaciones sobre las aflatoxinas que son sustancias químicas con propiedades cancerígenas, teratógenas y mutagénicas producidas por hongos del tipo *Aspergillus flavus*, un ascomyceto cuyas esporas pueden hallarse en todo el mundo, y que es constituyente de la micoflora del aire y la tierra. Esta distribución tan amplia permite en ocasiones el desarrollo de hongos de tal especie en diversos vegetales de interés comercial.

Dichos compuestos son un metabolito secundario de ciertas cepas de *A. flavus*. Su estudio adquiere gran importancia debido a que estos microorganismos constantemente proliferan en especies vegetales de consumo humano y animal o durante el almacenamiento de granos. No todas las cepas de *A. flavus* son productoras de la toxina, lo cual hace necesario contar con métodos de análisis y detección confiables de dichas sustancias.

En apoyo a lo anterior, durante mi estancia en este laboratorio se probó un método de detección de aflatoxinas desarrollado en Brasil. Consiste en la



preparación de medios de cultivos elaborados con crema de coco y agar, a los cuales se debe inocular la cepa sujeta a examen. Los días posteriores a la inoculación, la placa debe ser observada bajo luz ultravioleta, con la finalidad de detectar la fluorescencia característica de estos compuestos químicos; además, a simple vista se aprecia que las cepas productoras tienden a formar manchones amarillentos en la placa. De esta manera se decidió emplear este método con cepas procedentes de diferentes regiones de la República. El objetivo es dilucidar si en México la contaminación por aflatoxinas en los alimentos es un problema real y determinar cuál es la magnitud que pudiese alcanzar.

Como una parte del trabajo general de investigación, me correspondió evaluar la capacidad toxigénica de las cepas con medio de cultivo coco-agar, además de asegurar si dicho medio es eficiente en la detección de cepas productoras. Por fortuna, puede afirmarse que el método es realmente eficaz.

A lo largo del desarrollo experimental he aprendido cómo debe realizarse un trabajo científico; todas las cosas nuevas que vi aumentaron mi interés por mi proyecto. El conocimiento y manejo de las técnicas me han hecho adquirir mejor destreza y una mayor confianza en mis trabajos de laboratorio; sé que un pequeño error puede alterar totalmente los resultados de un experimento. A lo largo de mi formación profesional aprenderé muchas más cosas, sin embargo nunca olvidaré mis primeras andanzas en el camino de la ciencia.

Hongos fitopatógenos

Mientras Aviña ingresaba al Laboratorio de Micotoxinas, yo —Ayala— tuve dificultad en seleccionar el laboratorio donde iba a permanecer, ya que todos me parecieron interesantes y útiles para mí, químico farmacéutico biólogo. Me decidí por el de Hongos Fitopatógenos a cargo de la Dra. Ana María Bailey, dentro del Departamento de Ingeniería Genética. Cuando hice el recorrido inicial me interesaron algunas de sus técnicas sobre biología molecular de los hongos que aún tienen muchas incógnitas, lo cual dificulta su manipulación genética. Se me ofrecieron grandes oportunidades de aprender, desde lo básico de la biología molecular

hasta lo más complejo. Lástima que el tiempo de la estancia se redujera únicamente a dos meses. No obstante, fue suficiente para obtener algunos conocimientos y poder relatar mis experiencias.

Algunas técnicas que conocí son de gran utilidad para la ingeniería genética de hongos, entre las que destacan las siguientes: biobalística, electroforesis por pulsos y electroporación.

Con la técnica de biobalística se introducen plásmidos a hongos del género *Phytophthora*. Para incorporar el plásmido al genoma del hongo, el material que se usa está formado por micropartículas de tungsteno, gas helio con bomba de vacío, membranas de sostén, ADN y, por supuesto, el vehículo molecular, el cual es precipitado con espermidina para adherirse a las micropartículas y después bombardear a las hifas. La técnica ofrece la ventaja de transformar todo tipo de tejido, sin previa preparación, en ocasiones con plásmidos de alto peso molecular.

En la electroforesis por pulsos se efectúa un corrimiento de gel de agarosa, utilizando pulsos eléctricos en diferentes direcciones, así como la variación de voltajes en ciertos tiempos. Esto se hace con el fin de separar por tamaño los cromosomas de los hongos y observar su contenido genómico.

La electroporación es una herramienta indispensable para la amplificación de material genético de interés, ya que la transformación de *Escherichia coli* por este método es de alta eficiencia. Las células se someten a choque eléctricos para abrir sus poros y permitir la entrada del plásmido, el cual se reproduce en el interior en grandes cantidades a fin de ser utilizado en nuevas estrategias de ingeniería genética.

No sólo conocí estas metodologías, también observé otras técnicas necesarias para la manipulación genética de los microorganismos: la extracción del ADN genómico de los hongos a través de la obtención de protoplastos por enzimas que digiere la pared celular (quitinasas y celulasas), almacenando el material genético en bloques de agarosa para utilizarlos cuando se necesiten; la reconstrucción de plásmidos, proceso en el que se utilizan enzimas de restricción para cortar el frag-

mento de interés e insertarlo por medio de ligasas a otro vector, con el fin de efectuar una transformación y analizar si en realidad existe esa inserción en el vehículo molecular a través de marcaje radiactivo.

A grandes rasgos, he mencionado parte de lo que aprendí en el laboratorio, lo cual me será de gran ayuda para realizar un posgrado en esta área.

Perspectivas del CINVESTAV-Irapuato

Mucho hemos hablado de lo que actualmente se hace en este centro de investigación; sin embargo, casi no nos hemos ocupado del futuro de la institución, el cual es a todas luces prometedor. Ofrece un enorme apoyo a estudiantes (bachilleres, tesis de licenciatura), así como la impartición de cursos de posgrado, en los cuales se forjan los futuros investigadores del país bajo la tutela de grandes científicos, muchos de ellos miembros del SNI con trayectorias reconocidas a nivel nacional, e incluso dentro de los ámbitos internacionales. Prueba de esto son los premios otorgados durante nuestra estancia a los doctores Octavio Paredes López y Luis Herrera Estrella.

También vale la pena mencionar la preocupación del Centro, y en especial del Dr. Alvarez, por difundir los trabajos realizados en la Unidad, para lo cual ha instituido el día abierto a la "Biotecnología para todos", en donde se invita a gente de la región a conocer el plantel y poder apreciar cómo la investigación científica puede contribuir al bienestar social. Aunado a lo anterior, el interés del CONACYT por impulsar el desarrollo de la ciencia nacional y la cada vez mayor participación de la iniciativa privada, han hecho posible en México el establecimiento de vínculos con otros países en la realización de proyectos de investigación de magnitud internacional; mientras tanto, a nivel nacional se espera en un futuro contar con la colaboración de empresas regionales en el desarrollo de programas a largo plazo, lo cual permita la formación de recursos humanos y aumente el patrimonio científico de la nación.

Agradecimientos

Agradecemos a todo el personal del CINVESTAV-Irapuato, Dr. Ariel Alvarez, estudiantes Juan Vargas, Horacio Guzmán y Mayolo Juárez; a la AIC y la SESIC; al Dr. Saúl Villa Treviño; a nuestros asesores: M. en C. Doralinda Guzmán y Dra. Ana Ma. Bailey.

Bibliografía

Amaranto:

Teutonico, R.A., y D. Knorr, "Amaranth: Composition, Properties and Applications of a Rediscovered Food Crop", *Food Technology*, Abril, 1985, pp. 46-60.

Paredes-López O., et al., *Amaranto. Características Alimentarias y Aprovechamiento Agroindustrial*. Secretaría General de la OEA, 1990, pp. 97.

Paredes-López O., Barba de la Rosa A.P., y A. Carabez Trejo, "Enzymatic Production of High-Protein Amaranth Flour and Carbohydrate Rich Fraction", *Journal of Food Science* 55-4, 1990, pp. 1157-1161.

Frijol:

Paredes-López O., Barradas I., y C. Reyes-Moreno, "Prediction of the effect of Storage Condition on Water Content and Water Activity of Common Beans", *Journal of Food Science* 54-5, 1989, pp. 1373-1374.

Aflatoxinas:

Goldblatt L.A., (ed.) *Aflatoxin*, Academic Press, New York, 1969.

Ulloa M. y R. Hanlin, *Atlas de Micología Básica*. Editorial Concepto, 1978, pp. 158.

Guzmán D., "Micotoxinas en el Bajío Guanajuatense", *Avance y Perspectiva* 8, Núm. 40, 1989, pp. 15-20.

Lin M., y J.C. Dianese, "A Coconut-Agar Medium For Rapid Detection of Aflatoxin Production by *Aspergillus* spp", *Phytopathology* 66, 1976, pp. 1466-1469.

Ingeniería Genética:

Klein T.H. et al., "Transfer of foreign genes into intact maize cells with high-velocity microprojectiles", *Proceedings of National Academy of Sciences of USA* 85, 1988, pp. 4305-4309.

Herrera-Estrella L., Rivera R., Torres I., y J.A. Garzon, (eds.), *Introducción a la Biología Molecular e Ingeniería Genética de plantas*. SARH-CINVESTAV-INIFAP. 1991.



El descubrimiento del potencial de acción

Los estudios de Luigi Galvani en el siglo XVIII sobre los efectos de la electricidad en los músculos involucraron una controversia con Alessandro Volta que condujo a la invención de la pila voltaica, o batería, y del galvanómetro, así como al descubrimiento del potencial de acción.

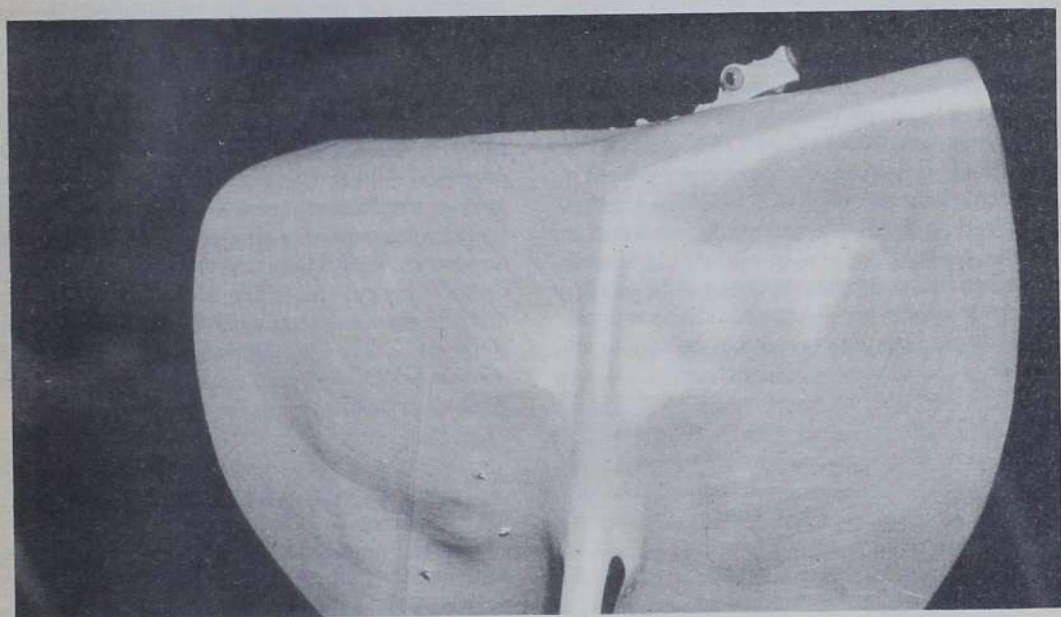


Foto: Fulvio Eccardi

José del Castillo, Amelia Rivera y Fidel Ramón

La electricidad estática o friccional

La electrofisiología y la rama de la física conocida como electricidad tienen un ancestro común. Am-

bas nacieron a finales del siglo XVIII, como resultado de una controversia entre dos sabios italianos, Luigi Galvani y Alessandro Volta, sobre la naturaleza de las interacciones entre metales y músculos.

El Dr. José del Castillo es profesor emérito del Instituto de Neurobiología de la Universidad de Puerto Rico, 201 Boulevard del Valle, San Juan 00901. La Dra. Amelia Rivera, profesora titular del Departamento de Fisiología del CINVESTAV, obtuvo su doctorado en la Universidad de Puerto Rico. El Dr. Fidel Ramón es profesor titular del mismo departamento y obtuvo su doctorado en la Universidad de Duke, EUA. El campo de investigación de los tres es la electrofisiología del sistema nervioso y la terminal neuromuscular. El presente artículo forma parte de un libro de texto que será publicado por la editorial Plenum de los EUA.

Los fenómenos eléctricos, en particular los atmosféricos, eran conocidos desde el despertar de la humanidad. Sin embargo, sólo un tipo de electricidad había sido estudiada experimentalmente, la llamada estática o friccional; esto es, los fenómenos eléctricos que ocurren como resultado de frotar un material no conductor (o aislante) como vidrio, ámbar, resina, cera, etc., contra otro mate-

rial aislante, seda, lana, o la piel de un gato. El hecho de que como resultado del frotamiento estos materiales adquieren propiedades nuevas, tales como la capacidad de atraer partículas pequeñas, incitó la curiosidad de muchas inteligencias.

Mucho antes de la mitad del Siglo XVIII se habían construido máquinas capaces de producir grandes cantidades de electricidad, los generadores electrostáticos, y también se habían inventado maneras de almacenarla. El aparato para almacenar electricidad más popular en aquella época era la "botella de Leyden", inventada independiente y casi simultáneamente (1745), por Ewald Jurgen von Kleist (1700-1748), diácono de la catedral de Kamin en Brandenburgo, y por Petrus van Musschenbroek (1692-1761) en Leyden. Este aparato, que hoy día describiríamos como un capacitor, consistía en una botella de vidrio llena con perdigones, o láminas de cobre o de oro (incluso agua salada en alguna de sus versiones). Una varilla metálica pasada a través del corcho en-

traba en contacto con los perdigones en su interior. El exterior de la botella, envuelto con una lámina, se mantenía aislado del interior (Fig. 1).

La botella se cargaba tomándola por la lámina exterior y tocando con el extremo de la varilla un objeto cargado por fricción. Se descargaba conectando la varilla con la lámina por medio de un conductor, como un alambre o el mismo experimentador. La descarga iba acompañada de una chispa en el caso del alambre, y de un choque muy doloroso si el conductor era un animal o un ser humano. Varios libros de la época describen un experimento hecho por el abad Jean-Antoine Nollet (1700-1770) en el Palacio de Versalles, en presencia del rey Luis XV de Francia. El abad colocó en círculo una compañía de soldados, 180 de los guardias del rey agarrados por las manos, e interpuso entre ellos una botella de Leyden cargada. Cuando el circuito fue cerrado por la cadena humana la electricidad contenida en la botella se descargó y, como resultado, todos los soldados saltaron adoloridos, para sorpresa del rey y el progreso de la ciencia.

Benjamín Franklin

Un ilustre investigador que usó la botella de Leyden fue Benjamín Franklin (1706-1790), el estadista y filósofo norteamericano, quien trabajó en una teoría unificadora para explicar todos los experimentos con electricidad. En 1751 publicó un libro donde ya dividía los materiales en eléctricos (conductores) y no-eléctricos (no conductores).

Franklin desarrolló la idea de la conservación de la carga, de acuerdo con la cual la electricidad almacenada en la botella de Leyden no representaba un aumento neto de carga, sino el hecho de que las cargas presentes en la botella habían sido separadas y se encontraban listas para volver a reunirse cuando el interior de la botella y la lámina exterior son conectados por medio de un conductor. También demostró la naturaleza igual pero opuesta de las cargas a cada lado del vidrio o, en sus propias palabras, que "the Leyden bottle has no more electrical fire in it when electrified than before", y que la razón de la separación de la carga por la botella se encontraba en el vidrio.

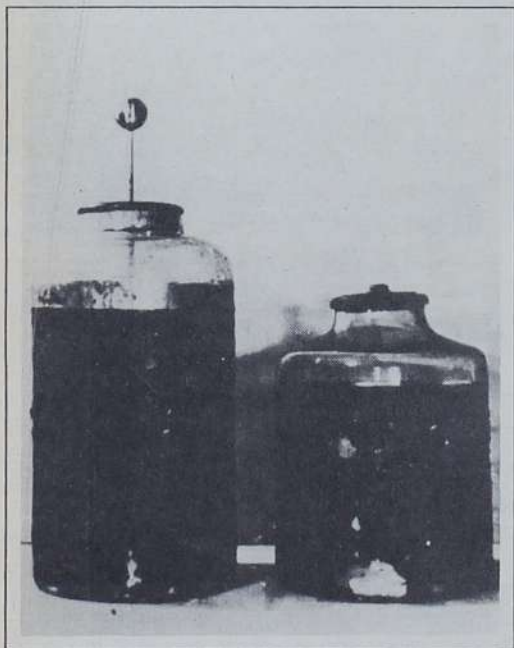


Figura 1. Dos de las primera botellas de Leyden, que se observan en el retrato de Petrus van Musschenbroek pintado por J.M. Quinkhard y que se encuentra en el museo Boerhaave, en Leyden.

Los cuidadosos estudios de Franklin sobre la electricidad estática, un tema difícil debido al comportamiento en apariencia caprichoso de los cuerpos frotados, le permitieron enunciar con claridad que el efecto de la fricción era separar dos tipos de cargas que se cancelaban mutuamente si se encontraban juntas. Para explicar esto, propuso la teoría del fluido eléctrico, según la cual un cuerpo electrificado que tiene un exceso de carga se acompaña de otro con una carencia igual, e introdujo los términos electricidad positiva y negativa, tal como los usamos hoy.

Otra teoría de la época era la de los dos fluidos eléctricos, en la que postulaba que algunos cuerpos poseen un tipo de fluido mientras que otros poseen el opuesto. Sin embargo, en principio no hay una gran diferencia entre las dos teorías (ya que una ganancia negativa puede llamarse una deuda), pero el tratamiento de Franklin aclaró estos conceptos. Por este trabajo Benjamín Franklin ha sido llamado el fundador de las ciencias eléctricas.

Franklin inventó una versión modificada de la botella de Leyden, llamado el cuadrado mágico, y que no es otra cosa que un capacitor plano. Consistía en una hoja de vidrio de ventana entre dos placas de plomo, puestos en un marco de madera. Este artefacto, también conocido como la "sartén" de Franklin, acumulaba una cantidad de electricidad igual a la de la botella de Leyden. Sin embargo, a pesar de sus estudios sobre la naturaleza de la electricidad, Franklin es más conocido como el hombre que estableció la naturaleza eléctrica del rayo y diseñó el primer pararrayos efectivo.

La idea de que el relámpago y las chispas eléctricas producidas por las máquinas de fricción tuvieran algo en común ya había sido motivo de conjeturas, pero fue Franklin quien por primera vez estudió este problema en forma sistemática, proponiendo doce puntos en los que el "fluido eléctrico" se parecía al relámpago. Además, llevó a cabo una serie de experimentos sobre la utilización de las puntas agudas para descargar los cuerpos electrificados, y como resultado propuso la forma del pararrayos con el que se asocia su nombre; "would not —se preguntó— these pointed rods probably draw the electrical fire silently out of a cloud before it... strikes". También sugirió un ex-

perimento, en el que un hombre parado sobre un bloque aislado en un edificio alto atraería chispas de las nubes de tormenta por medio de una varilla puntiaguda. Siguiendo su idea este experimento fue llevado a cabo con éxito en Francia.

El experimento con la cometa, que ha sido siempre asociado con su nombre, fue llevado a cabo por Franklin en Filadelfia. La cometa volaba atada a una cuerda que, al humedecerse, se convertía en conductor, no muy bueno, afortunadamente para el experimentador, y aislado de su mano por un pañuelo de seda. La electricidad que fluía por la cuerda era suficiente para hacer saltar chispas entre una llave amarrada a ella y los nudillos de Franklin. Aunque este experimento fue una confirmación de lo que ya había sido establecido, ha permitido representar a Franklin en una forma popular, al igual que se representa a Newton con una manzana cayendo de un árbol.

Sin embargo, todos estos experimentos, aunque divertidos e impresionantes, no condujeron al entendimiento de la naturaleza de las propiedades de la electricidad, debido, principalmente, a que la electricidad estática podía controlarse sólo en parte, y aunque podía ser almacenada, su descarga era siempre instantánea, con un destello o una chispa. La electricidad no estuvo disponible para la experimentación hasta la invención por Volta, en 1800, de la pila o batería eléctrica, iniciada por la notoria controversia entre él y su compatriota Galvani.

Luigi Galvani

Desde los primeros experimentos con máquinas electrostáticas y las botellas de Leyden, se sabía que la descarga de la electricidad estática puede inducir contracciones musculares. De hecho, en 1747 Antoine Louis mostró que los músculos paralizados se contraían cuando una botella de Leyden era descargada a través de ellos. Sin embargo, la misma descarga no producía la contracción de músculos atrofiados.

Fue Luigi (o Aloysii) Galvani quien por primera vez investigó de manera sistemática los efectos de la electricidad sobre los músculos. Galvani nació, vivió y murió en Bologna. En la universidad de su ciudad natal estudió teología primero, aunque pron-



Figura 2. Luigi Galvani (1737-1798). Este óleo de Galvani, probablemente pintado por Spagnoli, se encuentra en la biblioteca de la Universidad de Bologna.

to se decidió por la medicina. En 1762, después de haber trabajado en el riñón y en el órgano auditivo de las aves, empezó a dar clases de medicina; en 1775 fue nombrado profesor de anatomía y posteriormente también profesor de ginecología.

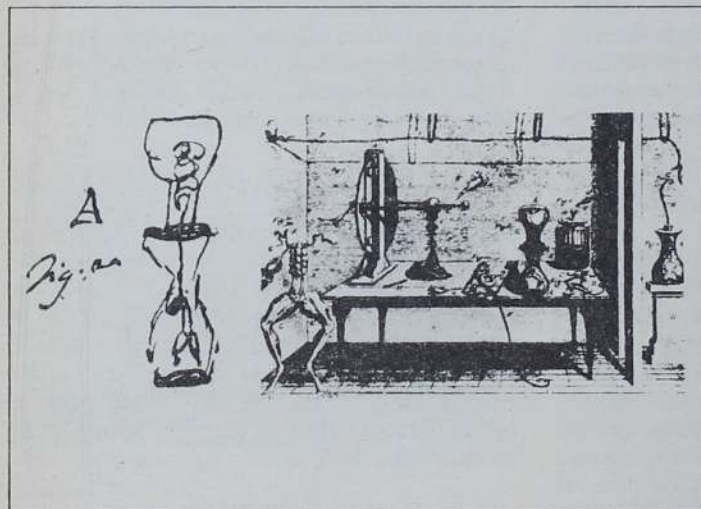


Figura 3. Un esquema hecho por Galvani de una botella conteniendo la preparación de la rana "galvanoscópica". A la derecha se encuentra un dibujo de un aparato electrostático, una botella de Leyden y el alambre que cruzaba el cuarto y recogía la carga.

En 1773, Galvani ya había empezado a estudiar los mecanismos de estimulación de los "nervios que mueven al músculo", o motores, como lo indica el título de su conferencia *Sul moto musculare nelle rane*, pronunciada ese año. Sin embargo, para entonces había usado solamente estímulos mecánicos. El 6 de noviembre de 1780, mientras experimentaba con uno de los generadores electrostáticos diseñados por Otto von Guericke (1602-1686), Galvani hizo un descubrimiento extraordinario. Observó que cuando los nervios de una pata de rana eran tocados con la punta de un bisturí de disección, ocurrían fuertes sacudidas en los músculos. Esto sucedía aun cuando no hubiera una conexión directa entre el aparato electrostático y la rana, la que se encontraba sobre una mesa, separada del aparato por alguna distancia. Pronto descubrió que las contracciones ocurrían simultáneamente con las chispas eléctricas producidas por la máquina, pero sólo cuando sujetaba el bisturí por la parte conductora de la hoja y no por su mango aislante. Suelen considerarse estas observaciones como el primer experimento de Galvani.

Galvani dedicó el resto de su vida a la investigación de ese curioso fenómeno, usando para ello cientos de preparaciones, principalmente ranas. Empezó estudiando las contracciones de las patas de la rana que ocurrían cuando éstas no se encuentran en contacto directo con la fuente de electricidad. De hecho, uno de los fenómenos mas importantes que Galvani descubrió, aunque pocas veces es reconocido como tal, fue la inducción de oscilaciones eléctricas en una varilla metálica (el bisturí) debido a las chispas eléctricas producidas por la máquina electrostática. Se podría describir el primer experimento de Galvani como uno de tele-estimulación por ondas electromagnéticas (de radio), donde la pata de la rana actuaba como un detector muy sensible de las señales eléctricas generadas en el bisturí.

En otra serie de experimentos Galvani investigó el efecto de la

electricidad atmosférica sobre las preparaciones animales. En experimentos efectuados al aire libre durante una tormenta eléctrica observó la producción de fuertes sacudidas musculares con cada relámpago, lo que confirmó las observaciones de Benjamín Franklin hechas durante los experimentos con las cometas. Hay que hacer notar que el investigador Richmann murió luego de haber sido alcanzado por un rayo en julio de 1753, cuando hacía experimentos similares en San Petersburgo, un hecho que Galvani conocía y por lo que hacía sus experimentos con grandes precauciones.

La observación de que las patas de rana se contraían cuando tocaban metales diferentes estimuló una nueva serie de experimentos. Por ejemplo, cuando una preparación formada por los nervios lumbares y los músculos de la pata de rana era colgada por un gancho de bronce de una verja de hierro en el jardín, y el músculo hacía contacto con el hierro, la pata se contraía. En un principio Galvani atribuyó estos resultados a cambios en la electricidad atmosférica, incluso cuando podían ocurrir con un cielo despejado; sin embargo, pronto descubrió que podía repetirlos en el interior de la casa, siempre que los músculos de la pata y los nervios lumbares estuviesen en contacto con dos metales diferentes.

Galvani encontró que la fuerza de las contracciones dependía de los metales que hacían contacto con el músculo por un lado y el nervio por el otro y, finalmente, encontró que podía obtener contracciones débiles cuando un puente hecho con un solo metal se ponía en contacto con el nervio y el músculo, y que la descarga de una botella de Leyden tenía efectos similares sobre el músculo.

Con los resultados de estos experimentos Galvani podía haber concluido que la electricidad tenía un efecto estimulante sobre los

músculos y sentirse satisfecho, pero le atraía la idea de que las relaciones entre la electricidad y el músculo eran de una naturaleza más fundamental. De hecho, pensaba que la electricidad tenía un efecto importante sobre el músculo porque los músculos mismos contenían electricidad, y propuso la existencia de la "electricidad animal".

La teoría que Galvani desarrolló para explicar sus observaciones era complicada e iba mucho más allá de los hechos. Suponía que los tejidos animales tenían dos tipos de electricidad mantenidos separadamente, de modo que un tipo quedaba en los nervios y el otro en los músculos. Comparó los músculos con las botellas de Leyden y los nervios con las varillas que comunicaban con el interior. Por lo tanto, cuando los nervios y los músculos se unían por un conductor bimetálico la electricidad se descargaba y los músculos se contraían.

Galvani describió estos experimentos en su obra más importante aparecida en Bologna en 1791. Resulta interesante notar que fueron las ideas descritas en este libro las que le atraeron la atención, y el ataque, de Volta.

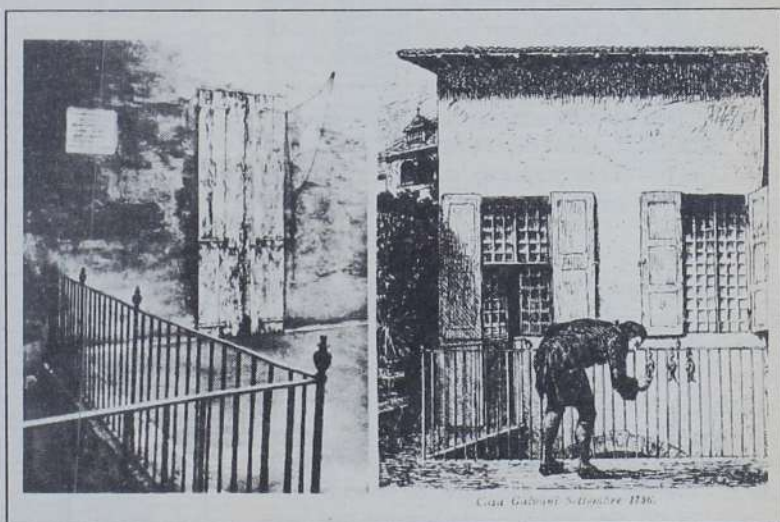


Figura 4. A la izquierda se encuentra una casa en Bologna (Calle San Felipe No. 96) ya destruida y donde se encontraba la famosa verja de hierro donde Galvani colgaba las patas de rana. A la derecha está la pintura que Du Bois Reymond mandó a hacer basada en un bosquejo hecho por él después de su visita en 1850 a la casa (de: Reden von Emil Du Bois Reymond. Vol. 2. Leipzig, 1887)

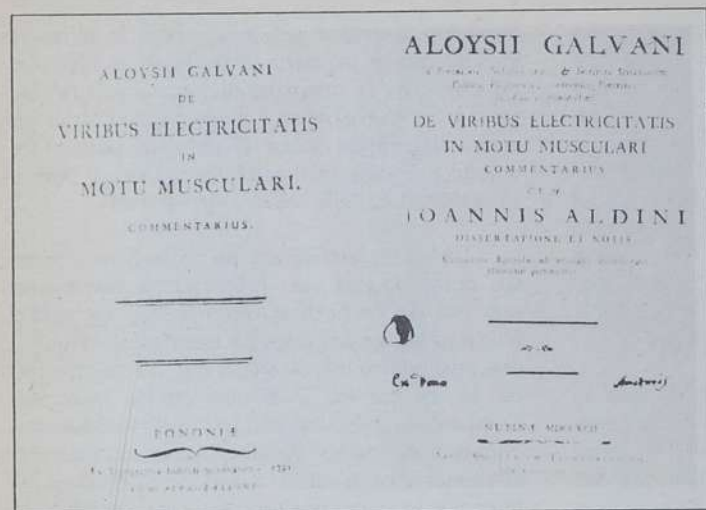


Figura 5. Frontispicio de la edición de 1792 de los Comentarios de Galvani. Esta copia está en la Biblioteca Sylvanus R. Thompson, en la "Institution of Electrical Engineers", y en la carpeta en que se encuentra hay una nota indicando que es la copia que Volta recibió de Galvani.

Alessandro Volta

El Conde Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827) era un intelectual con un gran interés en la electricidad, tema al que dedicó su vida entera. Se hizo famoso con su primera invención, el electróforo, un aparato que podía producir grandes cantidades de electricidad y que era usado para cargar las botellas de Leyden. Otra de sus invenciones fue el electroscopio, un instrumento que podía detectar cantidades muy pequeñas de carga eléctrica.

Cuando en 1791 Volta se enteró de los resultados e interpretaciones de Galvani se dedicó a hacer experimentos electrofisiológicos, y como resultado rechazó vigorosamente su hipótesis. Con facilidad confirmó que la electricidad estimula el músculo, pero creyó que la clave para la interpretación de los experimentos de Galvani estaba en la unión bimetalica. Anticipándose al concepto del "potencial de electrodo", Volta supuso que cada metal posee una cantidad característica de electricidad y concluyó que si dos metales diferentes se unen en un punto y sus extremos libres se aplican a una superficie húmeda fluiría entre ellos una corriente eléctrica que, al igual que la generada al

descargarse una botella de Leyden, estimulará los músculos que encuentra en su camino.

La controversia Galvani-Volta

Con su electroscopio, Volta detectó una diferencia eléctrica entre el cobre y el zinc de las pinzas que Galvani usaba para colgar la preparación, y demostró, con un auto-experimento, esa acción estimulante. Para ello se puso en la boca uno de los brazos de la pinza, y tocó, con el otro, uno de sus ojos, lo que dio lugar a una sensación de luz. Basado en estos datos negó la existencia de la electricidad animal que Galvani había propuesto.

Volta, un brillante pensador, profesor de física en Pavia, miembro de la Royal Society de Londres, miembro correspondiente de la Academia Francesa, con muchos conocidos en los círculos in-



Figura 6. Retrato de Alessandro Volta pintado por Roberto Focasi. Volta era un admirador de Napoleón Bonaparte y parece haber imitado alguno de sus ademanes. Al fondo se aprecia una pila o batería voltaica.

telectuales de Europa, fue el ganador de la disputa. Fortaleció su posición inventando un aparato que el mundo conocería como la pila voltaica, o batería, y que consistía en una columna formada por una serie alternante de discos de cobre y zinc, separados por madera o tela humedecidos con una solución salina. Los discos de cada extremo de la serie eran conectados a un alambre, y si se unen esos dos alambres por un conductor fluye a través una corriente eléctrica. De esta manera quedó disponible para la experimentación un aparato que podía producir un flujo ininterrumpido de electricidad en vez de descargas breves. Esto ha sido, sin duda, uno de los avances tecnológicos mas importantes en la historia de la humanidad.

La controversia con Volta terminó amargamente para Galvani quien, como consecuencia de su derrota, pasó miserablemente los últimos años de su vida. Sin embargo, antes de su muerte apareció una publicación anónima en la que se describía cómo un músculo de rana podía ser estimulado sin instrumentos metálicos. La contracción se obtenía con solo tocar la médula espinal seccionada de una rana. Los historiadores han especulado que esta publicación fue hecha por o con la colaboración de Galvani.

Además, los últimos años de la vida de Galvani fueron ensombrecidos por poderosos eventos políticos. Napoleón Bonaparte, admirado por Volta, ocupó el norte de Italia en 1796 y fundó la República Cisalpina, en la cual quedó incluida la ciudad natal de Galvani, Bologna, que antes había pertenecido al estado eclesiástico. Galvani se negó a tomar el juramento de obediencia a la nueva constitución y, como consecuencia, fue destituido de su posición de profesor. Sus amigos consiguieron su restitución efectiva el 10 de enero de 1799, pero Galvani murió en diciembre de 1798, a la edad de 61 años. No fue hasta 1841, 43 años después de su muerte, que sus trabajos completos fueron publicados en Bologna.

El impacto del descubrimiento de Volta se hizo sentir muy pronto en la ciencia. En 1818 Hans Christian Oersted (1777-1851), de Dinamarca, descubrió el electromagnetismo al demostrar, durante una clase para estudiantes, que una aguja magnética (brújula) era deflectada hacia un alam-

bre que conducía corriente eléctrica. Sólo dos años después de este descubrimiento Schweigger, en Alemania, inventó el primer aparato práctico para medir el flujo de electricidad a través de un conductor. En este aparato el alambre que lleva la corriente se enrolla varias veces alrededor de una aguja magnética, reforzando y multiplicando el efecto de la corriente. Este instrumento fue llamado en un inicio reómetro o multiplicador, y posteriormente galvanómetro, nombre con el que se le conoce hoy en día.

Cinco años después de la invención de ese primer galvanómetro, Leopold Nobili (1784-1835) desarrolló otro mucho más sensitivo y reivindicó a Galvani al demostrar que los músculos generan corrientes eléctricas cuando se contraen. Con esto quedó claro que ni Galvani ni Volta habían estado equivocados; después de todo, existía una electricidad animal.

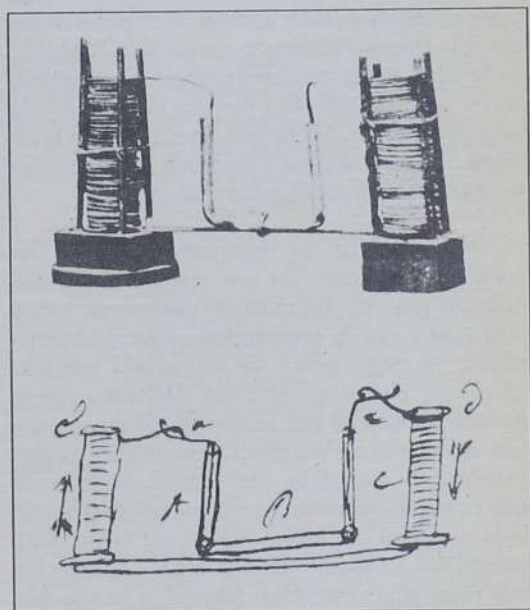


Figura 7. Pilas usadas por Volta y conservadas en el Templo de Volta en Como, así como un esquema del experimento. Arriba se encuentra el aparato usado por Volta para demostrar que la pila produce el agua alcalina en un lado y ácida en el otro. Abajo está el diagrama del mismo aparato hecho por Volta (Edizione Nazionale, 2: 60-61 y 329, 1899).

Los primeros estudios

A partir de la tercera década del siglo XIX, el recién inventado galvanómetro fue aplicado al estudio de varios problemas físicos y fisiológicos, entre los que estaban la actividad nerviosa y muscular. Varios investigadores entraron en escena después que Nobili, usando el galvanómetro estático que él mismo diseñó, encontró que el músculo genera corrientes eléctricas durante la contracción.

Entre los nuevos investigadores destacó Carlo Matteucci (1811-1865), profesor de Física en Pisa y uno de los primeros ministros italianos de instrucción pública. Matteucci descubrió que un músculo lesionado, en reposo, se comporta como una fuente de corriente eléctrica. De hecho, si se coloca un electrodo sobre un extremo cortado del músculo y otro sobre la superficie intacta, se detecta una deflexión "galvanométrica"; esto es, una corriente eléctrica. Esta sería conocida más tarde como la corriente de lesión, generada por un potencial de lesión. Sus instrumentos fueron suficientemente sensibles para detectar una disminución en la amplitud de esa corriente eléctrica durante la contracción "tetánica" (un término que él introdujo) producida por estricnina. En retrospectiva, ésta fue una observación de suma importancia, ya que esta disminución en la corriente de lesión se debe a los trenes de potenciales de acción producidos durante el tétano.

Matteucci fue un observador prolífico. Demostró que el nervio en una preparación neuromuscular (esto es, un músculo unido a su nervio motor, tal como la preparación clásico-gastrocnemio de la rana), podía ser estimulado por otro músculo si entran en contacto. Matteucci fue el primer fisiólogo que usó la contracción de un músculo unido a su nervio motor para detectar la estimulación, o excitación, del nervio. El músculo sirve como un indicador muy conveniente y barato de la actividad del nervio motor, por lo que este método fue empleado hasta avanzado el siglo XX para fines de investigación original, y se usa aún en demostraciones para estudiantes.

Matteucci también notó que cuando se cerraba un circuito eléctrico estimulador la excitación del nervio se originaba en la región donde se colocaba el cátodo (o electrodo negativo), mientras



Figura 8. Emil DuBois Reymond, cuando se encontraba en la cima de su carrera científica.

que cuando se abría el circuito era la región del ánodo (o electrodo positivo) la excitada. Además, también fue el primer electrofisiólogo que notó que los electrodos de estimulación se polarizaban (esto es, desarrollaban un potencial propio) después que ha pasado una corriente eléctrica.

Alrededor de 1840 el centro de la investigación en electrofisiología se movió de Italia a Alemania, donde una floreciente escuela de fisiología había sido fundada por Johannes Müller (1801-1858), primero profesor en Bonn y posteriormente en Berlín. Entre sus discípulos se incluyeron gente de la importancia de Emil Heinrich Du Bois-Reymond (1818-1896), originalmente suizo; Hermann von Helmholtz (1821-1894), quien empezó su carrera como médico militar y terminó como profesor de Física en Berlín; Ernst von Brücke (1819-1892) e Iván Mikhailovich Sechenov (1829-1905), conocido como el padre de la fisiología rusa. Es notable que aunque Müller no estaba muy interesado en la electricidad, y consideraba que sus efectos fisiológicos eran solamente artefactos interesantes, tuvo la visión de orientar a uno de sus mejores discípulos hacia este nuevo campo.

En 1841 Du Bois-Reymond recibió de su profesor una copia de uno de los primeros libros de Matteucci, junto con la sugerencia de que sería

interesante confirmar y desarrollar el trabajo del italiano. Du Bois-Reymond siguió el consejo de Müller en forma tan literal, que en noviembre del mismo año ya había publicado una nota preliminar sobre el tema, y hacia finales de la década publicó su trabajo completo, *Elektricität*.

Du Bois-Reymond era un experimentalista excelente y tenía una gran habilidad para la instrumentación, por lo que no le tomó mucho tiempo repetir las observaciones de Matteucci sobre la corriente que fluye en un músculo lesionado y a la que llamó "Muskelstrom". Mas aún, usando la estimulación farádica (la corriente producida por un carrete de inducción) detectó que el "Muskelstrom" disminuía cuando se estimulaba el nervio motor, a lo que llamó una "variación negativa" o "corriente de acción" del músculo, usando el término negativo en un sentido algebraico más que eléctrico, para implicar que la amplitud de la corriente registrada disminuía.

Corrientes de lesión

Du Bois-Reymond fue aún más lejos. Estudiando con su sensible galvanómetro nervios aislados, des-

cubrió en 1845 la existencia de cambios electromotrices en el tejido nervioso, similares a los observados en el músculo. Observó que si los electrodos del galvanómetro eran aplicados sobre la superficie del nervio, alejados de los extremos cortados, esta superficie era equipotencial. Sin embargo, si se colocaba uno de los electrodos cerca del extremo cortado, mientras que el otro se mantenía alejado, el electrodo cercano al extremo cortado era negativo con respecto al otro. También encontró que cualquier lesión producida por calor o compresión sobre una región previamente intacta del nervio lo hacía negativo con respecto a las regiones aún intactas. Ya que estas corrientes se registraban en nervios en ausencia de estimulación, fueron llamadas corrientes de reposo. Usando la terminología contemporánea, serían descritas como las corrientes de lesión producidas por el potencial de reposo de las fibras nerviosas descargándose a través de la región dañada de la membrana excitable del nervio.

Velocidad del impulso nervioso

Du Bois-Reymond pudo demostrar también que un nervio estimulado sufre una variación negativa, similar a la observada en el músculo. Con esto descu-

bió el impulso nervioso o potencial de acción y afirmó, con razón, que había demostrado la identidad entre el "principio nervioso" y la electricidad ["si no me engaño completamente, he conseguido encontrar (aunque bajo un aspecto ligeramente diferente) el sueño centenario de físicos y fisiólogos, de observar la identidad entre el principio nervioso y la electricidad"].

Dos colaboradores de Du Bois-Reymond, Herman von Helmholtz y Julius Bernstein, realizaron progresos mayores. Helmholtz fue el primer científico que logró medir la velocidad de propagación de la excitación en el nervio de rana, y en 1850 describió estos experimentos en una comunicación de menos de dos páginas. En este trabajo Helmholtz usó una

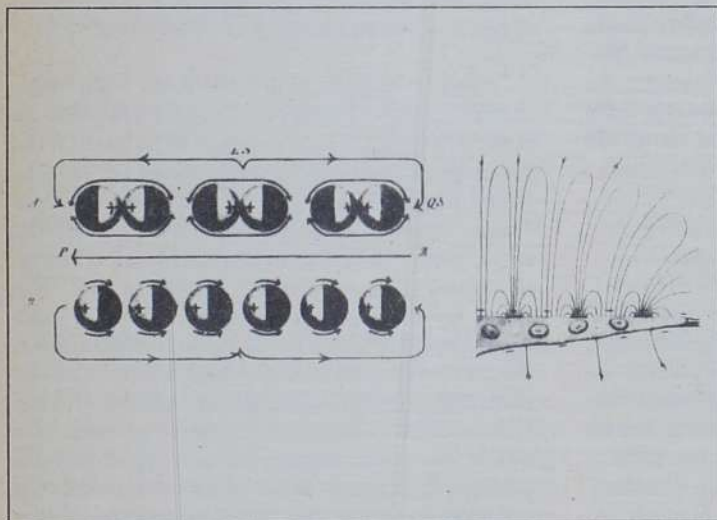


Figura 9. Dibujos hechos por Du Bois-Reymond para ilustrar sus ideas sobre la corriente eléctrica en el nervio. El esquema de la izquierda muestra el cambio en la orientación de las moléculas durante la polarización. El esquema de la derecha es la dirección de la corriente eléctrica durante la actividad en el nervio.



Figura 10. Daguerrotipo de Hermann von Helmholtz, de 1848, durante el período de su vida dedicado al estudio de la conducción eléctrica en el nervio.

técnica muy ingeniosa para determinar el momento en el que un circuito era abierto o cerrado, ya que era el mismo estímulo aplicado al nervio el que producía el cierre del circuito, abierto por la contracción muscular siguiente. Usando este sistema y colocando los electrodos de estimulación en puntos diferentes del nervio, calculó que la onda de excitación viajaba a una velocidad de 27-30 m/seg.

Hermann von Helmholtz

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) nació en Potsdam. Fue hijo mayor de un maestro de escuela primaria. Como cadete, estudió medicina en el Königliches Medizinisch-Chirurgisches Friedrich Wilhelm Institut en Berlín, donde fue estudiante de Johannes Müller. De 1843 a 1848 trabajó como médico militar en Potsdam, donde tomó el examen de medicina. Mientras estaba allí, se unió a la recién fundada Sociedad Física de Berlín y trabajó con Johannes Müller investigando el origen de las fibras nerviosas derivadas de las células ganglionares. Además, hizo es-

tudios sobre la llamada "fuerza vital", un tema que en aquel tiempo atraía la atención de físicos, químicos y biólogos, y cuyo resultado fue un trabajo clásico en física que apareció en 1847, en el cual aplicó a todas las ciencias, incluida la neurofisiología, el principio de la energía descrito por Robert Mayer (1814-1878) y James Joule (1818-1889).

En 1848 Helmholtz empezó a dar clases en la Academia de Artes de Berlín y un año más tarde fue nombrado profesor de Fisiología y Anatomía Patológica en la Universidad de Königsberg. Aquí hizo el experimento sobre la velocidad del impulso nervioso descrito anteriormente e inventó un instrumento que permitió el estudio del fondo del ojo vivo. En 1858 se cambió a Bonn como profesor de Anatomía y Fisiología, y en 1868 a Heidelberg como profesor de Fisiología. En 1871 ocupó la cátedra de Física en Berlín, aunque nunca estudió esta materia formalmente y, al fin, en 1898, a la edad de 67 años, fue presidente del recientemente fundado Physikalisch-technische Reichsanstalt en Berlín, donde permaneció hasta su muerte. Las contribuciones de Helmholtz han tenido impacto en todos los campos de la ciencia y tienen amplio reconocimiento. Fue miembro de las academias y sociedades científicas más importantes de su tiempo y en 1882 el Kaiser Wilhem I lo elevó a la nobleza, con lo que su nombre cambió a von Helmholtz.

Desde nuestro punto de vista, la comunicación corta de Helmholtz sobre la velocidad de conducción puede ser considerada como el punto de partida de la neurofisiología moderna. Los primeros fisiólogos, incluyendo su maestro Johannes Müller, creían que la función de los nervios era servir como base para la propagación de un agente inmensurable, el llamado "espíritu animal". Todavía en 1844 Müller sostenía que nadie sería capaz de medir la velocidad de la acción nerviosa, ya que los tiempos involucrados eran infinitamente pequeños. Sin embargo, en su trabajo de 1850 Helmholtz estableció que el tiempo necesario para que la excitación causada por una breve corriente eléctrica se propague desde el plexo sacro hasta la inserción del nervio tibial en el músculo gastrocnemio (en la rana) era finito. El 15 de enero de 1850 Helmholtz mandó este breve informe a su amigo Du Bois-Reymond, con la petición de que lo mandara a la Sociedad Física en Berlín para "deposi-

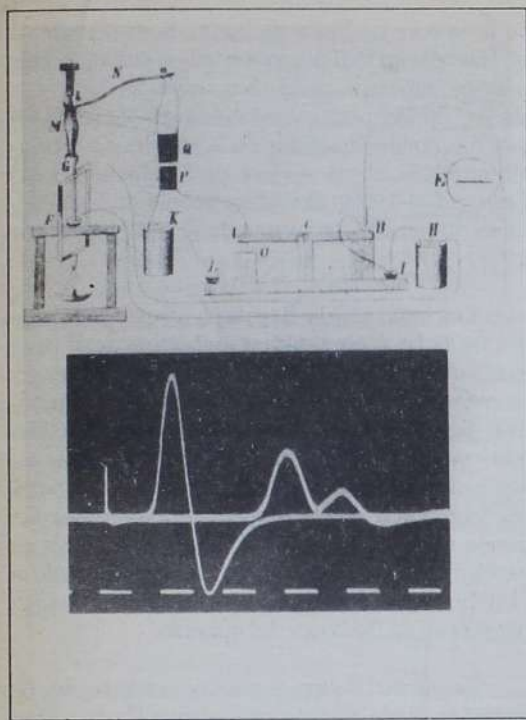


Figura 11. Arriba: Aparato usado por Helmholtz para medir la velocidad de conducción del impulso nervioso. Abajo: El cambio en el potencial de acción del nervio ciático de rana cuando es estimulado a diferentes distancias del músculo.

tarlo en su archivo y salvaguardar la prioridad". Simultáneamente lo mandó a Johannes Müller y a Alexander von Humboldt para las academias de Berlín y París, respectivamente. El 21 de enero de 1850 Johannes Müller presentó el reporte de Helmholtz como el primero del grupo físico-matemático de la Königlich-Preussische Akademie der Wissenschaften, en Berlín.

Los datos de Helmholtz muestran que la velocidad de conducción nerviosa era de entre 25 y 43 m/seg, un resultado extraordinariamente preciso cuando se compara con las medidas hechas mediante las técnicas actuales. En una investigación subsiguiente Helmholtz se refiere a la importancia de la temperatura. Menciona que obtuvo los valores más bajos de velocidad de conducción en el nervio cuando los días eran fríos, un hecho que habla de la manera exacta y crítica con que trabajaba.



Figura 12. Julius Bernstein (1839-1917).

Es interesante notar que las técnicas que Helmholtz usó eran una consecuencia secundaria de la tecnología desarrollada por el militarismo prusiano. Un problema importante para la artillería de la mitad del siglo XIX era calcular la trayectoria de una bala de cañón, era por tanto necesario conocer su velocidad y el tiempo requerido para que la pólvora prendiera. En una conferencia Helmholtz narró la historia de las mediciones de intervalos pequeños de tiempo. Describió los instrumentos empleados, en particular el cilindro rotatorio de Siemens que permitía resolver 40 milésimas de segundo, y el aparato de Foucault y Fizeau, con ayuda del cual se podían medir hasta 77 millonésimas de segundo. Recalcó "...ustedes ven que el microscopio del tiempo ha sobrepasado con mucho al del espacio".

El trabajo de Helmholtz sobre la velocidad de conducción en el nervio no terminó con el informe de 1850. El trabajo completo sobre el tema fue publicado en 1852, donde el valor promedio registrado para la velocidad de conducción en el nervio es de 27.25 m/seg.

Julius Bernstein: la teoría de la membrana

El otro colaborador de Du Bois-Reymond, Julius Bernstein, nació en Berlín el 8 de diciembre de

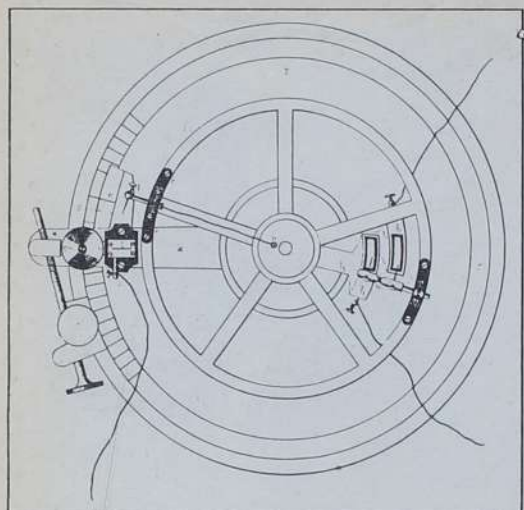


Figura 13. Esquemas de un aparato usado por Bernstein, el reotomo diferencial. El estímulo eléctrico era entregado por un par de contactos, mientras que el segundo par era conectado al galvanómetro a cada vuelta del reotomo.

1839, hijo de Aaron Bernstein, teólogo, escritor y político. Bernstein padre estaba muy interesado en las ciencias naturales y había convertido el apartamento donde vivía en un laboratorio químico y fotográfico. Se dedicó a la producción de estereofotografías y además había resuelto el problema de la comunicación simultánea en dos sentidos usando un solo alambre. Tenía una gran habilidad para presentar temas complicados en forma ininteligible para todos y era famoso como divulgador de la ciencia. Su hijo le ayudaba en los experimentos.

Bernstein empezó sus estudios de medicina en Breslau en 1858 y, tempranamente, bajo la influencia de Rudolf Heidenhain (1834-1897), se interesó en la fisiología. Por medio de un amigo de su infancia, Ludimar Hermann (1838-1914), consiguió entrar al laboratorio de Emil Du Bois-Reymond en Berlín, donde trabajó durante varios años. En 1864 fue asistente de Helmholtz en Heidelberg, y en 1867 obtuvo su doctorado en Medicina con una tesis sobre fisiología del músculo de invertebrados.

La influencia de Du Bois-Reymond sobre Bernstein en el área de la bioelectricidad fue heredada por Helmholtz. Después que Helmholtz obtu-

vo la cátedra de Física en Berlín, Bernstein dirigió el Heidelberg Institute como su sustituto, donde además daba sus clases. Sin embargo, regresó a Berlín, donde permaneció hasta 1892, fecha en que fue nombrado titular de la cátedra de Fisiología en Halle, como sucesor de Friedrich Leopold Goltz (1834-1902). Bernstein trabajó en Halle durante 46 años hasta su muerte el 6 de febrero de 1917.

Los intereses de Bernstein se extendían más allá de la fisiología y alcanzaban áreas de la física (particularmente electricidad), física molecular, termodinámica, fisicoquímica, matemáticas y astronomía. Sus clases y demostraciones experimentales eran preparadas cuidadosamente; y, además de seis clases principales a la semana y cuatro horas de laboratorio, dictaba conferencias especiales donde se discutían trabajos recientes. Escribió un excelente libro de texto de fisiología dedicado a Helmholtz y a Hermann, que influyó en varias generaciones de fisiólogos del músculo.

Se pueden distinguir dos fases en la carrera de Bernstein, cada una de ellas ejemplificada nítidamente con una monografía. La mayor parte de la primera fase está resumida en su libro de texto mencionado antes, mientras que los resultados de la segunda fase están recogidos en su *Elektrophysiologie* (1912). El primer periodo pertenece a la electrofisiología clásica, durante el cual desarrolló instrumentos muy delicados para la estimulación y el registro de nervios, que son ejemplos de la alta calidad del trabajo hecho en los talleres mecánicos alemanes de la segunda mitad del siglo XIX.

Bernstein determinó la velocidad de propagación de la corriente de acción o, en terminología actual, el potencial de acción del nervio, y obtuvo un valor que estaba de acuerdo con los resultados obtenidos por Helmholtz (29 m/seg). Para esta medición Bernstein conectó brevemente el galvanómetro en una región del nervio a diferentes tiempos después del estímulo. De esta manera obtuvo una serie de puntos en la gráfica de amplitud de corriente contra tiempo, los que unidos por una línea dieron información sobre la amplitud y el curso temporal de la variación negativa, o potencial de acción, incluyendo su latencia y la duración de las fases de ascenso y descenso.

Con esta técnica también fue posible determinar que cuando los dos electrodos del galvanómetro eran colocados sobre la región intacta de un nervio o músculo, durante la estimulación se registraba una deflexión bifásica. Y, por el contrario, si el electrodo más distante del punto de estimulación era colocado sobre el extremo cortado de la preparación, se observaba una deflexión monofásica debida a la corriente nerviosa superimpuesta sobre la negativa. Durante estos experimentos Bernstein observó que en algunas preparaciones la variación negativa era más grande que el potencial de lesión, una observación premonitoria del llamado "sobretiro" del potencial de acción, redescubierto en la década de los 30.

Ya que las deflexiones producidas en el galvanómetro por impulsos nerviosos aislados eran muy pequeñas para permitir su registro adecuado y la medición de su curso temporal, el aparato de Bernstein estimulaba el nervio en forma periódica, 5 a 10 veces por segundo. El contacto con el estímulo, y los contactos que periódicamente corto-circuitaban el galvanómetro, eran ajustables y estaban montados en forma recíproca. Bernstein llamó a este aparato un "reotomo" porque "cortaba" segmentos en el plano de la corriente, permitiendo la determinación de la curva real.

De esas investigaciones Bernstein obtuvo dos conclusiones:

a) Los cambios eléctricos se propagan con la misma velocidad que la onda de excitación. En otras palabras, la velocidad de conducción en el nervio, que Helmholtz midió estimulando el nervio en dos puntos diferentes y registrando los intervalos entre la estimulación y la contracción muscular, correspondía a la velocidad de propagación de la onda eléctrica. Además, Bernstein pudo medir, en 1882, el tiempo perdido en el órgano terminal nervioso (o retardo sináptico), al que dio un valor de 0.3 mseg.

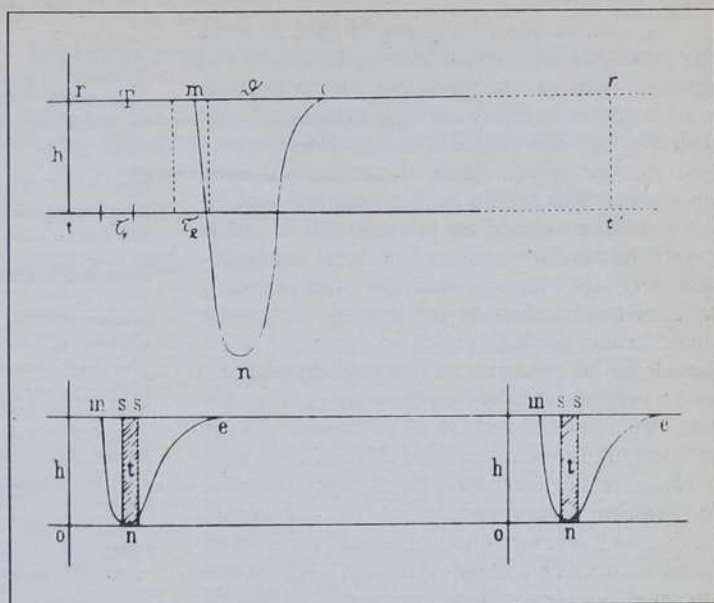


Figura 14. Arriba se muestra el sobretiro (*overshoot*) en la respuesta del nervio a un estímulo eléctrico. En la parte inferior se muestra que Bernstein no encontró el mismo sobretiro en la respuesta muscular. (Tomando de Bernstein, 1971).

b) Cada impulso nervioso individual tiene una forma de onda de cierta duración. Bernstein midió la onda eléctrica y encontró que era de 0.7 mseg de duración aunque, como él mismo dijo, las propiedades del galvanómetro balístico tienden a dar valores bajos. Posteriormente, Ludimar Hermann llamó "corriente de acción" a esta onda eléctrica.

En un trabajo de 1965 Grundfest enfatiza el hecho de que Bernstein había observado el sobretiro del potencial de acción nervioso en 1868, un hecho que fue confirmado por Hermann en 1881. En un diagrama de Bernstein incluido en su monografía de 1871, la amplitud de la corriente de acción es más del doble de la corriente de demarcación, o "corriente nerviosa". Escribe (1871, p. 28): "De hecho... la magnitud de la deflexión negativa puede ser mayor que la corriente nerviosa, y puede excederla muchas veces". Sin embargo, este sobretiro no aparece en su segundo libro, *Elektrobiologie*. La razón para esta omisión puede ser, como Grundfest sugiere, que no era explicada por su nueva teoría membranal de las corrientes bioeléctricas y que formulara en 1902.

Con el trabajo de Bernstein de 1871 se abrió una nueva era en la investigación biofísica del impulso nervioso, ya que reconoció que no se podía avanzar con las teorías y métodos existentes, y decidió usar las ideas nuevas que se habían desarrollado en los campos de la electroquímica, física molecular y termodinámica. La parte esencial de esta nueva concepción era la suposición de que la membrana nerviosa contiene una doble capa eléctrica de iones: una superficial de iones potasio y otra más interna formada por fosfatos. Ya que los iones potasio podían difundirse mientras que los fosfatos no, se generaba un potencial de membrana. La estimulación del nervio resultaba en la pérdida de la selectividad de la membrana, con la consecuente disminución del potencial. Esta sería la causa de la negatividad de la región excitada con respecto a la no-excitada, y "una consecuencia de esta teoría será que la deflexión negativa alcanzará un valor máximo que será dado por la magnitud del potencial de membrana, el cual no se invertirá durante la estimulación" (1912, p. 105). Como vemos, esta teoría no tenía la posibilidad del sobretiro y la observación original, correcta, fue eliminada. En esta monografía de 1912 Bernstein presentó la teoría de los procesos eléctricos en la membrana de una manera tan moderna, pues habló de los poros que actualmente conocemos como canales, que es reconocible aún en la segunda mitad del siglo XX. ❁

Bibliografía

Bernstein, J., *Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven und Muskelsystem* (Investigaciones sobre el proceso de estimulación en nervio y músculo). Winter, Heidelberg, 1871.

Bernstein, J., "Untersuchungen der Thermodynamik der bioelektrischen Ströme", *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* **92**: 521-562, 1902.

Bernstein, J., *Elektrophysiologie*. Brunswick, 1912.

Brazier, M.A.B., "The evolution of concepts relating to the electrical activity of the nervous system. 1600 to 1800", en: *The Anglo-American Symposium (1958). The History and Philosophy of Knowledge of the Brain and its functions*. Blackwell, Oxford, 1957.

Brazier, Mary A.B., *A history of neurophysiology in the 17th and 18th centuries. From concept to experiment*. Raven Press, Nueva York, 1984.

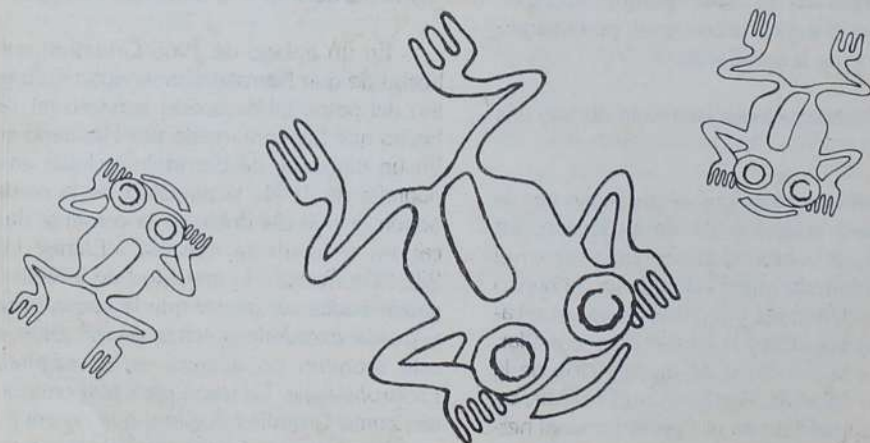
Brazier, Mary A.B., *A history of neurophysiology in the 19th century*. Raven Press, Nueva York, 1988.

Cameron, W.W., "Animal electricity before Galvani", *Annals Sci.* **2**: 84-99, 1937.

Fulton, J.F. and H. Cushing, "A bibliographical study of the Galvani and the Aldini writings on animal electricity", *Annals Sci.* **1**: 239, 1936.

Fulton, J.F. and L.C. Wilson, *Selected Readings in the History of Physiology*, 2nd. Ed. C.C. Thomas Publ., Springfield, 1966, 111.

Grundfest, H., "Electric fishes", *Sci. Amer.* **203**: 115, 1960.



Quiralidad: el punto de vista de los físicos

¿Existe en la naturaleza un mecanismo que favorezca, por ejemplo, la existencia de caracoles con una sola quiralidad?

**José Luis Lucio Martínez, Hilda J. Mercado
y Miguel Vargas**

Advertencia

Algunas de las ideas que analizaremos sólo serán presentadas brevemente y referiremos al lector a textos más detallados. Por ejemplo, el concepto de simetría no se trata con toda la amplitud que amerita, pues otros autores ya han escrito al respecto en esta revista¹; sin embargo, dada su estrecha relación con la quiralidad, hemos incluido el material mínimo que consideramos necesario para abordar este tema. Trabajaremos, pues, con los mismos ejemplos de quiralidad que se incluyen en esos artículos. El propósito principal del presente es analizar la manera como debemos entender este fenómeno y sus posibles explicaciones desde el punto de vista de los físicos.

Simetría y quiralidad

Formalmente decimos que "existe una simetría cuando un sistema queda invariante al aplicar una transformación"². Para saber si existe una simetría en un sistema dado debemos responder las siguientes tres preguntas (véase recuadro): 1) Qué transformación estamos considerando. 2) Sobre qué aplicamos dicha transformación. 3) Qué es lo que queda invariante al aplicarla.

Podemos aplicar la definición dada al presente artículo. La transformación que vamos a considerar es la translación espacial y/o temporal, es decir, vamos a considerar artículos escritos en otro lugar y/o en otro momento por otros autores, pero con tema similar al nuestro. La transformación vamos a aplicarla al texto. Lo que queda invariante son los ejemplos utilizados para explicar el concepto de simetría,



Ana Laura Ramírez Yrizar

El Dr. José Luis Lucio Martínez es profesor titular del Departamento de Física del Cinvestav. Obtuvo su doctorado en la Universidad de Lovaina, Bélgica. El Dr. Miguel Vargas es profesor adjunto del mismo departamento y obtuvo su doctorado en el Cinvestav. El campo de interés de ambos es la física teórica de altas energías. Hilda J. Mercado realiza su programa de licenciatura en física en la Universidad Autónoma de Guadalajara y desarrolló una estancia en el Cinvestav dentro del programa *El verano de la investigación científica*.

Simetrías. Un sistema queda invariante al aplicar una transformación

Sistema	Transformación	Invariante
círculo	rotaciones	forma
cargas eléctricas (Q)	$+Q \rightarrow -Q$	fuerza
Universo	$+Q \rightarrow -Q$	estructura global
átomos, moléculas	coordenada $r \rightarrow -r$	estructura espacial

así como las nociones de "proporción", "armonía", etc., que aparecen en todos esos textos.

Merece especial atención la llamada transformación de paridad o inversión espacial. Su efecto es cambiar las coordenadas (x,y,z) de un punto arbitrario por las coordenadas (-x,-y,-z). Si aplicamos esta transformación a todos y cada uno de los puntos que forman una figura dada, obtendremos en general una figura diferente, la cual corresponde a la imagen especular de la figura original. Decimos que un objeto es *quiral* cuando el objeto y su imagen especular *no* son idénticos. En este caso, para distinguir el objeto quiral y su imagen especular introducimos la asimetría izquierda-derecha de nuestro propio cuerpo a fin de convenir que el objeto tiene quiralidad *izquierda* o *derecha* y a la inversa para la imagen especular.

El que existan en la naturaleza objetos que son quirales no representa un problema conceptual. Si existieran igual número de objetos con cada una de las dos quiralidades posibles, esto estaría de acuerdo con nuestra intuición falsa de que la naturaleza no tiene ninguna razón para dar preferencia a alguna de las quiralidades. El problema es que esto no ocurre en la realidad y que en muchos de los objetos que existen predomina fuertemente una de las quiralidades. Tal es el caso de algunas especies de caracoles, en los cuales el giro helicoidal hacia la derecha es predominante sobre el giro helicoidal hacia la izquierda, presentándose este último caso solamente en especies mutantes. El fenómeno de quiralidad se exhibe también en el DNA, la macromolécula que contiene toda la información genética de los seres vivos, la cual muestra una preferencia en el giro hacia la derecha sobre el giro hacia la izquierda debido a la presencia de los D-azúcares.

¿Cómo es posible *entender* el predominio de una de las dos quiralidades en estos casos? Para tratar de dar una respuesta satisfactoria a esta pregunta es conveniente aclarar primero qué es lo que los físicos quieren decir con "entender un fenómeno".

Realización de la simetría

Decimos que *entendemos* un sistema físico cuando somos capaces de encontrar un conjunto de ecuaciones que nos permiten describir su evolución temporal. Así, por ejemplo, decimos que entendemos el sistema solar en el sentido que conocemos un sistema de ecuaciones que determinan la posición y velocidad de cualquier cuerpo de este sistema a un tiempo arbitrario. Esta aseveración resulta evidente al recordar el grado de exactitud que se ha alcanzado en la predicción de los eclipses solares o la visita en nuestro espacio cercano de un cometa. Por supuesto, esta no es la única forma de *entender* un fenómeno, ya que los mayas eran tan hábiles como nosotros en el arte de predecir eclipses y, aparentemente, no necesitaron para ello nuestra sofisticada maquinaria matemática. En este punto, excluyendo el *método maya*, es necesario considerar ecuaciones para entender los fenómenos de la naturaleza desde el punto de vista de los físicos. Una vez que contamos con tales ecuaciones, es relativamente fácil determinar las simetrías que posee el sistema descrito por estas ecuaciones. Así, la curva

$$y = \alpha x^4 + \beta x^2 + \gamma \quad (1)$$

posee la simetría de paridad. Es decir, podemos aplicar la transformación que cambia todo punto x de la curva al punto $-x$, y la curva que obtendremos después de haber realizado dicha transformación será la misma que la descrita por la ecuación (1), o sea, la forma de la curva (y la ecuación misma) queda invariante. Al igual que en este caso, las ecuaciones que determinan la evolución de los sistemas físicos poseen simetrías. El problema inverso en la física es también interesante: dado un conjunto de ecuaciones (algebraicas, diferenciales, etc.), ¿qué sistemas (soluciones) satisfacen dicho conjunto? Los matemáticos llaman a este punto de vista *resolver* el conjunto de ecua-

ciones, esto es, encontrar un conjunto de funciones (sistemas) que satisfacen dichas ecuaciones. La pregunta que surge en seguida es si las simetrías de las ecuaciones son las mismas que tienen las soluciones. La respuesta a esta interrogante no es obvia y conduce al concepto de realización de la simetría que a continuación examinamos.

Consideremos un sistema que consta de una sola partícula. Supongamos que se nos informa que la energía de la partícula depende de la distancia que se aleje del origen de coordenadas, y que está dada por la gráfica de la figura 1a. Consideremos ahora otro sistema análogo, con la diferencia que la energía está dada por la gráfica de la figura 1b. Nótese que los dos sistemas arriba descritos, a los cuales nos referiremos como sistema *a* y sistema *b*, respectivamente, tienen la característica común que su energía es invariante ante paridad, es decir, que la energía de la partícula es la misma si se realiza la transformación $x \rightarrow -x$.

El problema que nos planteamos ahora es determinar cuál será la posición de equilibrio que ocupará la partícula si su energía está sujeta a la variación indicada en cada una de estas figuras. Deseamos determinar si la simetría que poseen las gráficas de la energía (que es el equivalente a la ecuación de movimiento) va a reflejarse en la solución. Una observación básica de los sistemas físicos es que tienden a ocupar el estado de mínima energía. En el caso del sistema *a* sólo existe un punto con energía mínima (el origen) cuya posición $x=0$ es la que ocupará el sistema. Esta solución (posición) es invariante ante la transformación $x \rightarrow -x$; la solución (posición de equilibrio) presenta la mis-

ma simetría que la energía (que define la simetría de las ecuaciones de movimiento del sistema), en cuyo caso hablamos de simetría manifiesta. Por otra parte, en el caso del sistema *b* existen dos mínimos, el localizado en $x=x_0$ y el localizado en $x=-x_0$. Es claro que el sistema (la partícula) no puede ocupar ambas posiciones de equilibrio simultáneamente; así pues, tendrá que optar por una de ellas. Cuando esto ocurre, la simetría de paridad que tiene la gráfica de la energía deja de reflejarse en la solución debido a que la transformación $x \rightarrow -x$ intercambia los dos mínimos, lo cual implica que al aplicar dicha transformación el estado de nuestro sistema no es invariante. En este caso se dice que la simetría está espontáneamente rota. En términos generales, decimos que una simetría está espontáneamente rota cuando el sistema debe elegir un comportamiento determinado entre un conjunto de opciones que tiene las mismas probabilidades de ocurrir.

En el ejemplo *b* descrito antes, el sistema no puede distinguir entre ocupar el mínimo localizado en x_0 o el mínimo localizado en $-x_0$. En este sentido sigue existiendo la simetría de paridad; sin embargo, una vez que ocupe uno de los dos mínimos, la simetría deja de ser manifiesta.

Regresando a nuestro análisis sobre la quiralidad podemos concluir que pueden existir dos fuentes de la quiralidad observada en la naturaleza: i) Las fuerzas que intervienen en la formación de esos sistemas no poseen la simetría de paridad y por ello ésta tampoco existe en las de los objetos que observamos. ii) Las fuerzas poseen la simetría de paridad, sólo que está espontáneamente rota.

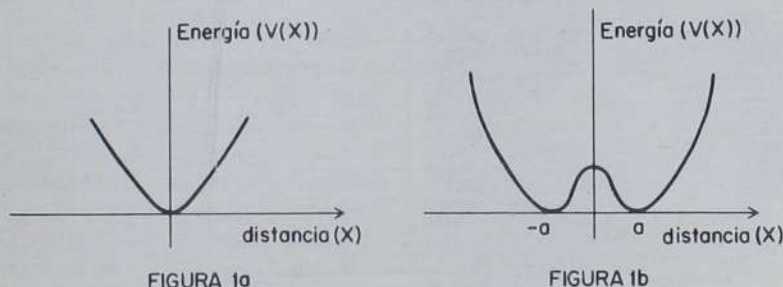


Figura 1.

Interacciones débiles y quiralidad

Existen cuatro tipos de *fuerzas* (interacciones) fundamentales en la naturaleza. Reciben el nombre de fuerzas gravitacionales, electromagnéticas, nucleares y débiles³. Todos los fenómenos que se observan en la naturaleza pueden explicarse en términos de esas cuatro fuerzas. Las tres primeras tienen la característica común de conservar la paridad, es decir, la expresión matemática que expresa que la fuerza es invariante ante la transformación $(x,y,z) \rightarrow (-x,-y,-z)$. Esto nos asegura que, a menos que exista una rotura espontánea de la paridad, los objetos que se formen debido a la acción de estas fuerzas tendrán también la simetría de paridad, o sea que serán idénticos a sus imágenes especulares: serán *aquirales* (simétricos).

Conviene mencionar que la mayor parte de los objetos que observamos (desde los átomos y moléculas hasta los seres vivos), se forman a instancias de las fuerzas electromagnéticas; o mejor dicho, en caso de que estas fuerzas no existieran los objetos que conocemos no se habrían formado.



Las otras fuerzas también se manifiestan en esos sistemas, pero sólo juegan el papel de una pequeña perturbación.

Dado que la última de las cuatro fuerzas, la débil, no comparte con las otras el hecho de ser invariante ante la transformación de paridad, cabe la posibilidad de que esta fuerza sea responsable de la quiralidad que se observa en la naturaleza. Antes de continuar con el análisis de la influencia de las fuerzas débiles en la quiralidad de los objetos, es necesario destacar algunas de sus características. Primero, como su nombre lo indica, la intensidad de estas fuerzas, comparada con las fuerzas electromagnéticas, por ejemplo, es sumamente pequeña. Más aún, esta fuerza es de muy corto alcance: sólo se manifiesta cuando los cuerpos microscópicos se encuentran prácticamente en contacto físico (separación entre partículas del orden de 10^{-13} cm). Estas dos características han hecho dudar a los especialistas que esta fuerza sea significativa a nivel molecular y, de hecho, por algún tiempo se descartó la posibilidad de que ofreciera una explicación al problema de la quiralidad.

Así pues, el problema de la quiralidad reside en encontrar el mecanismo responsable de que en la naturaleza esté favorecida una de las quiralidades. En la siguiente sección haremos un breve recuento de las posibles fuentes para explicar este fenómeno. En esencia, nos restringiremos a la primera de las posibilidades antes mencionadas; trataremos de encontrar la solución a partir del hecho de que existen interacciones que no son invariantes ante transformaciones de paridad.

Posibles orígenes de la quiralidad

Sabemos que las interacciones electromagnéticas son responsables de la formación de los átomos y moléculas. Ya mencionamos que estas interacciones son invariantes ante transformaciones de paridad, lo cual significa que tales fuerzas no favorecen a ninguna de las quiralidades; o, en términos de energía, la energía electromagnética será la misma para configuraciones que únicamente difieren en quiralidad. A fin de tener una idea de los órdenes de magnitud de las energías típicas involucradas en los procesos electromagnéticos, vale la pena mencionar que son de unos cuantos electrón

volts (la energía necesaria para excitar los electrones atómicos).

Consideremos ahora el efecto de la fuerza débil. Puesto que esta interacción no es invariante ante paridad, esperamos que pueda inducir una distinción entre las dos quiralidades. Es posible calcular, para aminoácidos⁴, la diferencia de energía inducida por esta fuerza, entre la configuración levógira y la dextrógira. Se encuentra que es del orden de 3×10^{-19} electrón volts (referida en adelante como ΔE).

En principio esta es una muy buena noticia, pues de acuerdo a las leyes de la física, los sistemas tienden a ocupar los estados de mínima energía. Según esto, aunque ΔE sea muy pequeña, el hecho que sea diferente de cero implica que en la naturaleza se va a realizar sólo aquella configuración que tenga menor energía. Sin embargo, esa no es toda la historia, ya que las energías asociadas a fluctuaciones térmicas son varios órdenes de magnitud mayores que ΔE , lo que hace insignificante diferencias de energías del orden de magnitud de ΔE .

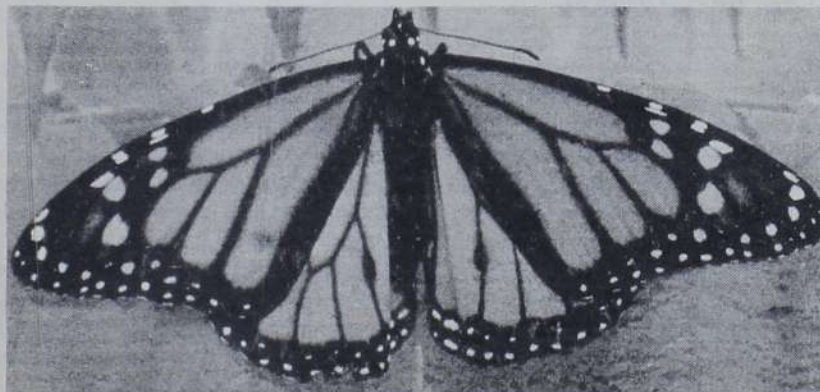
Por otra parte, hace poco se consideró un posible efecto de las fuerzas débiles sobre la estructura de los aminoácidos⁵. Se propuso que la fuerza débil podría producir correlaciones entre los aminoácidos de tal manera que induciría fenómenos cuánticos colectivos que explicarían la preponderancia de una quiralidad. De manera alternativa diríamos que se produce una rotura espontánea de la simetría, pero ahora en un medio y a tempe-

ratura finita (energía) mucho mayor que ΔE , lo cual daría lugar a la quiralidad. Estimaciones de la temperatura crítica que es necesaria para que ocurran tales fenómenos colectivos conducen a temperaturas que son mucho menores que la temperatura de la superficie terrestre, lo cual sugiere que la quiralidad de los aminoácidos puede ser un fenómeno que se originó fuera de la Tierra (¿panpermia dirigida?⁶). El origen de la quiralidad permanece entonces como un problema abierto.

Como acabamos de describir, para entender la quiralidad debemos conocer cuál es el mecanismo que genera la asimetría observada en la naturaleza. Es claro que, en general, no es fácil evaluar la viabilidad de los diferentes modelos debido a la complejidad de los sistemas que se consideran y el poco conocimiento que se tiene de algunos de los mecanismos propuestos. Sin embargo, precisamente por ello, es este un campo fértil para la investigación y cooperación interdisciplinarias. ☼

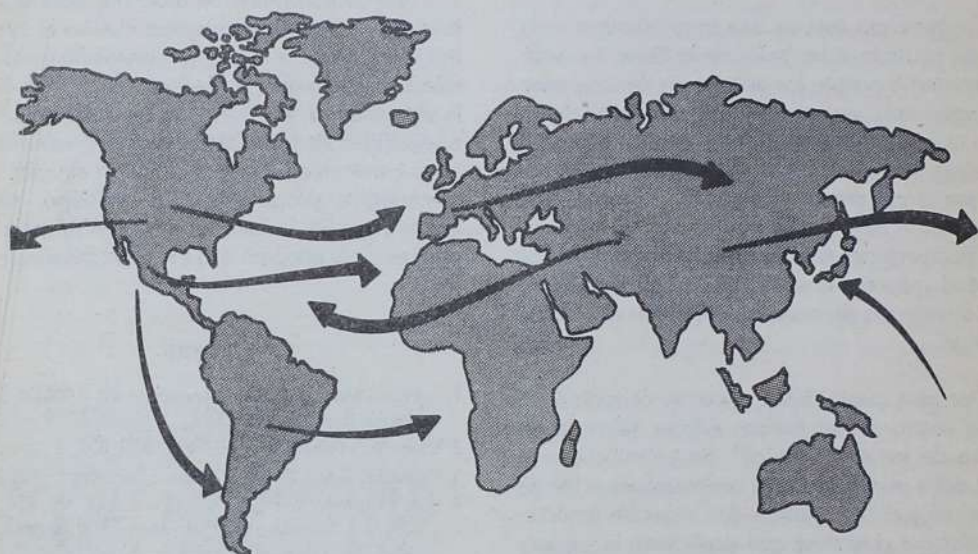
Notas

1. J. Félix Valdez, *Avance y Perspectiva* **10** (1991) 3; R. Contreras, *ibid.* **10** (1991) 273.
2. Véase G. 't Hooft, *Sci. Am.* 242 (1980) 104.
3. Véase J.L. Lucio M. y A. Zepeda, *Elementos* 3 (1985).
4. R.A. Hegstrom and D.K. Kondepudi, *Sci. Am.* 262 (1990) 98; V.A. Avetisov, V.I. Goldanskii y V.V. Kuzmin, "Handedness, origin of life and evolution", *Physics Today*, julio 1991, p. 33.
5. Abdus Salam, preprint IC/90/277 Trieste (1990).
6. Octavio Paz, *Avance y Perspectiva* **10** (1991) 257.



Perspectivas

El Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN frente al reto de un posible Tratado Trilateral de Libre Comercio



Rosario Morales Álvarez

Feliciano Sánchez Sinencio

El Tratado de Libre Comercio (TLC) somete toda la estructura de nuestro país a un tremendo esfuerzo. El establecer relaciones de carácter comercial con nuestro vecino del norte, el país de mayor desarrollo industrial del planeta en estos momen-

tos, nos ubica de lleno en el marco de los países desarrollados e industrializados con todas las implicaciones y consecuencias que ello pueda significar. Competir con éxito en este ámbito será una tarea extremadamente difícil y no exenta de problemas. Por tal razón es imprescindible hacer un análisis objetivo de la situación actual del mundo, en particular la etapa de desarrollo industrial, comercial y administrativo por la que atraviesan los países industrializados; estimar comparativamente nuestro grado de desarrollo respecto a ellos y tomar las medidas consecuentes para, aprovechando la ac-

El Dr. Feliciano Sánchez Sinencio es director del CINVESTAV. Es egresado de la ESIME-IPN y obtuvo su doctorado en la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Su campo de investigación es la física experimental del estado sólido. Este artículo fue presentado en el foro Historia y Porvenir de México ante el TLC, organizado por el IPN y la CANACINTRA.

tual circunstancia histórica que representa el TLC, dar un salto cualitativo en nuestra sociedad e impulsar el desarrollo de nuestras fuerzas productivas, transformando nuestra mentalidad y manera de ser a fin de lograr el mayor beneficio para nuestro pueblo.

Panorama actual

En el mundo actual la ciencia se desarrolla a un ritmo acelerado y la tecnología sufre una expansión sin precedentes en la historia de la humanidad. Los conocimientos científicos adquiridos por el hombre se convierten, en corto tiempo, en aplicaciones tecnológicas que modifican los modos y procesos de producción de tal manera que producen profundos y complejos impactos sobre la economía, la sociedad y la política. Nadie niega las trascendentales repercusiones que esta transformación en la ciencia y la técnica, conocida como Revolución Científico-Técnica, tiene y tendrá en la sociedad en la transición al siglo XXI.

El impulso que esta Revolución Científico-Técnica ha dado a los procesos industriales y a las fuerzas productivas, principalmente de los países desarrollados, es tan poderoso que ha modificado la división internacional del trabajo, originando nuevos polos de desarrollo económico y alterando las relaciones políticas y comerciales entre los países. Este es un proceso de carácter global en lo que respecta a sus consecuencias, que de una u otra manera está afectando a todas las naciones del planeta, y cuyos alcances no son totalmente predecibles, pero que seguramente vendrán a definir la sociedad del siglo por venir.

Por ello nuestro país, México, no puede sustraerse a este proceso; de hecho, muchos de sus problemas más graves están vinculados a los efectos de este fenómeno. Por ello debe tratar de incorporarse de manera consciente, tomando medidas no sólo para modernizar su planta productiva, sino también proveerla de su sustento principal, que en esta era es la investigación científica y el desarrollo tecnológico, actividades que la nutren y dan orientación en un marco comercial, donde la eficiencia de los procesos, aunada a la creatividad en la innovación, aseguran la competitividad, desarrollo y existencia misma de las empresas.

Es en este contexto que el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional contempla al Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. Debe ser un acuerdo que nos permita, mediante los procesos del libre comercio, dar el impulso modernizador que requiere nuestra planta industrial para ponerse a la altura de las más avanzadas del mundo, llevar a una etapa de desarrollo más alto a nuestra fuerzas productivas, y en consecuencia, a toda nuestra economía, que contribuya a elevar el nivel de vida de los mexicanos.

Pero este proceso solamente podrá darse si, en forma paralela al desarrollo de nuestra planta industrial, de su modernización, se desarrollan también nuestras capacidades científicas y tecnológicas, a fin de que sean nuestras propias ideas y conocimientos los que nutran el avance de las fuerzas productivas. De otra forma, una modernización industrial concebida como una mera renovación de los bienes de capital de las industrias o como una renovación de las tecnologías, aunque se trate de las más avanzadas, sin tomar en cuenta que el meollo de la Revolución Científico-Técnica es la investigación tecnológica y científica aplicada, esto es, la generación de conocimientos en relación a los procesos industriales, sería una modernización industrial efímera y transitoria. Por el contrario, un proceso donde no exista transferencia de conocimiento y tecnología sumergiría al país en una etapa de mayor dependencia.

Adquirir tecnología de punta para modernizar nuestra planta industrial es un paso del que no podemos escapar, pero para mantener de manera permanente la modernización tenemos que adoptar medidas para que internamente adquiramos la capacidad de seleccionar la más conveniente a nuestros intereses; adaptarla a nuestras necesidades y crear tecnología propia que haga autosostenible este proceso de modernización en las áreas que más convengan al interés nacional.

Tecnología, instrumento clave para lograr la competitividad

Todas las etapas de la evolución de la sociedad se han caracterizado por el esfuerzo de la razón con

objeto de aumentar su dominio sobre la naturaleza y forjar los instrumentos necesarios para ese propósito. Desde el descubrimiento del fuego hasta nuestros días, la inteligencia, trabajando al principio con meras hipótesis y después con los resultados de la observación y el estudio del medio ambiente, ha ido descubriendo las leyes objetivas que lo rigen, las relativas al mundo en que vive y las que gobiernan al sistema cósmico del cual forma parte.

El dominio que el hombre ha adquirido sobre la naturaleza, por medio del conocimiento de la misma, se manifiesta claramente en nuestros días con el considerable aumento del nivel de vida de amplios sectores de la población, principalmente en Europa, algunos países de Norteamérica y del Lejano Oriente, el incremento constante de la longevidad, la eliminación total de muchas enfermedades epidémicas y la disminución de la tasa de mortalidad infantil, además del aumento constante en el consumo de energéticos y la amplia diversificación del uso de ellos en lo que va del presente siglo. Estos son sólo algunos ejemplos del formidable progreso alcanzado por el hombre, con el auxilio de la ciencia y la técnica.

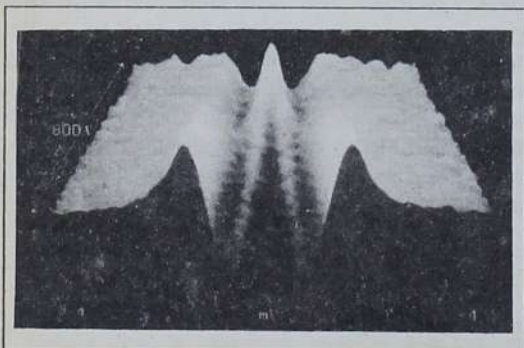
Pero el impacto más importante que el conocimiento científico y tecnológico ha tenido en la sociedad ha sido en la esfera de los procesos industriales y de servicios. Todavía a mediados del siglo pasado podía decirse que la producción industrial no tenía nada en deuda con la investigación científica y ésta se realizaba en un ámbito

ajeno a la actividad económica. Pero a partir de 1880, el desarrollo industrial y tecnológico en Europa y EUA empezó a ser alimentado con aportaciones que provenían del campo de la ciencia. Este proceso se hizo cada vez más evidente en dichos países durante la primera mitad del presente siglo, con el desarrollo de las comunicaciones, la producción en serie impulsada por la adopción de normas y patrones, es decir la metrología; y se consolida en los últimos cuarenta años, con inventos como el transistor, el láser y la computación, desarrollos que promueven otras áreas de investigación como la biología molecular, la inmunología, la biotecnología, que, a su vez, contribuyen al desarrollo de nuevas tecnologías y éstas promueven la creación de novedosas ramas industriales y de servicios en el campo de la medicina.

Ello tiene como base un hecho de enorme trascendencia: que tanto en EUA como en Europa la investigación para llevar las ideas científicas al ámbito de la producción se ha convertido en una actividad institucionalizada, sistematizada y planificada mediante la creación de los primeros laboratorios industriales de muchas empresas que ahora son verdaderos líderes, no sólo de la producción industrial, sino también de la innovación tecnológica y de la generación de nuevos conocimientos científicos.

Las grandes industrias de los países avanzados se dan cuenta de la necesidad de impulsar la investigación científica y el desarrollo tecnológico, como una actividad de carácter estratégica para la competencia en el mercado internacional. Permítanme recordar algunos datos en relación a la inversión que países como EUA, Japón, Alemania, Francia y el Reino Unido hacen en el área de ciencia y tecnología.

Esta inversión en investigación científica y desarrollo tecnológico que realizan los países capitalistas es mayoritariamente de participación privada. Por ello está encaminada a fortalecer estratégicamente a las industrias mismas y, en consecuencia, a los países que representan en un esquema de economía de alta competitividad, donde el conocimiento es perseguido y alcanzado como un bien de alto valor económico. En ese aspecto, el de la competencia, los países industrializados, a



Tunelamiento en semiconductores (*Physics Today*, junio 1990).

través de sus más grandes empresas, luchan por dominar los mercados internacionales, usando como herramienta el desarrollo rápido de nuevos productos de mejor calidad, la innovación mediante la investigación que se hace, principalmente, en sus laboratorios industriales. Por esta razón podemos afirmar que, aunque en el aspecto comercial y de servicios se tiende a la interdependencia y a una especie de globalización, en el campo del desarrollo tecnológico ocurre todo lo contrario. Las empresas procuran ocultar sus logros tecnológicos más avanzados y compiten, en el mercado mundial, sin intercambiar sus resultados de avanzada. Compran e intercambian tecnología sólo cuando ven una oportunidad de mejorarla y obtener un mayor beneficio a partir de conocimientos que ellos dominan.

Estos laboratorios industriales han sido creados por empresas, pero también por los gobiernos de estos países, para que en ellos un porcentaje mayoritario de las comunidades científicas desarrollen actividades de investigación básica y aplicada. Estos centros de investigación y desarrollo cuentan con programas coherentes, financiados oportunamente tanto por el gobierno como por las industrias privadas, y un porcentaje mayoritario de los proyectos de investigación tiene que ver con propósitos industriales y por ende económicos.

La administración y desarrollo de estas actividades de investigación, conectadas al proceso económico y de producción que se realizan en estos laboratorios industriales, siguen un patrón que empieza a ser objeto de estudio entre los investigadores sociales. Algunos de los principios básicos que gobiernan este proceso administrativo de la investigación aplicada comienzan a entenderse como la *regla de los dieces*, que establece que de 10,000 ideas que un grupo de científicos puede generar, solamente 1,000 se transformarán en reportes técnicos escritos asociados a una invención, los cuales, administrados adecuadamente, podrán traducirse en 100 solicitudes en la oficina de patentes. De éstas, la mayoría podrá ser otorgada, pero sólo 10 serán comercialmente significativas y una será lo suficientemente importante como para contribuir a modificar en forma trascendente la producción económica. Esta es la cinemática de la productividad industrial, en su íntima relación con

la investigación científica y tecnológica que se lleva a cabo en los laboratorios industriales de las grandes empresas capitalistas. Las causas y motivos de por qué sucede así aún no se conocen, pero es sin duda un reto para los investigadores sociales, economistas y administradores el lograr un cabal entendimiento de esta dinámica que ha transformado al mundo en los últimos cuarenta años.

Alrededor de los laboratorios industriales de estas grandes empresas, como madres generosas, se han creado industrias pequeñas pero de una alta tecnología, que nacen como consecuencia de los desarrollos tecnológicos generados en ella y florecen en una relación simbiótica con ellas.

Debido a que la competencia entre los países es intensa y extensa, las inversiones que hacen en el rubro de investigación muchas veces es insuficiente ante el ímpetu y la coordinación financiera, administrativa y de investigación de otros países. Tal es el caso actual de Japón y Alemania frente a los EUA. En efecto, a fines de la Segunda Guerra Mundial y durante un par de décadas, Estados Unidos fue el líder económico, industrial y tecnológico del mundo occidental. Pero desde hace unos 20 años ese liderazgo se ha visto amenazado por el rápido desarrollo y recuperación económica de los países de la Comunidad Económica Europea y Japón, de tal manera que de diez áreas de desarrollo tecnológico más avanzado, en la actualidad los EUA sólo van a la cabeza (no sin una fuerte competencia) en cuatro: *inteligencia artificial, biotecnología, supercomputadoras y dispositivos y diagnósticos médicos*. En las otras áreas, donde se puede mencionar a los *nuevos materiales, dispositivos semiconductores avanzados, imagen digital, manufactura flexible por computadoras, optoelectrónica y superconductores*, son países distintos los que llevan la vanguardia del desarrollo científico-tecnológico industrial.

Este es un breve bosquejo del panorama de productividad, tecnología, competitividad y generación de conocimientos relacionados al proceso productivo, al que nos veremos enfrentados una vez que se firme el Tratado de Libre Comercio. Como consecuencia de esta apreciación, el TLC impondrá a toda la estructura social de nuestra nación nuevas y profundas responsabilidades, y en particular a las

instituciones educativas del área tecnológica en su relación con la industria nacional.

Dos aspectos contribuyen a que, en la etapa actual, debamos los mexicanos tener especial cuidado en considerar al TLC como una fuente de posibles problemas y peligros para nuestro país: el primero consiste en nuestra débil estructura académico-tecnológica, que nunca ha sido sólidamente alimentada desde su origen, en la época de la expropiación petrolera, y que sistemáticamente ha estado retrasada respecto a los avances de los países más desarrollados. Varios factores influyen para conformar esta situación: la insuficiencia en los apoyos a los sectores educativos y de investigación tecnológica y la falta de vinculación de este sector con el industrial, pero sobre todo la falta de una política nacionalista que pudiera haber orientado y dado sentido al proceso de desarrollo industrial a partir de modelos de autosuficiencia tecnológica. Para poder aprovechar positivamente las ventajas del TLC, es necesario que ahora, a pasos acelerados, recuperemos el tiempo perdido y demos a nuestras instituciones de educación superior, especialmente a las del ramo tecnológico, un impulso en cuanto a recursos materiales para que estén en condiciones de cumplir con sus responsabilidades y generar los profesionistas que el proceso demanda. Por otra parte, el segundo aspecto consiste en

los inmensos problemas que los mismos Estados Unidos tienen en el presente, originados en su enorme deuda interna y en la creciente decadencia de su industria ante el ímpetu y la competitividad de otros países, que como el Japón y Alemania, son ahora líderes en varias ramas de tecnologías de punta. La tendencia, como hemos visto, parece indicar que en los próximos años esta pérdida en el liderazgo tecnológico que los EUA tenían desde fines de la Segunda Guerra Mundial se profundizará. Esta situación debe hacernos reflexionar sobre la conveniencia de diversificar nuestro comercio y relaciones tecnológicas con otras naciones, especialmente con Latinoamérica, y no cerrar caminos de desarrollo viables para nuestro país.

Para poder contribuir efectivamente a todo ello, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN considera que será necesario tomar medidas en los planos educativo y de investigación, reformando y adecuando las condiciones académicas actuales en que se llevan a cabo estas actividades, pero también modificando las condiciones materiales y administrativas que coadyuvan a su realización. Por otro lado, también será necesario tomar medidas en los planos de la vinculación de los sectores industrial, educativo y de investigación a fin de presentar un frente nacional al conjunto de los nuevos retos que nos esperan en relación a nuestra participación en el TLC. Para tal efecto, señores de la CANACINTRA, pongo a su consideración el siguiente conjunto de acciones como condicionantes previas necesarias para que nuestro país esté en posibilidades de obtener ventajas:

1. Se deberá establecer una especie de pacto nacional entre todos los sectores de la sociedad mexicana con la participación fundamental del sector educativo y de investigación científico-tecnológica, el sector industrial, el gubernamental y el financiero, cuyo objetivo sea el desarrollo acelerado de nuestras fuerzas productivas, teniendo como meta impulsarlas para llevarlas al mismo plano de competitividad de las de los países desarrollados, mediante la renovación, ampliación y modernización de la planta industrial nacional, haciendo énfasis en la mediana y pequeña industria, que es la más frágil desde el punto de vista tecnológico, pero que al mismo tiempo es la que más empleos



genera en nuestro país. Sin este pacto que aglutine esfuerzos de sectores clave de la nación no podríamos proponernos modernizar nuestro país con posibilidades de éxito.

2. Con el objeto de avanzar rápidamente en el proceso de cerrar la brecha entre las fuerzas productivas de nuestro país con los EUA y adecuar nuestros modos y esquemas de producción a las situaciones de alta competitividad, productividad y creatividad de la industria en los países más desarrollados, será necesaria la creación de centros de adopción, asimilación, adaptación, reproducción e innovación de todas aquellas tecnologías que permitan lograr más rápidamente el mencionado objetivo y que convengan a los intereses nacionales. Estos centros, ligados a la industria nacional por un lado y al sector académico por el otro, jugarían el papel que juegan los laboratorios industriales de las grandes compañías transnacionales, el papel de vanguardia en la producción industrial.

3. El establecimiento de un programa educativo nacional, coordinado por las instituciones de enseñanza técnica, para la actualización y entrenamiento de los obreros, trabajadores y empleados de la planta industrial y de servicios del país, que contribuya a mejorar la calidad y eficiencia de su labor en la industria, poniéndolos a la altura de la preparación que tienen los trabajadores de otros países. Generar, en forma paralela, un programa para la educación y entrenamiento de los obreros calificados y de alta especialización que las condiciones del TLC requiera.

4. Implementar, dentro del TLC, esquemas claros y precisos para una efectiva transferencia de conocimientos y tecnología, que nos permita disminuir la brecha de desarrollo tecnológico en áreas como la microelectrónica, la metrología, la biotecnología, la farmacéutica, la generación de energía por diversos medios y otras áreas que sean de interés nacional.

5. Promover la creación de instituciones o centros de consultoría técnica, públicos y privados, que sirvan de apoyo técnico-científico para que la industria nacional (principalmente la pequeña y mediana) pueda participar del proceso de modernización y tecnificación del mundo moderno y te-

ner posibilidades de afrontar los retos del TLC con ciertas probabilidades de éxito.

6. Impulsar el establecimiento de nuevas carreras que tomen en cuenta el desarrollo actual de las fuerzas productivas en los países más avanzados, y la existencia de nuevos procedimientos y tecnologías en la industria, con el objeto de que sean los profesionistas mexicanos los encargados de adoptar, actualizar, modificar y desarrollar nuevas tecnologías que pudiesen estar disponibles como consecuencia del TLC.

7. La creación y fortalecimiento de una Red Latinoamericana de Centros Educativos y de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, que por un lado contribuyan a encontrar soluciones económicamente viables y competitivas a nuestros problemas comunes, y por el otro, contribuyan al financiamiento colectivo de grandes proyectos industriales y de desarrollo tecnológico para elevar rápidamente nuestra competitividad, en ese aspecto, frente a los países ricos.

8. Incrementar sustancialmente el presupuesto federal dedicado a la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

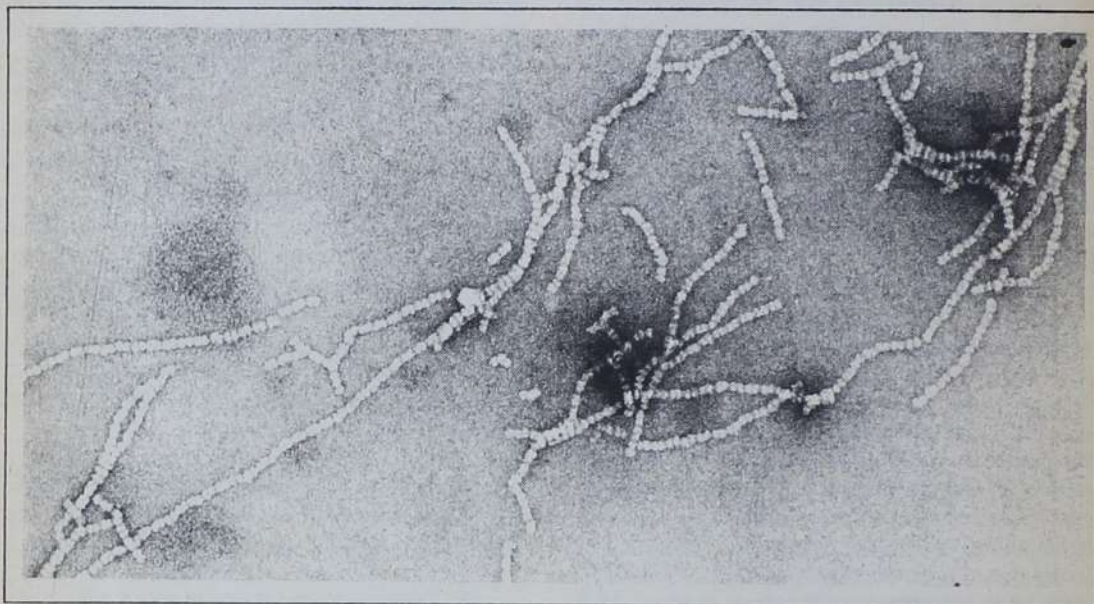
9. Desarrollar un programa racional que amplíe de manera notable los recursos materiales y el presupuesto dedicado a la educación superior y de posgrado en las áreas de ciencia y tecnología.

10. Contribuir a desarrollar dentro de nuestro pueblo, mediante la educación, una mentalidad innovadora y de calidad que mejore la prestación de los servicios de transporte, salud, comunicaciones, energía y otros, para poder competir dentro y fuera de nuestro país en estos renglones, sin que esto signifique el olvido de las necesidades de las grandes mayorías y el deseo común de contribuir a elevar el nivel de vida de la población en general. Posiciones que no son contradictorias sino, más bien, complementarias.

Para terminar quiero manifestar la plena disposición del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional para contribuir, en la medida de sus posibilidades, al éxito de un programa de esta naturaleza.

Perspectivas de la investigación en biología experimental y biomedicina (Parte II)

La secreción de hormonas: nuevos enfoques, nuevas fronteras



Agregados de canales recombinantes de uniones comunicantes, *J. Cell Biology*, **115**, 1, 1991.

Gabriel Cota

Las hormonas contribuyen a coordinar la actividad de los diversos tejidos y órganos de un organismo multicelular. Son liberadas a la circulación sanguínea por células secretoras llamadas endocrinas, las cuales se agrupan en las glándulas del mismo nombre, y ejecutan el papel de mensajeros químicos en la extensa comunicación que mantienen esas células con otras distantes.

La investigación del funcionamiento de las células endocrinas se encuentra actualmente en franca expansión. Abundan las innovaciones metodológicas y proliferan los nuevos conceptos. Mi intención aquí es ilustrar algunos aspectos de este provocativo escenario de la endocrinología contemporánea.

La secreción en células individuales

La mayoría de las glándulas endocrinas no son órganos simples, pues por lo general coexisten en ellas distintas clases de células secretoras. Un buen ejem-

El Dr. Gabriel Cota es profesor titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV. Estudió medicina en la UNAM y obtuvo su doctorado en fisiología y biofísica en el CINVESTAV. Su campo de investigación es la biología de canales iónicos en células endocrinas, particularmente adenohipofisarias.

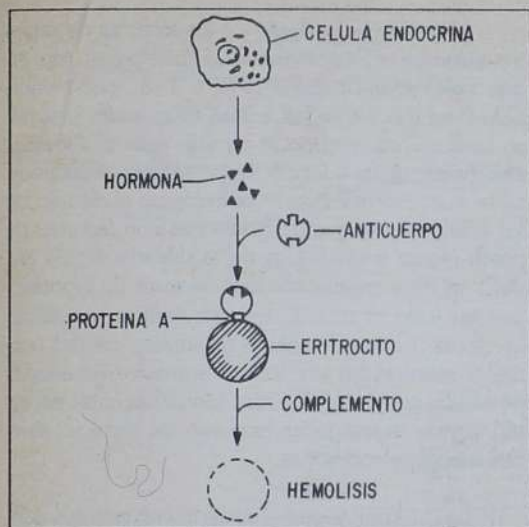


Figura 1. Detección de la secreción de hormonas con el RHPA. En esta técnica inmunológica se emplean glóbulos rojos (eritrocitos) como indicadores de secreción, los cuales rodean a las células endocrinas y forman una monocapa celular. En presencia de anticuerpos contra la hormona cuya secreción se desea detectar, las células que la liberan inducen la lisis de los eritrocitos vecinos. La hemólisis es mediada por el complemento, un sistema de proteínas del suero que se activa al formarse complejos hormona-anticuerpo en la superficie de las células. La proteína A es de origen bacteriano y sirve de puente de unión entre los complejos hormona-anticuerpo y la membrana de los eritrocitos. (Tomado de Smith *et al.*, 1986).

plo es la hipófisis o pituitaria, una glándula situada en la base del cerebro. En la región hipofisiaria proveniente del ectodermo bucal (adenohipófisis), conviven varios millones de células endocrinas que en conjunto sintetizan y liberan un mínimo de ocho hormonas peptídicas. La secreción de cada una de las hormonas es regulada por múltiples señales químicas. Algunas de estas señales son producidas en la misma glándula, otras se originan en el sistema nervioso, sobre todo en el hipotálamo, y otras más proceden de las células blanco sobre las que inciden las hormonas adenohipofisiarias.

La identificación de las distintas clases de células endocrinas, el conocimiento de sus capacidades secretoras intrínsecas, así como el estudio de las acciones ejercidas por factores extracelulares que regulan su secreción, se ha beneficiado enormemente de las investigaciones llevadas a cabo *in vitro*, y en especial de las efectuadas en células en cultivo. En

estos modelos de experimentación se puede medir la actividad secretora global de poblaciones enteras de células, y además es posible detectar y cuantificar la secreción en células individuales. A este último enfoque me refiero enseguida.

Entre las técnicas que permiten analizar la secreción al nivel de células individuales destaca por su versatilidad y simplicidad el análisis de inmunoplasacas (RHPA, de sus siglas en inglés), introducido en el campo de la endocrinología por Neill y Frawley en 1983. En el RHPA cada célula endocrina activa puede dar lugar a la formación de zonas de hemólisis o placas que son fácilmente observables al microscopio (Fig. 1). Puesto que el área de la placa alrededor de una cierta célula indica la intensidad de su actividad secretora, con ella se puede estimar la cantidad de hormona liberada por célula, al mismo tiempo que se cuenta el número de células secretoras.

El RHPA brinda la posibilidad de analizar de manera directa la heterogeneidad funcional de las células encargadas de la secreción de una misma hormona. Por ejemplo, ahora está bien claro que las células pancreáticas secretoras de insulina (células beta) no constituyen una población homogénea, y lo mismo puede decirse de las células secretoras de prolactina en la adenohipófisis (lactotropos). De hecho, los datos recientes obtenidos en cultivos celulares derivados de ratas adultas indican la existencia de tres subtipos de células beta, con diversos grados de sensibilidad a la acción estimulante de la glucosa, y dos subtipos de lactotropos que difieren en actividad secretora basal.

Se ha concluido asimismo que en varias especies de mamíferos hay células adenohipofisiarias que secretan tanto prolactina como hormona del crecimiento (lactosomatotropos), además de las que producen exclusivamente una de esas dos hormonas. El tamaño de las poblaciones de células mono y bihormonales es muy variable, pues cambia notoriamente durante el desarrollo y en diferentes estados fisiológicos del animal adulto. Aún más, Frawley y sus colegas han notado que el cambio en el número de células que secretan sólo prolactina se asocia a un cambio paralelo pero opuesto en la cantidad de células que secretan puramente hormona del crecimiento, por lo que proponen que estos dos tipos ce-

lulares son interconvertibles. En esta llamativa hipótesis los lactosomatotopos constituyen un estadio intermedio en la conversión de una célula a otra.

La información que está brindando el estudio de la secreción en células individuales plantea nuevos retos a los investigadores que se dedican a dilucidar las funciones de las distintas clases de células secretoras de hormonas, y renueva el interés en el estudio de la diferenciación celular y su regulación dentro de las mismas glándulas endocrinas.

Los canales iónicos y el calcio intracelular

Al igual que las células nerviosas, las células endocrinas son eléctricamente excitables. Muchas de éstas son además capaces de generar potenciales de acción en respuesta a factores regulatorios que estimulan su secreción y algunas los generan incluso de modo espontáneo.

Las neuronas utilizan el potencial de membrana para controlar la liberación de transmisores químicos en los sitios de contacto sináptico con otras células. De manera similar, la conducta eléctrica de las células endocrinas es un aspecto importante en el control de la secreción de hormonas. Un incremento en la concentración de iones de calcio en el citosol (la fracción soluble del citoplasma) estimula la liberación de hormonas o neurotransmisores, y tanto en las neuronas como en las células endocrinas el nivel intracelular de Ca^{2+} depende de la actividad eléctrica de la célula.

Douglas y otros investigadores adelantaron estos importantes conceptos entre 1968 y 1980, inspirados en los trabajos clásicos de Katz y Miledi acerca del mecanismo de neurosecreción. El trabajo desarrollado por los pioneros de la electrofisiología celular endocrina, además de rudimentario fue heroico, pues en esos tiempos se recurría al uso de microelectrodos intracelulares o de electrodos de succión para explorar la actividad eléctrica de las células. Los microelectrodos intracelulares se aplican con dificultad a las células endocrinas debido al pequeño tamaño de éstas (10-15 micrómetros de diámetro), y la información suministrada por los electrodos de succión es demasiado limitada.

El perfeccionamiento de las técnicas de registro eléctrico en microáreas de membrana (en inglés *patch clamp*) entre 1976 y 1981 por Neher, Sakmann y sus colegas, allanó dificultades y superó limitaciones, y abrió el camino para el abordaje electrofisiológico a fondo de las células endocrinas. Unos cuantos investigadores iniciaron el estudio de las células secretoras de hormonas con técnicas de *patch clamp* a mediados de la década de los 80, pero en estos momentos hay decenas de laboratorios en todo el mundo que se dedican a realizar esa tarea. Líneas de células tumorales, células normales mantenidas en cultivo primario, rebanadas de tejido glandular, y hasta glándulas intactas están siendo investigadas hoy con las técnicas electrofisiológicas modernas.

Las preguntas que el *patch clamp* está ayudando a contestar se concentran en las propiedades de los canales iónicos y otras proteínas que regulan el tráfico de iones inorgánicos a través de las membra-

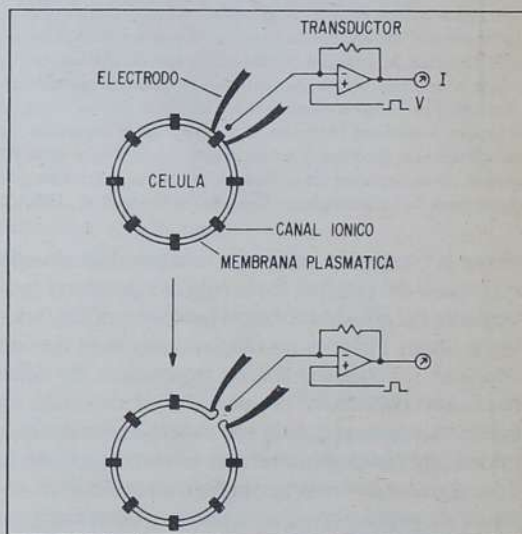


Figura 2. Estudio de los canales iónicos mediante el *patch clamp*. El electrodo de vidrio que se utiliza en estas técnicas electrofisiológicas logra establecer un sello casi perfecto con la membrana plasmática, de tal suerte que aísla un pequeño "parche" de la misma (arriba). El circuito electrónico conectado al electrodo fija el potencial de membrana (V) y mide la corriente (I) a través de los canales en el parche. Para registrar la actividad de los canales del resto de la membrana y modificar la composición del medio intracelular, el parche es perforado químicamente o destruido por completo aplicando un pulso breve de succión dentro del electrodo (abajo).

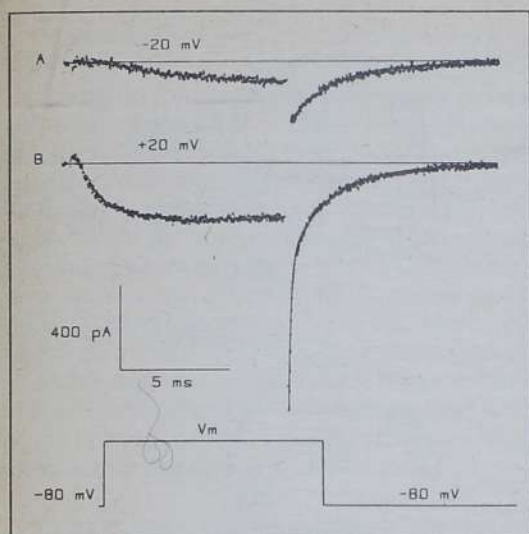


Figura 3. Dos tipos de canales de calcio en una célula endocrina. Los trazos en A y B son registros de corrientes iónicas transportadas por canales de calcio en la membrana plasmática de una célula secretora de prolactina, identificada mediante RHPA en un cultivo adenohipofisiario. Los canales están cerrados a -80 mV y se abren al despolarizar la membrana. A $+20$ mV se abren canales de dos tipos, llamados de bajo y alto umbral de activación, mientras que a -20 mV sólo se abren los de bajo umbral. Los canales de alto umbral se cierran más rápidamente que los de bajo umbral al repolarizar la membrana. La técnica de registro fue la segunda de las dos variantes de *patch clamp* que se muestran en la Fig. 2. (Tomado de Cota et al., 1990.)

nas celulares (Fig. 2). Las proteínas de la membrana dan lugar a la actividad eléctrica de las células y determinan la concentración intracelular de Ca^{2+} . Por tanto, los investigadores quieren caracterizar los diferentes canales iónicos que son expresados por una misma célula endocrina, así como definir la contribución de cada uno de esos canales al control de la conducta eléctrica y secretora. Es también motivo de gran interés la identificación de los canales iónicos que son modulables por reguladores fisiológicos de la secreción y el conocimiento de los mecanismos celulares de tal modulación.

Los canales que permiten el paso de Ca^{2+} a través de las membranas han merecido atención considerable debido a la influencia directa que ejercen sobre la concentración citosólica de Ca^{2+} . Algunos de esos canales están presentes en la membrana plasmática y otros se localizan en las

membranas de compartimentos citoplásmicos como el retículo endoplásmico.

En la membrana plasmática de una célula endocrina se encuentran generalmente dos tipos de canales de calcio —denominados de bajo umbral y de alto umbral de activación— cuya probabilidad de apertura depende del voltaje transmembranal. Los dos tipos de canales se activan en respuesta a la despolarización (es decir, se abren al hacerse menos negativo el potencial de membrana), pero exhiben distintas sensibilidades al voltaje. En el experimento de la Fig. 3, por ejemplo, el potencial de membrana en que se abrió un número detectable de canales de bajo y de alto umbral fue -50 y -15 mV, respectivamente.

Hay muchas otras diferencias entre los canales de calcio de bajo y alto umbral, incluyendo la facilidad con la que permiten el ingreso de Ca^{2+} a la célula, la susceptibilidad a los fármacos que modifican sus actividades y el grado en el que dependen del metabolismo celular. Uno esperaría en consecuencia que desempeñen papeles diferentes en la economía de las células y, en efecto, es probable que los canales de alto umbral sean más eficientes que los de bajo umbral en la inducción de la liberación de hormonas.

Por otra parte, la dinámica del Ca^{2+} en el interior de las células endocrinas está siendo analizada mediante la utilización de fura-2 (un colorante fluorescente) y otros indicadores ópticos sintéticos. Por ejemplo, el uso de las técnicas ópticas ha revelado recientemente que la concentración de Ca^{2+} en el citosol de un lactotrofo es muy baja (100 a 150 nanomolar) en condiciones de reposo, pero aumenta hasta 600 nanomolar cuando la célula genera un potencial de acción. El aumento en la concentración de Ca^{2+} es transitorio y depende del ingreso de Ca^{2+} desde del medio extracelular a través de los canales de calcio de alto umbral que se abren durante el potencial de acción.

La concentración citosólica de Ca^{2+} en los lactotrofos puede también aumentar incluso sin el disparo de potenciales de acción, como sucede bajo la influencia de factores extracelulares que estimulan la producción del mensajero químico intracelular llamado trifosfato de inositol (IP_3). Así,

cuando se exponen esas células a la hormona liberadora de tirotropina (uno de los factores hipotalámicos que participan en la regulación fisiológica de la secreción de prolactina), la concentración de Ca^{2+} llega a subir hasta el nivel micromolar, debido a la liberación de Ca^{2+} de fuentes intracelulares que son activadas por el IP_3 .

Con las técnicas ópticas es igualmente factible examinar la operación de los mecanismos homeostáticos que retoman el Ca^{2+} citosólico a su nivel de reposo.

Conviene agregar que la relación entre la actividad secretora de una cierta célula y el funcionamiento de los canales iónicos en su membrana plasmática puede ser investigada aplicando las técnicas electrofisiológicas en células previamente identificadas mediante RHPA. Los resultados indican que los canales iónicos son expresados de manera diferencial no sólo entre células que producen hormonas distintas, sino también entre subtipos celulares que secretan la misma hormona. Tales observaciones ofrecen una clara invitación al estudio de los mecanismos que regulan la expresión de los canales iónicos en las células endocrinas.

El mecanismo de exocitosis

Las células endocrinas con frecuencia almacenan la hormona que sintetizan dentro de gránulos o vesículas citoplásmicas delimitadas por membranas. En esos casos la hormona es liberada por la célula una vez que la membrana de la vesícula se fusiona con la membrana plasmática. Este modo de secreción se llama exocitosis y depende del Ca^{2+} citosólico (Fig. 4).

Un acontecimiento temprano durante la exocitosis es la formación del poro de fusión, una estrecha vía que conecta el interior de la vesícula con el espacio extracelular. Las propiedades del poro de fusión y algunas otras características del mecanismo de exocitosis han comenzado a ser reveladas con el elegante método electrofisiológico descrito a continuación.

La capacitancia eléctrica de una membrana celular es directamente proporcional a su área e indica la cantidad de cargas eléctricas que puede

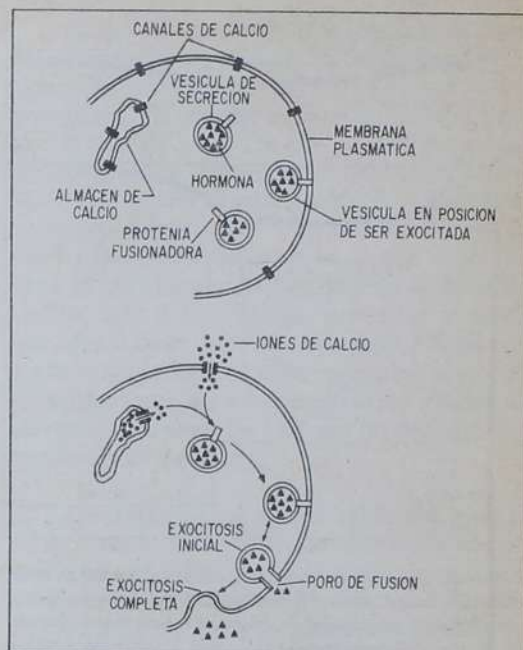


Figura 4. Liberación de hormonas por exocitosis y su control. Si los canales de calcio de una célula endocrina se encuentran cerrados, la concentración citosólica de Ca^{2+} es insuficiente para inducir la fusión de las vesículas citoplásmicas que contienen la hormona con la membrana plasmática (arriba). Ocurre exocitosis (fusión membranar seguida de liberación de la hormona al medio extracelular) cuando sube el nivel de Ca^{2+} citosólico, al abrirse canales de calcio en la membrana plasmática, en la membrana de almacenes intracelulares de Ca^{2+} , o en ambas membranas (abajo). La formación del poro de fusión, una etapa temprana y reversible en la exocitosis, parece depender de la inserción en la membrana plasmática de una proteína fusionadora presente en las vesículas, y que al ser activada por Ca^{2+} constituye un canal iónico.

almacenar en su superficie en presencia de un cierto voltaje; cada centímetro cuadrado de membrana plasmática presenta típicamente un microfaradio de capacitancia. Durante la exocitosis la fusión de las vesículas añade membrana a la superficie de la célula y esta expansión membranar es detectada con gran resolución temporal mediante la medición de los correspondientes cambios de capacitancia de la membrana plasmática. El procedimiento fue diseñado por Neher y sus colegas en 1982, quienes lo utilizaron primero en células cromafines de las glándulas suprarrenales, y luego en células cebadas para estudiar la secreción de epinefrina e histamina, respectivamente.

Existe una manifestación electrofisiológica adicional de la exocitosis: debido a que el potencial de membrana de la vesícula es diferente al potencial de la membrana plasmática, al iniciarse la exocitosis se genera una breve corriente eléctrica que fluye a través del poro de fusión recién formado. Del análisis de esa corriente transitoria y del cambio de capacitancia resultante por la incorporación de nueva membrana, los investigadores han concluido que el poro se abre abruptamente (su formación toma unos 100 microsegundos), tiene un diámetro inicial de 2 nanómetros y luego se dilata en forma gradual en los milisegundos subsecuentes. Las etapas tempranas de la exocitosis son reversibles, pues el poro puede cerrarse por completo aun después de haber alcanzado un diámetro de 14 nanómetros.

La naturaleza química del poro de fusión es todavía un misterio. No obstante, por las características señaladas, probablemente se origina en una proteína oligomérica que sirve de canal iónico y es sensible al Ca^{2+} , tal como ha sido propuesto recientemente por Almers y sus colaboradores. El canal atravesaría ambas membranas, la de la vesícula de secreción y la plasmática, con una disposición análoga a la de los canales iónicos que dan lugar a las uniones comunicantes entre células vecinas, y estaría abierto o cerrado dependiendo de la concentración de Ca^{2+} en el citosol. Al abrirse el canal, sus subunidades tenderían a separarse, exponiendo rutas hidrofóbicas para la difusión de moléculas de lípidos desde la membranas que comunican. La incorporación de lípidos en las paredes del canal conduciría a la dilatación progresiva del poro.

Las nuevas ideas y observaciones acerca del mecanismo de la exocitosis han fomentado la caracterización bioquímica de las proteínas de membrana presentes en las vesículas de secreción. Se espera, por lo tanto, que de un momento a otro se descubra la primera proteína fusionadora de membranas en una célula eucariótica.

Aplicadas al mismo tiempo que las técnicas ópticas ya mencionadas, las medidas de capacitancia están resultando de gran utilidad en el análisis de la influencia del Ca^{2+} intracelular sobre la actividad excitotónica. Se ha podido así demostrar que en los melanotrofos (células adenohipofisiarias que secretan endorfinas y otros péptidos) el aumento en la

concentración citosólica de Ca^{2+} por arriba de 500 nM es suficiente para inducir exocitosis y que la tasa de secreción aumenta con la cuarta o quinta potencia de esa concentración. Además, el influjo de Ca^{2+} ocasionado por la activación de canales iónicos en la membrana plasmática puede aumentar hasta mil veces la actividad secretora de la célula.

Finalmente, los investigadores también están echando mano de las medidas de capacitancia para estudiar el control de la exocitosis por diversos polipéptidos citoplásmicos, como proteínas G, proteínas cinasas, y otras proteínas que funcionan como intermediarias entre las vesículas de secreción y el citoesqueleto.

Conclusiones

En el transcurso de la última década los fisiólogos han conseguido logros muy importantes en el estudio de la secreción de hormonas. El avance del conocimiento en este campo se acompaña, felizmente, del planteamiento de nuevas y atractivas interrogantes, algunas de las cuales he referido brevemente en el presente artículo. Espero que estas posibilidades cautiven la atención de los investigadores jóvenes interesados en la biología experimental. ☼

Bibliografía

- Almers, W., "Exocytosis", *Annu. Rev. Physiol.* **52**: 607-624, 1990.
- Cota, G., Hiriart, M., Horta, J. y Torres-Escalante, J.L., "Calcium channels and basal prolactin secretion in single male rat lactotrotes", *Am. J. Physiol.* **259**: C949-C959, 1990.
- Frawley, L.S., "Mammotrophs: current status and possible functions", *Trends Endocrinol. Metab.* **1**: 31-34, 1989.
- Frawley, L.S., Boockfor, F.R. y Hoefler, J.P., "Focusing on hormone release", *Nature* **321**: 793-794, 1986.
- Hiriart, M. y Ramírez-Mederos, M.C., "Functional subpopulations of individual pancreatic β -cells in culture", *Endocrinology* **128**: 3193-3198, 1991.
- Oxford, G.S. y Armstrong, C.M., *Secretion and Its Control*, The Rockefeller University Press, Nueva York, 1989.
- Ozawa, S. y Sand, O., "Electrophysiology of excitable endocrine cells", *Physiol. Rev.* **66**: 887-952, 1986.
- Smith, P.F., Luque, E.H. y Neill, J.D., "Detection and measurement of secretion from individual neuroendocrine cells using a reverse hemolytic plaque assay", *Methods Enzymol.* **124**: 443-465, 1986.
- Thomas, P., Suprenant, A. y Almers, W., "Cytosolic Ca^{2+} , exocytosis, and endocytosis in single melanotrophs of the rat pituitary", *Neuron* **5**: 7723-733, 1990.

Perspectivas de la terapéutica



Enrique Hong

Todos los hombres en algún momento de sus vidas padecen sensaciones de malestar indicativas de enfermedad. Aun sin conocimientos importantes de patología, el hombre ha sido capaz de identificar los signos y síntomas que caracterizan a algunas de las enfermedades, y ha sentido la necesidad de emplear remedios para curarse. Primero recurrió en forma empírica al uso de las diversas sustancias provenientes de fuentes naturales (minerales, plantas o animales). Así, las culturas antiguas las emplearon como medicamentos y la observación a través de los años logró que la lista de dichas sustancias se fuese depurando poco a

poco, hasta ir dejando en uso aquellas que parecían más efectivas.

El Prontosil

La época moderna de investigación y desarrollo de la terapéutica empieza con el desarrollo del Prontosil por Dogmak, que ocurrió de la siguiente forma. Las investigaciones realizadas en el I.G. Farbenindustrie resultaron en una patente alemana otorgada a Klarer y Mietzsch, que protegería al Prontosil y otros derivados de colorantes azo conteniendo un grupo sulfonamido. Dogmak, quien era el director de investigación del I.G., recordó que los colorantes sintéticos azo habían sido estudiados por su acción contra el estreptococo, lo que lo impulsó a probar los compuestos nuevos con

El Dr. Enrique Hong es profesor titular y jefe del Departamento de Farmacología y Toxicología del Cinvestav. Es médico de la UNAM y doctor en ciencias (Farmacología) del Cinvestav. Su campo de investigación es la farmacología cardiovascular.



Fragmento del mural "El pueblo en demanda de salud" de Diego Rivera en el Hospital de la Raza (1953).

Klarer y Mietzsch. Observaron rápidamente que los ratones infectados con estreptococos y otras bacterias eran protegidos por el Prontosil. El crédito por el hallazgo del valor quimioterápico del Prontosil se le dio a Dogmak, quien obtuvo el premio Nobel en Medicina en 1938.

Desde entonces hasta nuestros días, la terapéutica ha avanzado significativamente debido al progreso notable en muchas disciplinas, tanto básicas como clínicas. La comunidad médica ha sido testigo y usuario de la introducción a la terapéutica de los siguientes grupos de sustancias durante el último siglo.

Vacunas

Uno de los grupos de fármacos indiscutiblemente más útiles en la terapéutica actual lo constituyen las vacunas. Desde la introducción de la vacuna antivariolosa, hemos visto aparecer en la terapéutica un gran número de ellas con resultados espec-

taculares. Así, la prevención de las enfermedades infecciosas que frecuentemente aparecen en la infancia (tétanos, difteria, tosferina, poliomielitis, sarampión, rubeola) se lleva a cabo con gran efectividad. Sin embargo, sus resultados ya no dependen tanto de las vacunas, sino de una campaña efectiva de vacunación. También se cuenta con vacunas más específicas como la que se desarrolló en contra de la hepatitis B y se siguen tratando de elaborar vacunas en contra de otras enfermedades. No sería remoto que en poco tiempo se cuente con vacunas para prevenir la amibiasis y la cisticercosis.

Agentes quimioterápicos

Al avance de la quimioterapia ha correspondido un aumento de la esperanza de vida de los humanos. La introducción de los primeros agentes quimioterápicos y antibióticos representó un cambio crucial en el pronóstico de los pacientes con enfermedades infecciosas. La introducción de las sulfonamidas, la penicilina, la estreptomina, las tetraciclinas, el cloranfenicol, los aminoglucósidos, y posteriormente una serie de derivados semisintéticos de la penicilina ha sido sumamente importante para el pronóstico de los pacientes con enfermedades infecciosas. Este es uno de los casos de la medicina en que con gran frecuencia se consigue realizar un tratamiento en realidad curativo. Aun cuando se han descubierto otros agentes quimioterápicos como la mezcla de sulfametoxazol con trimetoprim, algunos agentes antimicóticos como la anfotericina B, el miconazol, el itraconazol, y algunos sustitutos de las penicilinas, como las cefalosporinas de cuarta generación (que pueden administrarse por vía oral), es seguro que en el futuro veremos nuevos agentes quimioterápicos útiles en contra de microorganismos que aún no podemos controlar adecuadamente, como es el caso de los virus.

Hormonas

La introducción de tratamientos hormonales para controlar algunas de las enfermedades endocrinas ha logrado mejorías notables en pacientes destinados de otra manera a una vida incierta y corta. El descubrimiento de que la diabetes mellitus es debi-

da a la falta de una hormona normalmente secreta por las células pancreáticas, cuya administración podía curar los síntomas y signos causados por la enfermedad, permitió el control adecuado de un gran número de pacientes. En forma similar, el control de los pacientes hipotiroideos con triyodotironina, el control de una gran variedad de enfermedades (alergias, artritis, asma bronquial, insuficiencia suprarrenal, glomerulonefritis, lupus eritematoso sistémico, etc.) con glucocorticoides similares a los que son normalmente producidos en la corteza suprarrenal, han permitido que los pacientes puedan llevar una mejor calidad de vida y un aumento de su esperanza de vida. La mayoría de los glucocorticoides que se prescriben en la actualidad son sintéticos. Sin embargo, en algunos casos como el de la insulina, se sigue utilizando en cantidades importantes una proteína heteróloga, la insulina aislada del páncreas porcino. La presencia de algunos efectos colaterales por intolerancia ha impulsado a tratar de conseguir una insulina idéntica a la que secreta el humano, a través de ingeniería genética. Es posible que en el futuro la mayor parte de las hormonas necesarias en la terapéutica puedan producirse en una forma similar.

Medicamentos antipsicóticos

Otro ejemplo en el que la terapéutica ha modificado totalmente el pronóstico y el futuro de los pacientes es la psiquiatría. Los medicamentos antipsicóticos como la clorpromazina y el haloperidol permitieron quitar las rejas de los cuartos de los hospitales psiquiátricos y en muchas ocasiones permitieron también el control ambulatorio del paciente psicótico. Aun en el caso de algunos pacientes agitados, su control se lleva a cabo ahora con mucha mayor rapidez y eficiencia. Por otra parte, el advenimiento de los antidepresores, tanto los tricíclicos como la imipramina, o los inhibidores de la monoaminoxidasa como el deprenil, ha mejorado notablemente el pronóstico de la depresión endógena y disminuido considerablemente la incidencia de suicidios provocados por dicha depresión. El empleo de ansiolíticos capaces de quitar las pequeñas tensiones y de permitir un sueño reparador ha sido sumamente valioso para un porcentaje alto de la población. En algunos países como el Japón, los ansiolíticos constituyen el grupo de sustancias

que se prescriben en mayor cantidad. Uno de los problemas asociados a dichos fármacos es la producción de sedación y la posibilidad de inducir dependencia física. Queda mucho por investigar respecto a la relación que guarda la conducta humana con los cambios fisiopatológicos en el sistema nervioso central. Por lo tanto, la terapéutica en esta área seguramente crecerá en paralelo con el avance de los conocimientos fisiológicos y neuroquímicos del sistema nervioso central.

Medicamentos cardiovasculares

Los avances en la terapéutica cardiovascular indican que el tratamiento de algunas enfermedades como la hipertensión arterial mejora sustancialmente la esperanza de vida de los hipertensos, los cuales sin tratamiento adecuado suelen vivir aproximadamente 17 años menos que los normotensos. Para entender mejor la magnitud del problema hay que recordar que el porcentaje de pacientes hipertensos varía entre 10 y 17% de la población. Estos datos sugieren que en México hay más de ocho millones de personas que sufren



de hipertensión arterial, quienes en caso de no ser tratadas adecuadamente implicarían una pérdida de por lo menos 136 millones de años-vida. Por fortuna en la actualidad se cuenta con varios agentes antihipertensivos bastante seguros y eficaces, con los que se puede controlar a la mayoría de los pacientes hipertensos. En el caso de los pacientes que sufren de infarto del miocardio (por lo general producido por una oclusión de las arterias coronarias), el tratamiento a base de enzimas trombolíticas aplicadas inmediatamente después de haber sufrido el episodio del infarto permite una recirculación adecuada de la sangre al miocardio y por lo tanto disminuye la magnitud de la lesión cardíaca.

La utilización de maniobras quirúrgicas como la distensión de las arterias coronarias con un balón, o la destrucción del trombo con diversos artefactos colocados en catéteres que se introducen a las coronarias sin abrir el tórax, ha permitido salvar muchas vidas a un costo mucho más bajo que el de una cirugía extracorpórea para hacer un puente arterial entre la coronaria ocluida y otra arteria (llamado *bypass*). Por otra parte, el empleo de los agentes antiarrítmicos ha permitido evitar muchas de las muertes que pueden ocurrir después de un infarto agudo del miocardio y ha disminuido apreciablemente la ocurrencia de muertes súbitas. La introducción reciente de varios agentes hipocolesterolemiantes a la terapéutica ha generado muchas esperanzas en cuanto a la posibilidad de poder controlar la aterosclerosis y por lo tanto aumentar la esperanza de vida del ser humano. Sin embargo, es necesario tener un poco de cautela, pues si bien es cierto que dichas sustancias reducen el colesterol y algunas también reducen los triglicéridos, aún no está bien fundamentado que aumenten la vida de los pacientes que poseen aterosclerosis, o de los que son candidatos propicios a tal enfermedad. Es indiscutible que en esta área hay mucho por investigar tanto desde el punto de vista fisiopatológico como farmacológico y epidemiológico.

Analgésicos

La administración de analgésicos no produce curación de las enfermedades. No obstante, el alivio del dolor, en especial cuando es intenso, tiene la mayor trascendencia. Uno de los fármacos más an-

tiguos de este grupo, el ácido acetilsalicílico o aspirina se utiliza en gran escala en la terapéutica actual. Sus efectos farmacológicos son analgesia, efecto antiinflamatorio no esteroideo e inhibición de la agregación plaquetaria. La aspirina ha resultado ser muy efectiva y segura como para que su uso actual esté bastante difundido después de 100 años de haber sido introducida en la terapéutica. Aunque inicialmente su principal uso terapéutico era para calmar el dolor, más tarde se usó en las enfermedades que involucran estados inflamatorios importantes. Su uso actual se debe a su capacidad de inhibir la ciclooxigenasa, una enzima indispensable para la síntesis de prostaglandinas y del tromboxano A₂. Por otra parte, para el alivio del dolor intenso no existe en la actualidad sustituto alguno de analgésicos opiáceos como la morfina. Si bien su administración crónica produce dependencia física (farmacodependencia), hay pocos casos que se hayan debido a su uso médico; a fin de que se produzca la farmacodependencia, parece ser que es importante que haya autoadministración. Otro de los logros importantes en esta área lo constituye el descubrimiento de los analgésicos antiinflamatorios, grupo del cual forma parte la aspirina, aunque es probablemente la menos usada en el tratamiento de los diversos cuadros de artritis e inflamaciones traumáticas, ya que ha sido sustituida por otras sustancias más potentes como



Fragmento del mural "El pueblo en demanda de salud" de Diego Rivera en el Hospital de la Raza (1953).

la indometacina, o que producen menos efectos colaterales, como el naproxén o el ácido flufenámico.

Perspectivas

Desde luego el cuadro anterior es incompleto; ya que sólo se han descrito brevemente aquellos grupos de sustancias que han constituido un verdadero progreso en la medicina y que han cambiado el pronóstico y futuro de los pacientes. Para poder predecir hacia dónde se va a orientar la farmacología y, por lo tanto, saber cuáles podrían ser los logros que tendremos en el próximo siglo se podría revisar cuáles parecen ser las investigaciones más innovadoras y especular un poco.

Una de las posibilidades más viables para optimizar la terapéutica es la de recurrir a nuevas formulaciones farmacéuticas que permitan mantener niveles plasmáticos estables por encima de los mínimos suficientes con el fin de producir un efecto terapéutico, sin producir picos de concentraciones altas que son los que frecuentemente causan los efectos colaterales. De hecho, esto ya se está llevando a cabo. Por ejemplo, la formulación inicial de la nifedipina (un antagonista de la entrada de calcio a las células que tiene diversos usos cardio-

vasculares: antihipertensivo y antianginoso) consistía en una cápsula que contenía a la nifedipina en solución. Esta formulación resultó efectiva, pero tenía que ser administrada varias veces en el día y con frecuencia producía dolor de cabeza. Después se formuló una tableta que liberaba lentamente la nifedipina y que garantizaba una concentración plasmática durante 12 horas. Recientemente, se fabricó una preparación a base de nifedipina unida a polímeros que logra una liberación lenta, suficiente para mantener niveles plasmáticos adecuados durante 24 horas. Las dos últimas formulaciones han resultado ser más efectivas que la primera y la presentación de cefaleas prácticamente ha desaparecido. En el caso de enfermedades crónicas que necesiten de la administración continua durante un tiempo muy prolongado, se podría pensar en formulaciones en las que la liberación del principio activo se realice sin variaciones (lo que se conoce como cinética de orden cero) y pudiera durar varios meses. Este tipo de formulación se ha llevado a cabo con preparados hormonales para producir un efecto anticonceptivo; sin embargo, si se tuvieran formulaciones farmacéuticas bastante seguras, habría un gran número de pacientes que se podrían beneficiar con este tipo de sistemas.

Otra posibilidad importante para optimizar el efecto farmacológico o disminuir la toxicidad de los medicamentos es el estudio cuantitativo de la relación entre la estructura química y la actividad biológica. Mediante el uso de ecuaciones que toman en cuenta las características físico-químicas de las sustancias y las correlacionan con su potencia para producir un efecto farmacológico determinado se puede llegar a diseñar una molécula que sea superior a las conocidas. Un argumento a favor de este tipo de actividad es que en muchas ocasiones el primer representante de un grupo de fármacos que tienen el mismo mecanismo de acción no resulta ser finalmente el mejor. En algunas ocasiones se descubren otros más efectivos, o de mayor duración, o que están desprovistos de algunos de los efectos colaterales del primero. Así, el propranolol, un bloqueador usado en el tratamiento de la hipertensión arterial y en la cardiopatía isquémica miocárdica, ha sido desplazado por otros antagonistas adrenérgicos que son más selectivos para los receptores β_1 como el metoprolol. Otro ejemplo similar lo constituye la cimetidina, que fué el primer

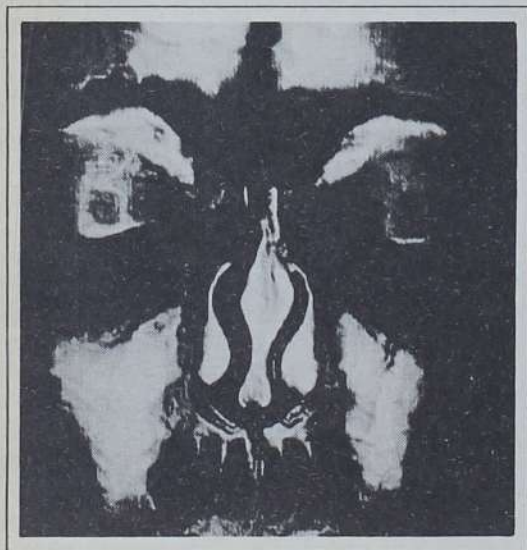


Imagen de la RMN.

antagonista H_1 capaz de inhibir en forma efectiva la secreción gástrica y por lo tanto permitir que las úlceras pépticas se curaran adecuadamente. Este descubrimiento fue suficiente para que a John Black se le otorgara el Premio Nobel; sin embargo, en la actualidad la cimetidina ha sido desplazada por la ranitidina, otro antagonista H_1 que tiene una duración de efecto mayor y que ha resultado ser más efectiva que el primer fármaco. Este enfoque se ha usado poco en la investigación y desarrollo de nuevos fármacos, pero no hay duda de que es uno de los caminos alternativos que se usarán en el futuro.

El ideal terapéutico proclama la generación de fármacos que sean efectivos y que no posean toxicidad ni produzcan efectos colaterales importantes. Esto ha sido difícil de alcanzar debido a que no existe un fármaco realmente selectivo. Todas las sustancias empleadas en la terapéutica tienen un efecto predominante o principal, pero también producen otros efectos, que son considerados como tóxicos o colaterales. Por lo tanto, una forma de acercarse al ideal es producir fármacos más selectivos. Una forma de conseguir que los fármacos actuales se acerquen a dicho ideal es tratar que se concentren más en el sitio en donde queremos que produzcan su efecto farmacológico, pero que no existan concentraciones altas en ningún otro sitio. Con este fin se han desarrollado partículas llamadas liposomas, con la idea de que sus características fisicoquímicas permitan llegar en mayor proporción al sitio deseado. Dichos liposomas servirían de transportadores a los fármacos.

La posibilidad de que todos los fármacos hormonales sean idénticos a las hormonas humanas que se quieren sustituir, en lugar de usar hormonas extraídas de animales, sería factible si se sigue el ejemplo de utilizar ingeniería genética y se consigue obtener mutantes de bacterias capaces de producir las hormonas proteínicas deseadas.

En vista de que recientemente se ha encontrado que los mamíferos sintetizan una gran cantidad de péptidos con importante actividad biológica (encefalinas, endorfinas, factor natriurético auricular, péptido vasointestinal, endotelina, factores de crecimiento, etc.), es posible que en el futuro se pueda averiguar con relativa facilidad cuál es

la secuencia de los aminoácidos de los péptidos y puedan ser producidos posteriormente en cantidades suficientes como para poder pensar en su uso terapéutico. Las "morfinas endógenas" pueden tener un uso adecuado en aquellas condiciones que necesiten en forma crónica de un analgésico opiáceo, ya que a pesar de que nuestro organismo elabora constantemente encefalinas y endorfinas, este proceso no parece producir dependencia física, a diferencia de lo que ocurre con los opiáceos exógenos como la morfina o la heroína.

Una disciplina que podría influir de manera importante a la farmacología del futuro es la biología molecular, ya que en la actualidad se tiende a identificar cuáles son las partes celulares responsables de algunas enfermedades. Por lo tanto, en el futuro se podrán construir las porciones celulares incorrectas en forma correcta e introducir las a las células para que puedan funcionar dentro de la normalidad. Esta tecnología tendría un uso importante para el tratamiento de enfermedades como la diabetes mellitus, en donde se ha identificado un defecto del receptor a insulina, el cual pudiera eventualmente llegar a ser sustituido por receptores libres del defecto.

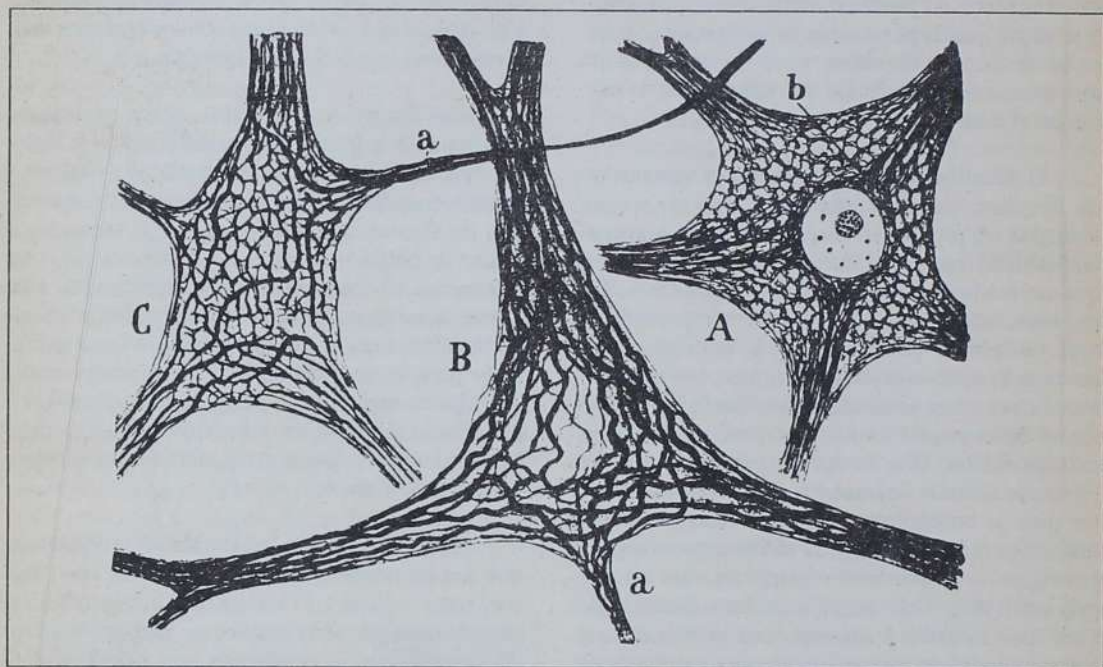
En algunos casos en donde el problema es que los fármacos utilizados son sumamente tóxicos, como ocurre con los agentes antineoplásicos, una posibilidad sería combinar dichos fármacos con anticuerpos monoclonales que reconozcan alguna porción de la célula neoplásica que sea distinta de las células normales y por lo tanto sean capaces de llevar el antineoplásico exclusivamente a las células tumorales.

Podemos contemplar al futuro y pensar que el tipo de medicamentos que se usarán en el próximo siglo con toda seguridad serán más efectivos y más seguros que los que hoy están en uso. Es posible que la farmacología cambie radicalmente, pero la necesidad de tener un modelo experimental para poder probar las diversas hipótesis no podrá sustituirse, como tampoco podrá evitarse el empleo de animales de laboratorio para observar los efectos farmacológicos y toxicológicos de los medicamentos, ni tampoco habrá sustituto para realizar los estudios de farmacología clínica cada vez que se intente introducir un nuevo medicamento a la terapéutica.



El futuro de las neurociencias

Como hay sistemas nerviosos de diferente complejidad, entender el sistema nervioso significa entenderlos a todos, incluso el más complejo, esto es, el humano, en el cual están representados todos los demás.



Neuronas de la médula según Cajal.

Julio Muñoz

Para hablar sobre el futuro de las neurociencias me parece conveniente empezar aludiendo a la complejidad del sistema nervioso, pues esta complejidad determina que las neurociencias constituyan una abigarrada trama de disciplinas con objetos de estudio muy diversos. La relación entre

el propósito central que atribuyo a las neurociencias y sus objetos de estudio concretos a veces parece muy lejana. Desde luego podría disputarse que las neurociencias tuviesen un único propósito y que este fuese entender cómo funciona el sistema nervioso para producir sus manifestaciones. El término neuro (del griego , nervio) podría tomarse como aludiendo a las neuronas, esto es, a los elementos del sistema nervioso, y no necesariamente al sistema como tal. Además, para entender cómo funciona éste debe entenderse cómo funcionan sus elementos. No obstante, las neuronas aisladas

El Dr. Julio Muñoz es profesor titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV. Es médico cirujano de la UNAM y doctor en ciencias (Fisiología) del CINVESTAV. Su campo de investigación es el estudio de los mecanismos de acción de la neurotoxina de la tuldidora.

no existen y, como trataré adelante, diversas funciones de las neuronas sólo tienen sentido en tanto que forman parte del sistema nervioso. Parece pues justificado sostener que el conocimiento del sistema nervioso es el objetivo central de las neurociencias.

En cuanto al futuro de las neurociencias, como no soy adivino cuando mucho intentaré describir el cauce que a mi juicio siguen. Pero cada disciplina sigue su propio cauce, a veces torrencial. Tomadas en conjunto, las neurociencias son pródigas en datos, pero pocos de éstos generan comprensión. Un torrente de datos no lleva necesariamente al conocimiento del sistema nervioso.

En concordancia con el supuesto sobre el propósito que atribuyo a las neurociencias como actividad humana, me referiré a cómo creo que fluye nuestra comprensión del sistema nervioso, cuáles son los factores que a mi juicio intervienen en el trazo del cauce, y cuales los obstáculos que se encuentran. No intentaré abundar en el curso que sigue cada una de las disciplinas abarcadas por las ciencias neurológicas, tarea que requeriría de una erudición que no poseo. Tampoco poseo la formación suficiente para intentar un análisis epistemológico formal. Simplemente expongo reflexiones personales y ofrezco algunos puntos de vista basados en la realidad que percibo. Creo que mi visión de la realidad actual de las neurociencias encuentra apoyo objetivo en lo que se publica en las revistas especializadas.

Como las neurociencias son una actividad humana, y como el hombre tiene geografía, sociología e historia, me interesa sobre todo el curso de las neurociencias en México. Si bien estas disciplinas siguen su curso con una lógica interna, los factores externos que lo alteran son diferentes en sociedades distintas.

La complejidad del sistema nervioso

Cada sistema nervioso es tanto más complejo cuanto más neuronas tiene. Pero la complejidad de cualquier sistema no es sólo cuestión del núme-

ro total de elementos que lo componen, sino de la clase de elementos y, sobre todo, de las relaciones que éstos guardan entre sí. En general, los elementos de cualquier sistema se relacionan de tal manera que en conjunción llevan a cabo funciones que ninguno de los elementos puede realizar por sí solo. La totalidad de un sistema es mucho más que la suma de sus partes. Las propiedades del sistema nervioso son mucho más que la suma de las propiedades neuronales. Las propiedades que manifiesta el sistema y no se encuentran en ninguno de sus elementos, resultan de las relaciones que éstos guardan entre sí. Esta afirmación implica la adopción de una postura que tocaría a los epistemólogos calificar. El hecho es que ciertas funciones neuronales, por ejemplo, la liberación de las sustancias llamadas neurotransmisores o neuromoduladores, sólo tienen sentido cuando ejercen sus efectos sobre otras neuronas distintas. Esto es, hay funciones neuronales que no sirven para la supervivencia de las neuronas que las ejecutan —por lo que podrían prescindir de tales funciones— pero sirven para que otras neuronas ejecuten una operación que tampoco es útil directamente para la supervivencia de ninguna de ellas, pero son esenciales para el funcionamiento del sistema o incluso del organismo. En otro texto designé como “funciones celulares trascendentes” a esta clase de funciones.

Para ilustrar la importancia relativa del número de elementos y de las relaciones entre éstos, me parece útil comparar al hígado con el cerebro. Aunque ignoro cuantas células tiene el hígado humano, por lo menos debe tener tantas como el cerebro (unos cincuenta mil millones cuando menos), ya que su peso es superior al de éste. No obstante, la complejidad funcional del cerebro es mucho mayor que la del hígado. El menor nivel de complejidad del hígado se debe a que las funciones de una cierta zona hepática también se encuentran en cualquier otra zona del órgano (por eso es correcto decir que el hígado es un órgano y no un sistema). Más aún, el funcionamiento de cada célula hepática es esencialmente independiente del funcionamiento de sus células homólogas (aunque puede haber cierto grado de cooperación metabólica intercelular), sobre todo si se trata de células distantes entre sí. Como el hígado es una repetición de su unidad funcional, se puede extri-

par el 75% de su masa sin que el organismo presente alteraciones graves mientras no se vea enfrentado con una situación límite que requiera del máximo funcionamiento hepático. Por otra parte, si el hígado se dividiese en dos mitades sin producir ninguna otra alteración, la división no traería consecuencia alguna.

La situación es muy diferente en los órganos o subsistemas del sistema nervioso central (cerebro, cerebelo, etc.). Los diferentes grupos o núcleos neuronales sirven a funciones distintas o contribuyen de manera diferente a una función en la que participan varios núcleos. Además, el estado funcional de cada neurona —sobre todo el estado eléctrico— depende estrechamente del funcionamiento de otras muchas neuronas de las que puede estar muy separada. Por lo tanto, la pérdida de un grupo relativamente pequeño de neuronas del cerebro o de otra región del sistema nervioso puede traer consecuencias graves o fatales para el organismo. Más aún, la sección de algunas partes del sistema nervioso puede ser tanto o más grave que la eliminación de un grupo neuronal aunque la sección no produzca por sí misma muerte neuro-

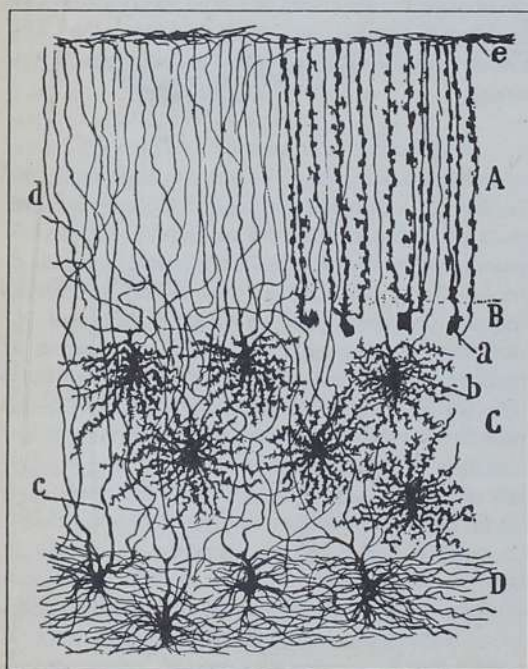
nal. Por ejemplo, si a un mamífero se le secciona la médula espinal cerca del bulbo raquídeo, el animal muere debido a que se paralizan los músculos respiratorios aunque las neuronas que controlan dichos movimientos no sufren con la sección. Esto pone de manifiesto que las conexiones interneuronales son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema nervioso e incluso para la supervivencia del organismo.

En efecto, a diferencia del órgano hepático, las propiedades del sistema nervioso dependen tanto de las propiedades de sus elementos fundamentales como de las relaciones funcionales entre éstos. El sistema nervioso no es una mera agregación de unidades funcionales en la que las funciones de la población están representadas en cada unidad. Lo específico, lo distintivo del sistema nervioso, lo que le confiere su alto nivel de complejidad y una participación importantísima en una gran variedad de funciones orgánicas, además de las funciones exclusivamente neurales (la creación de lenguajes, por ejemplo), resulta de la amplísima comunicación entre sus elementos y de las funciones de éstos que sólo tienen sentido como partes del sistema. De hecho, la neurona aislada no existe.

Análisis y síntesis en las neurociencias

Las neurociencias, como dije, comprenden una amplia gama de disciplinas que tienen en común el estudiar algún aspecto del sistema nervioso. La enorme complejidad de este sistema, el conocimiento que ya se tiene del mismo y la disponibilidad de diversos instrumentos para explorarlo, determinan que los objetos de estudio concretos de las neurociencias sean hoy múltiples.

Es obvio que el sistema nervioso no puede estudiarse globalmente. Para comprender cómo opera para producir sus manifestaciones, los investigadores lo analizamos por partes. Cuando se ha reunido la suficiente información fragmentaria acerca de una función dada (tarea que suele ocupar durante mucho tiempo a un gran número de individuos), entonces puede darse una explicación global de la función y se revela la participación de las relaciones interneuronales. En esta explicación



Neuronas del cerebro según Cajal.

se sintetizan los datos parciales que le dieron lugar. Esto no quiere decir que con la explicación y la síntesis terminen los análisis. Siempre hay nuevos y más precisos análisis que al ser incorporados al modelo explicativo lo enriquecen haciéndolo más completo y así lo van transformando. La transformación puede ser tan radical que los nuevos modelos pueden parecerse muy poco al modelo original. Entonces se propone un nuevo modelo. Así pues, los análisis son científicamente útiles si al ser incorporados a un modelo previo hacen que este tenga un mayor poder explicativo. En cuanto a las neurociencias y el conocimiento del sistema nervioso, los análisis elementales son útiles si con ellos comprendemos mejor las relaciones interneuronales y por lo tanto el sistema. No puede ignorarse que las relaciones funcionales interneuronales sólo pueden comprenderse cabalmente si se conocen algunos mecanismos de sus elementos, pero profundizar indefinidamente en el estudio de dichos mecanismos conlleva el riesgo de perder de vista el objetivo central: el sistema nervioso.

Algunas disciplinas "neurocientíficas" atienden más a los mecanismos elementales, mientras que otras se ocupan preferentemente de dichas relaciones. Todo conocimiento parcial resulta necesario para comprender cómo funciona el sistema. Desde las moléculas —los canales iónicos, por ejemplo— hasta las conductas del organismo entero, todo es importante. Como las neurociencias son el resultado de una actividad comunitaria, el que algunos investigadores profundicen en el estudio de los elementos del sistema no implica que en conjunto se abandone el propósito de la comprensión global si hay otros que recojan los resultados de los análisis particulares para incorporarlos en el marco teórico general (donde realmente revelan su importancia o su trivialidad). En realidad, esto siempre ha ocurrido en la historia de la ciencia. No obstante, la historia de la ciencia en general y la de las neurociencias en particular no es monótona. Hay periodos de desarrollo fluido y más o menos constante, otros en los que ocurren saltos cuánticos y otros más de estancamiento. El estancamiento puede darse en algunas ramas de una disciplina mientras que otras ramas florecen.

En la actualidad se trabaja mucho más en temas relacionados con los mecanismos celulares que

en las relaciones interneuronales y las propiedades globales del sistema nervioso. Las neurociencias de hoy son sobre todo disciplinas dedicadas al estudio de los elementos, es decir, neuronología (término que no debe confundirse con neurología, que alude al sistema). No obstante, algunos de los pocos estudios integrativos, esto es, que tienen el propósito explícito de esclarecer los mecanismos que dan lugar a las manifestaciones del sistema, contribuyen mucho más a su conocimiento que la miríada de trabajos meramente neuronológicos. Debe advertirse, sin embargo, que la integración da resultados más completos y explicaciones más sólidas conforme aumenta el número de factores integrados, y éstos son proporcionados por la neuronología. Así pues, no es tanto que haya neuronología de sobra, sino que cada día se van haciendo más escasos los trabajos que incorporen los conocimientos que ésta proporciona con el fin de esclarecer funciones integradas del sistema.

La importancia del instrumento

No es solamente la complejidad del sistema lo que determina la diversidad de objetos concretos de estudio. El estudio de un objeto va precedido de su posibilidad. Dicho llanamente, se estudia lo que se puede. En las ciencias experimentales sólo se puede estudiar aquello a lo que nuestros instrumentos dan acceso.

Así pues, las ciencias experimentales transcurren por cauces en buena medida trazados por el progreso técnico. No quiero decir con esto que el instrumento sea lo más importante. La teoría es al menos tan importante como el instrumento. De hecho, detrás de cada instrumento, artefacto o procedimiento de los que nos valemos para explorar el sistema nervioso, se encuentra siempre una teoría que motivó la invención. Los instrumentos mismos están cargados de teoría.

Disciplinas e instrumentos

El número de disciplinas y subdisciplinas crece conforme se inventan y perfeccionan nuevos instrumentos. Por ejemplo, la mayor parte de los estudios neurofisiológicos a lo largo de este siglo se han ocu-

pado de los fenómenos eléctricos que generan las neuronas. Es impensable que la electrofisiología actual pudiese existir sin el desarrollo de galvanómetros, amplificadores electrónicos y osciloscopios. Alrededor de la mitad del siglo, los neurofisiólogos se limitaban a estudiar las manifestaciones eléctricas de grandes poblaciones neuronales que se ponen en actividad sincrónicamente en forma natural o experimental. Ahora es claro que esta electrofisiología de mediados de siglo estaba limitada por la carencia de electrodos que se pudieran introducir en una sola neurona para registrar su estado eléctrico. Con el advenimiento de las micropipetas para el registro eléctrico ideadas por Ling y Gerard (1949) y con el perfeccionamiento de amplificadores electrónicos adecuados a las propiedades de dichas micropipetas, el registro intracelular de la actividad neuronal se fue haciendo cada vez más frecuente en los laboratorios dedicados a la neurofisiología básica. El microelectrodo no únicamente abrió una puerta por la que sólo él podía penetrar, trazó además un camino instrumental que todavía conduce a nuevos conocimientos. En la actualidad no solamente se puede registrar intracelularmente la actividad eléctrica de las neuronas. Un nuevo microelectrodo, muy en boga por cierto, ha hecho posible registrar las corrientes eléctricas que fluyen a través de un sólo canal iónico (los llamados canales iónicos son proteínas de la membrana celular que permiten el flujo iónico transmembranal). Quienes hicieron estos registros por primera vez, Neher y Sakmann, acaban de recibir el premio Nobel. En este mismo número de *Avance y Perspectiva* Gabriel Cota habla de ambos aspectos.

El registro de la actividad eléctrica de poblaciones neuronales no se ha abandonado. De hecho, en ciertos estudios es conveniente e incluso insustituible. No obstante, su importancia relativa ha decrecido. En 1950 bastaba decir que "Fulano es neurofisiólogo" para tener una idea muy aproximada de la clase de estudios que hacía, pues la variedad de instrumentos y técnicas disponibles no era muy grande. Decir hoy "Zutano es neurofisiólogo" tiene un significado menos preciso, pero si se aclara cuáles instrumentos y procedimientos técnicos utiliza, de inmediato podemos imaginar su área de trabajo. La neurofisiología es hoy de hecho un conjunto de subdisciplinas, a veces con límites imprecisos. Algunas se aproximan mucho más a lo que entendemos por biofísica que a la

neurofisiología de mediados de siglo. Otras son más cercanas a la biología celular.

Invencción, apogeo y vigencia ulterior de los instrumentos

Cuando se inventan nuevos instrumentos, técnicas o artefactos como los microelectrodos, los primeros estudios a los que sirven están necesariamente orientados a determinar cuáles son sus alcances y a estudiar las características del fenómeno o mecanismo que han revelado. Los primeros hallazgos suelen ser revolucionarios porque dan lugar a nuevas explicaciones. Después viene un periodo de gran actividad estéril, de muchos datos que dan lugar a pocos conceptos nuevos. Es el periodo de la "ciencia normal" que alude Kuhn. Cualquier dato que valide el uso del instrumento, el fenómeno, o el mecanismo, amerita publicación. La ciencia de lo esperado y lo confirmatorio. Buena época para quienes conocen bien los instrumentos. Si se dispone de éstos y se sabe escribir, se asegura la publicación de resultados aunque las hipótesis y las conclusiones sean magras. Las revistas especializadas en el campo correspondiente se llenan de artículos que cada vez añaden menos. El instrumento y la información que éste puede proporcionar dejan entonces de ser novedosos. Pasan de moda.

Por otra parte, todo instrumento tiene límites en cuanto a su poder de resolución. Los microelectrodos, por ejemplo, creo que han alcanzado su límite. Pero lo que todavía parece ilimitado es la complejidad del sistema nervioso. Que un instrumento pase de moda no quiere decir que pierda su utilidad. Instrumentos tan antiguos como el martillo o el cincel siguen siendo útiles. Pero el uso de un instrumento clásico tiene valor en la medida de la obra que produce. En general, el futuro de las neurociencias dependerá en buena medida de nuevos instrumentos y técnicas. Nuestro país va a la zaga en materia tecnológica y por tanto somos totalmente dependientes en materia instrumental. Esto no nos condena a ir también a la zaga en materia científica ya que hay una infinidad de problemas relevantes que están sin resolver y que pueden ser resueltos con los instrumentos que te-

nemos a nuestro alcance. Dada la importancia del instrumento, sin embargo, nuestro futuro a largo plazo estará notablemente marcado por la actividad de los tecnólogos mexicanos y por la relación que establezcamos con ellos. Pero el desarrollo tecnológico está muy relacionado con el proyecto y con el impulso industrial de un país. En vista de lo que es nuestra industria y de lo que parece que va a ser en el futuro, no puedo ser muy optimista en cuanto a nuestro desarrollo tecnológico e instrumental, por más que los tecnólogos mexicanos hayan dado y estén dando muestras de su imaginación y capacidad.

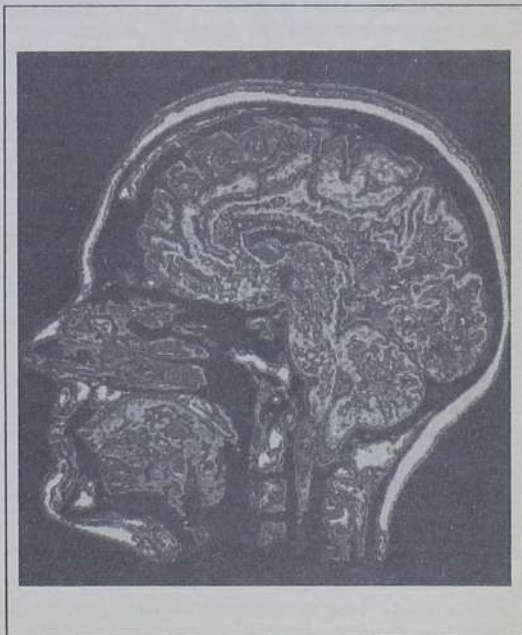
Instrumentos y conceptos importados. Nuevas disciplinas

Los instrumentos que se utilizan en una disciplina suelen ser ideados para dar satisfacción a necesidades de la propia disciplina o de disciplinas afines. Otros son importados. Tal es el caso, por ejemplo, de la neuroinmunocitoquímica, o inmunocitoquímica aplicada a las neuronas. Esta útilísima técnica está contribuyendo a distinguir de manera muy precisa diferentes neuronas e incluso partes restringidas de éstas gracias a su capacidad de identificar la composición proteínica particular. Mediante la utilización de diferentes anticuerpos marcados que pueden ser identificados por microscopía, la neuroinmunocitoquímica es una herramienta valiosa para trazar circuitos neuronales.

Parece ser que actualmente estamos presenciando el auge de dos disciplinas cuyo cuerpo conceptual está básicamente construido con piezas de conocimiento del sistema nervioso: la llamada inteligencia artificial y la robótica. Estas disciplinas son por completo dependientes de un instrumento —las computadoras— y están necesariamente sometidas a las limitaciones de éste. El ser humano, gracias a su sistema nervioso, crea las computadoras. Ahora buscamos en éstas algún auxilio para entender cómo funciona nuestro sistema nervioso. Es posible que con los modelos de inteligencia artificial y los robots que se están creando se generen artefactos útiles para otros propósitos, pero, parece poco probable que las computadoras actuales nos expliquen la inteligencia natural, entre otras cosas porque las

computadoras y el cerebro humano funcionan con principios diferentes. No obstante, hay que esperar. Quizá encontremos algunas respuestas con otra clase de computadoras que contengan elementos analógicos cuyas funciones y conexiones se asemejen a las de las neuronas del sistema nervioso central. Vale la pena explorar esta avenida, sobre todo en países como el nuestro, en el que a la ciencia se dedica una fracción del producto interno bruto demasiado pequeña (por lo cual dicho producto seguirá siendo pequeño mientras no cambie la situación). Las computadoras son relativamente baratas.

Así como la neurofisiología importa técnicas y procedimientos, otras disciplinas a su vez se apropian de implementos y conceptos típicamente neurofisiológicos. Por ejemplo, el uso de microelectrodos no se restringe al estudio de las células tradicionalmente llamadas excitables —células musculares y neuronas— sino que estos útiles implementos también se usan para estudiar células o conjuntos celulares inexcitables, como son las células del epitelio renal. Las neurociencias no se vinculan con otras disciplinas científicas solamente a través de instrumentos, artefactos y procedimientos. Estos vienen acompañados del aparato conceptual al que están asociados. Así, las discipli-



nas establecidas van perdiendo su perfil al enriquecerse. Surgen nuevas áreas y temas concretos al que contribuyen varias disciplinas. Actualmente los neurofisiólogos no pueden progresar mucho ignorando, por ejemplo, los datos y el universo conceptual de la neuroquímica, y viceversa. Esto amplía el campo de cada especialista, pero también lo complica. Cada vez nos queda más claro que muchas de las incógnitas del sistema nervioso no pueden ser resueltas por una sola disciplina. Las capacidades individuales tienen un límite que quizá sólo puede ser superado con la constitución de equipos interdisciplinarios. Pese a las dificultades que presenta, la actividad interdisciplinaria marcará el destino inmediato de las neurociencias.

Nacen así disciplinas híbridas que quizá adquieran un perfil definido. Por ejemplo, el universo conceptual y los procedimientos de la biología molecular y la ingeniería genética están siendo incorporados a las neurociencias. Actualmente se seleccionan o se producen "mutantes neurales" de una especie y se correlaciona la anomalía genética con las alteraciones consecuentes de algún mecanismo neuronal y de la función compleja a la que éste contribuye. Creo que el futuro a mediano plazo de las neurociencias estará muy influido por las contribuciones de la ingeniería genética.

Bienvenidos sean los cambios en las neurociencias si contribuyen a alcanzar nuestro propósito general. Y éste es, no lo olvidemos, conocer el sistema nervioso.

Instrumentos y análisis del sistema

Creo que todos estamos convencidos de la importancia capital que tienen los instrumentos en la aparición y desarrollo de una disciplina. Nuestros instrumentos son herramientas analíticas. Es posible que el relativo abandono en que se encuentra el estudio del sistema nervioso como tal esté influido por la carencia de instrumentos que permitan analizar el sistema globalmente o al menos las partes del sistema que intervienen en funciones complejas en las que participan varios conjuntos neuronales. En general, como dije antes, el estudio

de estas funciones se lleva a cabo de manera fragmentaria, analizando por separado los diferentes componentes de la función para después reunir los datos en un modelo explicativo integral. Los diferentes análisis se hacen frecuentemente en situaciones experimentales distintas, lo que suele traer dificultades para establecer un esquema integral válido de la función compleja. Como lo acepta todo científico, los resultados de un análisis particular sólo son estrictamente válidos en la situación experimental en que fueron obtenidos. La conveniencia de mantener presente este principio se hace patente con cierta frecuencia.

Por ejemplo, desde principios del siglo XX se conoce que los gatos descerebrados y, en general, todos los mamíferos, incluso el humano, presentan un estado de rigidez muscular cuando se interrumpe la continuidad entre el cerebro y el tallo cerebral (rigidez de descerebración). Diversos análisis neurofisiológicos, muchos de los cuales no se hicieron en animales descerebrados experimentalmente, dieron lugar a una explicación mecanística de dicha rigidez. Dicha explicación no era totalmente consistente con los datos. Recientemente, sin embargo, se han descubierto hechos que explican mejor la rigidez de descerebración. Esos hechos observados ahora por lo visto no siempre fueron observables, en parte porque no había teoría que los comprendiese, pero en parte también porque hay dificultades técnicas para analizar con microelectrodos ciertas funciones neuronales en los animales con rigidez de descerebración.

Hay procedimientos e instrumentos que permiten el registro de manifestaciones del sistema nervioso en las que participan poblaciones neuronales relativamente grandes. Por ejemplo, las diferentes formas de electroencefalografía y el aparato que las hace posibles. Sin embargo, cuanto más abarca el instrumento, menor es su resolución. Idealmente, los interesados en el sistema nervioso quisiéramos disponer de procedimientos e instrumentos que nos permitiesen analizar de manera simultánea, idealmente en el humano consciente, la función de las neuronas y las redes neuronales que participan en la ejecución de funciones complejas.

Esa clase de instrumento ya existe. Los aparatos cuyo funcionamiento se basa en la detección de

la resonancia magnética protónica y en la emisión de positrones no fueron ideados para estudiar el sistema nervioso, pero ya se están adaptando para este fin. Su resolución y versatilidad para tal propósito van aumentando. Creo que en pocos años dispondremos de instrumentos que, basados en el mismo principio y acoplados a potentes computadoras, puedan dar cuenta casi simultáneamente del estado funcional de grandes redes neuronales y de los elementos de estas redes. Debido a estos instrumentos y al conocimiento neuronológico acumulado, el futuro de las neurociencias es promisorio. Estoy convencido de que en México, y en el CINVESTAV en particular, deberíamos hacer un esfuerzo extraordinario para poder escudriñar el sistema nervioso con esa potente herramienta. No hacerlo así implicaría el riesgo de quedar muy rezagados en el cauce de las neurociencias.

La importancia del sistema biológico ("preparación" biológica)

El análisis de las propiedades de las neuronas o de las redes que éstas constituyen es más preciso cuanto más simple y manipulable sea el sistema biológico utilizado. Las necesidades que plantea el análisis inducen a la búsqueda de preparaciones biológicas adecuadas. Por esta razón se estudian sistemas nerviosos relativamente simples, por ejemplo de los crustáceos, aunque su semejanza con sistemas nerviosos más complicados sea muy remota, o se estudien in vitro fragmentos de sistemas nerviosos más complicados, como las rebanadas de tejido nervioso de algunos mamíferos. La investigación que se hace en estas preparaciones es válida dado que las propiedades neuronales en general se conservan a lo largo de la escala filogenética (lo que tiene un claro significado en la teoría de la evolución). Además, los instrumentos analíticos rinden sus mejores resultados en preparaciones simples que permiten el cambio controlado de variables. Sin embargo, aunque los principios elementales se conserven y su análisis sea más preciso, la misma simplicidad o la fragmentación de los sistemas no permite analizar funciones integradas que sólo se encuentran en sistemas más complejos e íntegros o menos fragmentados.

En la actualidad hay una notable tendencia a utilizar ya sea preparaciones simples (animales con sistemas nerviosos rudimentarios) o "reducidas" (por ejemplo, rebanadas del sistema nervioso de vertebrados). A veces se utilizan sistemas extraordinariamente artificiosos que permiten llevar a cabo estudios elegantes y muy precisos que mucho dicen del ingenio humano pero poco sirven para entender el sistema nervioso, como es el caso de la inserción de canales iónicos en ovocitos de rana mediante la inyección en éstos del RNAm correspondiente. Al mismo tiempo hay un abandono relativo de sistemas experimentales que ciertamente son más complejos y por tanto más difíciles de estudiar, pero que en principio reproducen mejor las funciones integradas que manifiesta el organismo normal. Tales preparaciones están proporcionando una enorme cantidad de datos. Creo que si en un futuro cercano no se encuentra que tales datos sirvan eficazmente a la comprensión del sistema, habrá un retorno al estudio de funciones integradas en sistemas biológicos más complejos. Este estudio, claro está, tomará en cuenta los datos útiles proporcionados por los análisis previos.

El uso de preparaciones sencillas, reducidas o artificiosas no solamente está determinado por las necesidades que imponen los estudios analíticos, sino también por razones extracientíficas a las que aludo a continuación.

Factores extracientíficos

Toda actividad científica está sometida a influencias extracientíficas. Por ejemplo, las instituciones que la financian pueden favorecer más a unas disciplinas que a otras por diversas razones. En nombre del interés público las agencias estatales pueden disminuir el apoyo a las ciencias básicas, como son las neurociencias, en supuesto beneficio de la llamada ciencia aplicada. Cabe aquí solamente decir que sin ciencia básica no hay posible aplicación. Además, la aplicación de la ciencia no depende de los científicos sino de factores políticos, económicos y sociales en general.

Hay un factor social extracientífico que modifica el curso de varias disciplinas biológicas, pero sobre todo el de las neurociencias: la exigencia de

grupos antiviviseccionistas a los que incomoda o enfurece el sufrimiento causado a los animales en los laboratorios de investigación. Estos grupos ya han causado estragos atacando violentamente laboratorios en EU y en países europeos. Desde luego, no parece que estos defensores de los animales se opongan a los adelantos médicos que les permiten alargar su vida y seguir protestando con buena salud por el uso indispensable de animales en los laboratorios que hacen posible esos adelantos. Estos prevaricadores se preocupan más por animales domésticos como el gato, vertebrado cuyo sistema nervioso se conoce mejor, al menos desde el punto de vista neurofisiológico.

Aunque no puede establecerse sólidamente una relación causa-efecto, el gato está desapareciendo del tejado de las neurociencias desde que aparecieron los merodeadores antiviviseccionistas. Mientras escribía este artículo consulté el volumen del *Journal of Neurophysiology* de 1950: el 64% de los trabajos publicados fueron hechos en gatos. En 1990, sólo 38% de los trabajos publicados en esta revista fueron hechos en el felino doméstico. Es decir, la frecuencia relativa del uso del gato en experimentos neurofisiológicos disminuyó en 60% a lo largo de 40 años. De seguir esta tendencia, gran parte de la información obtenida en el felino será desperdiciada, lo que implicará un retraso en el estudio del sistema nervioso en general. Hay otros factores que pueden intervenir en el desuso del gato, como su costo relativamente alto en los países industrializados, la aparición de preparaciones que se prestan más para el análisis (lo que tiene una justificación científica) y la necesidad de obtener más rápidamente datos publicables que justifiquen y avalen la concesión de donativos al investigador (lo que siempre podemos justificar, aunque difícilmente como científicos).

El financiamiento, espada de Damocles

Como todas las ciencias experimentales, las neurociencias son costosas, aunque ni con mucho las más costosas. Los investigadores experimentales necesitan disponer de instalaciones, insumos, ins-

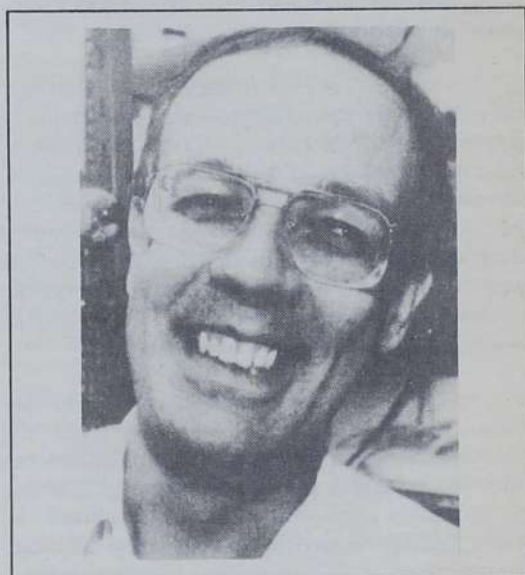
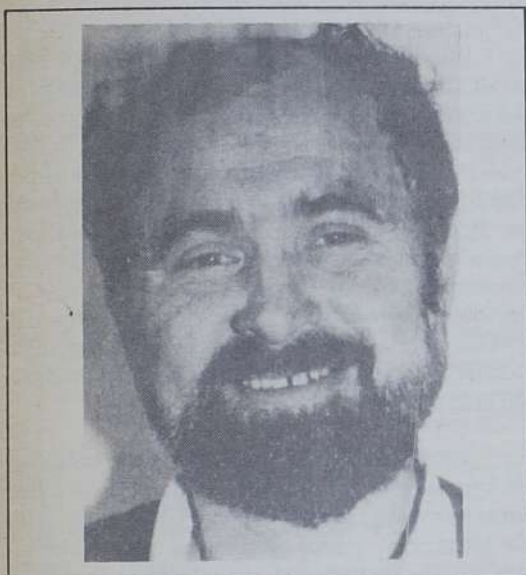
trumentos y personal de apoyo. Quienes proporcionan el financiamiento necesario son, o el Estado, o la industria privada. El papel que juega la industria privada en el desarrollo de la ciencia en los países del Primer Mundo es fundamental. Las industrias apoyan al desarrollo de la ciencia no por generosidad sino por su propia conveniencia; desde luego, el apoyo no es indiscriminado, sino dirigido hacia aquello que directa o indirectamente puede desembocar en un producto para el cual existe un mercado actual o potencial. Algunas compañías farmacéuticas apoyan muy activamente la investigación que ya ha dado lugar a la obtención de sustancias con efectos deseados en el sistema nervioso.

En México y, en general, en los países peyorativamente denominados del Tercer Mundo, el fomento de la investigación por parte de la industria es casi nulo. Este desinterés de la industria por la ciencia nacional no es perverso. Es, en todo caso, miope. Casi ciego. Nuestra industria privada es de poca monta y menos alcances. A nuestros industriales no les parece que sea buen negocio invertir en ciencia. No les hace falta más ciencia que la que compran ya incorporada en los materiales, instrumentos y procedimientos que adquieren de los países en donde la industria es impulsor fundamental de las ciencias y las técnicas. En estas condiciones, el fomento de la ciencia corre a cargo de los estados tercermundistas y concretamente de sus gobiernos... que tampoco saben cómo puede beneficiar la ciencia al país o a su administración. Así, los montos y la forma en que se distribuyen los presupuestos suelen depender de la decisión de funcionarios que por regla general entienden poco.

La más importante función social que puede cumplir la ciencia actual está en la educación. La utilidad de la ciencia no solamente se pone en evidencia gracias a los bienes de uso a los que el conocimiento científico da lugar en última instancia. También contribuye al bienestar social creando formas de pensar que son indispensables para la aprehensión del propio conocimiento científico y, lo que es quizá más importante, para interpretar la realidad. Esta función educativa del científico no recibe la atención que debería tener ni de los políticos ni de los propios científicos. ☸

**Avances de Ciencia y Tecnología
Los Premios Nobel en Ciencias 1991**

Neher y Sakmann: los canales iónicos en la mira



Erwin Neher (izquierda) y Bert Sakmann (derecha), la pareja triunfante de fisiólogos alemanes que revolucionó el estudio de los canales iónicos.

Gabriel Cota y Marcia Hiriart

El 7 de octubre pasado nos enteramos de la noticia: Erwin Neher y Bert Sakmann, dos científicos del Instituto Max Planck de Alemania, que promovieron una explosión del conocimiento en el campo de la biología de los canales iónicos de las membranas celulares, se habían hecho merecedores del premio Nobel de medicina correspondiente

a 1991. La decisión fue sin lugar a dudas acertada y era sólo cuestión de tiempo que se tomara.

Para apreciar la extraordinaria labor desarrollada por Neher y Sakmann sería conveniente revisar algunos conceptos y hacer un poco de historia acerca de los canales iónicos. Confiamos en que las siguientes líneas serán de utilidad en ese sentido.

Los canales iónicos son proteínas que participan en el quehacer diario de las células ayudando a dirigir el tráfico de iones inorgánicos a través de

El Dr. Gabriel Cota es profesor titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV. La Dra. Marcia Hiriart es médica de la UNAM y obtuvo su doctorado en fisiología y biofísica en el CINVESTAV. Es investigadora adjunta en el Departamento de Bioenergética del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM.

sus membranas. Los canales proporcionan rutas transmembranales que son recorridas por los iones cuando éstos se mueven de un lado a otro de las membranas en forma pasiva, es decir, a favor de diferencias de concentración o de potencial eléctrico. Esas rutas son minúsculas (apenas mayores, en su parte más estrecha, que el diámetro de un ion) y presentan por lo general un alto grado de selectividad, dejando pasar sólo cierto tipo de iones y rechazando a las especies iónicas restantes.

La operación de los canales iónicos es de crucial importancia para el sistema nervioso, ya que la generación y conducción de impulsos nerviosos, al igual que la comunicación interneuronal, depende de estas proteínas de membrana. Los canales iónicos están también fuertemente implicados en muchos otros procesos vitales, como el latido del corazón, la secreción de hormonas, la contracción de la musculatura esquelética, e incluso en la unión del espermatozoide con el óvulo.

Las técnicas electrofisiológicas han sido durante muchos años las herramientas favoritas de los científicos en el estudio de los canales iónicos. Aún hoy, en que la atención se centra en la biología molecular de las proteínas de membrana, la electrofisiología sigue siendo la manera principal de examinar el funcionamiento de los canales,

sean de origen natural o sean mutantes producto de la ingeniería genética. La actividad de los canales iónicos produce corrientes eléctricas transmembranales, pues los iones que se mueven a través de ellos son partículas cargadas. Comenzando con Alan Hodgkin y Andrew Huxley en 1952, los fisiólogos han conseguido conocer muchas características de los canales mediante el análisis de tales corrientes iónicas.

Hay canales que están siempre abiertos, pero otros se abren sólo en presencia de un estímulo adecuado. El impulso nervioso, por ejemplo, es generado por canales iónicos sensibles al voltaje transmembranal: los canales están cerrados al potencial de reposo y se abren cuando la membrana es despolarizada. Otros canales responden a estímulos químicos. Este es el caso de los canales activados por neurotransmisores en los sitios en que las neuronas establecen contactos sinápticos con células vecinas, como lo mostraron por primera vez John Eccles, Bernard Katz, y sus colaboradores en la década de los años 50.

Treinta años atrás, los fisiólogos no hablaban de canales iónicos, sino de vías de permeabilidad en la membrana para el flujo pasivo de iones, pues no tenían idea acerca de cómo se mueven los iones a través de la membrana ni tampoco conocían la naturaleza de las vías de permeabilidad. Fue hasta finales de los 60 cuando comenzó a quedar claro que esas vías son canales, gracias sobre todo a los elegantes trabajos de Clay Armstrong y Bertil Hille. La demostración de que los canales son proteínas se realizó en el transcurso de la primera mitad de los años 70.

Casi todos los estudios electrofisiológicos anteriores a 1976 se llevaron a cabo en cuerpos neuronales y axones de invertebrados, o bien en axones y células musculares de vertebrados. Además, en esos estudios se analizaban las corrientes iónicas generadas por miles o millones de canales, razón por la cual el comportamiento de los canales individuales era inferido sólo indirectamente.

El panorama cambió de manera radical a partir del 29 de abril de 1976, fecha en que apareció un impactante artículo de investigación en la revista inglesa *Nature*. Los autores del artículo

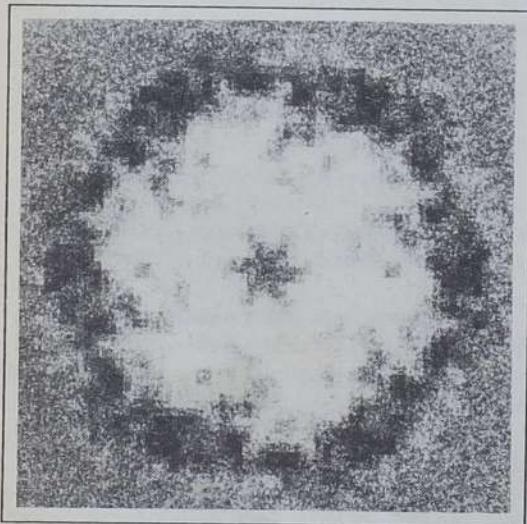


Imagen filtrada por rotación de una unión comunicante, *J. Cell Biology*, 115, 1, 1991.

eran Neher y Sakmann, entonces con 32 y 34 años de edad, respectivamente, y en él presentaban un método de registro electrofisiológico que permitía observar el funcionamiento de canales iónicos individuales en la membrana plasmática o superficial de las células.

El procedimiento era muy ingenioso, al mismo tiempo que de una notoria simplicidad, y consistía en aislar una pequeña área de membrana, de unos cuantos micrómetros cuadrados, con la punta previamente pulida al calor de un microelectrodo de vidrio. Esta maniobra disminuía drásticamente el nivel de ruido eléctrico de fondo, de tal suerte que hacía posible la detección de las microscópicas corrientes iónicas (llamadas unitarias) que fluyen a través del parche de membrana cada vez que se abría un canal en el mismo.

El método introducido por Neher y Sakmann se conoce en español como fijación de voltaje en microáreas de membrana, aunque es costumbre ya arraigada en la comunidad científica internacional llamarlo por su nombre en inglés: *patch clamp*. El término fijación de voltaje implica que las corrientes iónicas se miden en presencia de un voltaje transmembranal estable y controlado, lo cual simplifica el análisis de los resultados. En los experimentos descritos en el artículo mencionado, el *patch clamp* fue utilizado para determinar de manera directa la corriente unitaria de canales iónicos activados por el neurotransmisor acetilcolina, en la membrana plasmática de células musculares esqueléticas.

Neher y Sakmann no se detuvieron allí, sino que en los cinco años subsecuentes convirtieron el *patch clamp* en una técnica increíblemente versátil, susceptible de ser aplicada en una amplia gama de tipos celulares y capaz de contestar un sinnúmero de interrogantes en relación a la función y estructura de las distintas clases de canales iónicos que son expresados por las células. Por si eso fuera poco, Neher y Sakmann supieron predicar con el ejemplo, y se convirtieron en líderes mundiales de esas investigaciones.

El uso del *patch clamp* por un número creciente de investigadores durante la década de los 80 revolucionó la investigación electrofisiológica.

El nuevo enfoque brindó la posibilidad de conocer las propiedades de los canales iónicos con un detalle hasta entonces inimaginable. Aún más, con el *patch clamp* fue posible extender la exploración de los canales iónicos a una gran variedad de células pequeñas, que antes no eran tan accesibles al estudio electrofisiológico. Esto incluye células gliales, glandulares, epiteliales, sanguíneas, vasculares y óseas, además de fibroblastos, mioblastos, receptores sensoriales y neuronas de vertebrados.

De este modo, en los últimos años se ha manifestado con toda claridad la gran diversidad de canales iónicos que existen en la naturaleza y se han conseguido avances notables acerca de las múltiples influencias que ejercen los canales iónicos sobre la fisiología de las células. Asimismo, el estudio moderno de los canales iónicos está permitiendo a los científicos mejorar sus conocimientos acerca de los mecanismos celulares de enfermedades tan diversas como las cardiovasculares, la diabetes, la fibrosis quística, la miastenia gravis y la epilepsia.

Es evidente, pues, que Neher y Sakmann se ganaron con creces el premio Nobel. Aquí en México, al igual que en muchas otras partes del mundo, los miembros del club de los canales iónicos decimos: ¡salud, maestros!

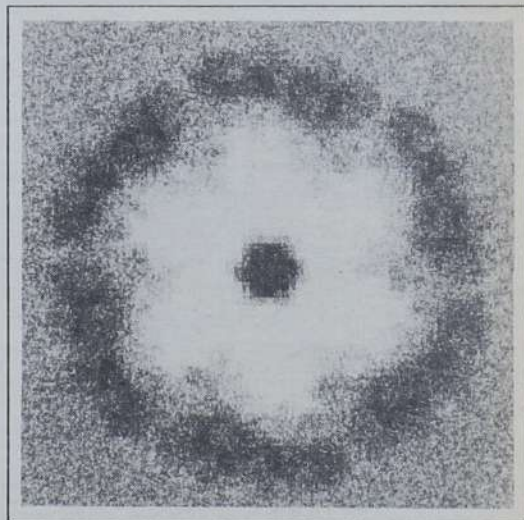
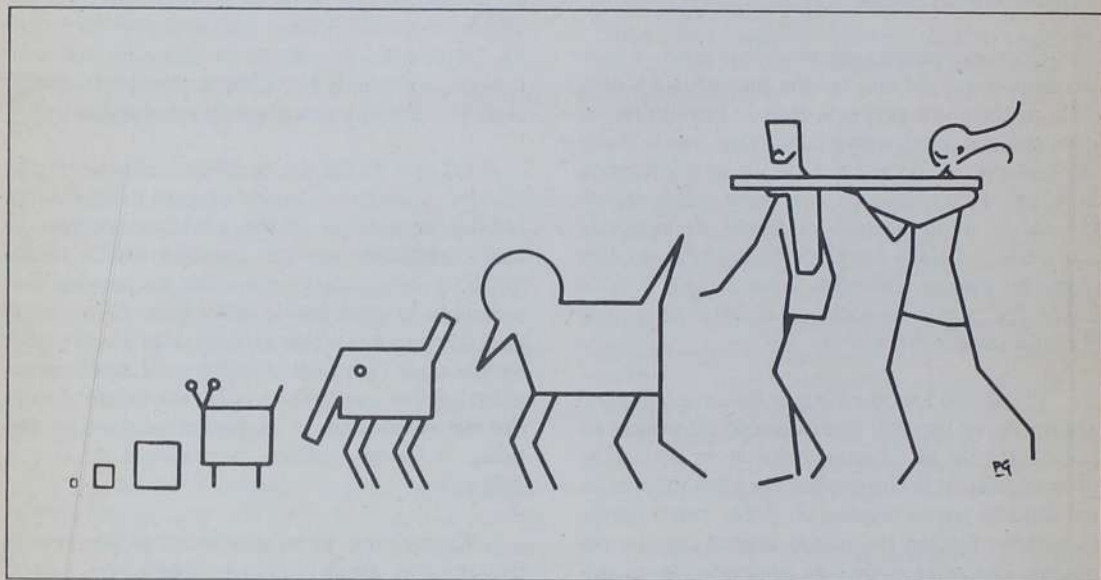


Imagen filtrada por rotación de una unión comunicante, *J. Cell Biology*, **115**, 1, 1991.

Pierre Gilles de Gennes: el Isaac Newton de nuestra época



Ley de escalamiento aplicada a varios animales. Dibujo de Pierre Gilles de Gennes.

José Luis Arauz Lara y Faustino Aguilera Granja

El pasado 16 de octubre la academia Real Sueca de Ciencias anunció que el premio Nobel de Física 1991 había sido otorgado al físico francés Pierre Gilles de Gennes. Amplio conocedor de la física contemporánea, de Gennes, físico teórico de 59 años, a quien la Academia Sueca no ha dudado en llamar *el Isaac Newton de nuestra época*, ha contribuido de manera muy significativa en áreas tan variadas como lo son el magnetismo, la superconductividad, las soluciones poliméricas, los cristales líquidos y la hidrodinámica.

"¿Quién ha medido las aguas del océano en el hueco de la palma de su mano y pesado las montañas con balanzas?" Con esta cita de Isaías (40,12), de Gennes, devoto protestante, herencia de su madre, resume magistralmente el sentido de su obra. Su contribución medular es, simple y llanamente, haber vislumbrado entre la maraña y la confusión reglas generales y simples, comunes a una vasta variedad de sistemas de gran complejidad, que van desde los superconductores hasta los cristales líquidos, pasando por las soluciones poliméricas, las cuales describen el paso de un estado ordenado a uno desordenado (fenómeno conocido como transición de fase). La importancia de las ideas introducidas por de Gennes, que son referidas desde hace tiempo como la escuela francesa, radica en que nos permite utilizar la misma metodología, conceptual y matemática, para entender

El Dr. José Luis Arauz Lara es profesor titular del Departamento de Física del Cinvestav. El Dr. Faustino Aguilera Granja es investigador del Instituto de Física de la UASLP. Ambos obtuvieron su doctorado en el Cinvestav. El área de interés del primero es el estudio de fluidos complejos y del segundo los polímeros.

en términos simples la física básica en una amplia variedad de situaciones. El ingrediente fundamental es la ley de escalamiento: simplificar la dinámica del sistema al escalar todas las longitudes involucradas por un factor común.

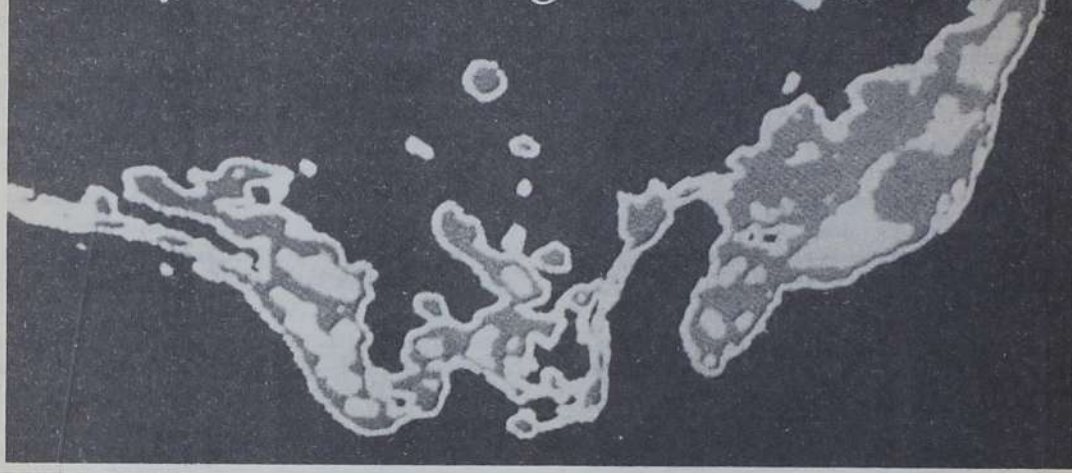
Hombre de gran modestia y sin pretensiones, que gusta de la cabeza de ternera y de la sopa de papa y poro, de Gennes, fiel a su idea de hacer investigación básica motivada por la práctica, actualmente orienta su empresa científica hacia el estudio de los superpegamentos y de los fenómenos de adhesión. Así, otra constante en la obra de Pierre Gilles de Gennes es su vinculación en temas de inegable interés en el fascinante y promisorio mundo de la ciencia de los materiales.

Para terminar, creemos conveniente enumerar algunos datos importantes sobre P. G. de Gennes. Nació en París el 24 de octubre de 1932, inició su carrera como ingeniero en la Comisión de Energía Atómica (1955-1961). Fue profesor de la

Facultad de Ciencias de Orsay (1961-1971), donde fundó el grupo de *superconductores*, y después el de *cristales líquidos*, el cual dos años más tarde pondría a Francia a la cabeza en la investigación sobre ese tema. En 1971 es nombrado profesor del Colegio de Francia, donde permanece desde entonces. En ese mismo año, durante el verano, visitó el Departamento de Física del CINVESTAV, en el cual dictó un curso sobre superconductividad en metales y aleaciones. En 1976 fue nombrado director de la Escuela Superior de Física y Química de París. Los reconocimientos a de Gennes son muchos y variados; ha recibido medallas, es miembro invitado de varias academias científicas, y también ha recibido el Doctorado Honoris Causa de varias universidades. Es, además, autor de libros especializados, tales como *Superconductivity in Metals and Alloys*, *The Physics of Liquid Crystals*, y *Scaling Concepts in Polymer Physics*, considerados como clásicos por su trascendencia y de vanguardia por los temas allí tratados. ☼



Richard Ernst: transformada de Fourier y resonancia magnética nuclear



Rosalinda Contreras

El premio Nobel de Química 1991 fue otorgado este octubre a Richard Ernst, el hombre que desarrolló la técnica de transformada de Fourier en la resonancia magnética nuclear (RMN-TF). Esta espectroscopía constituye el método de análisis más poderoso con que cuentan los químicos para la determinación de la estructura química. Consiste en aprovechar la magnetización de los núcleos atómicos a fin de producir una alteración magnética con un pulso de energía que los saque del estado de equilibrio y luego monitorear la respuesta de éstos a la perturbación.

Con ella los químicos pueden obtener gran cantidad de información acerca de una estructura molecular, de la cantidad y calidad de los elementos que la forman. En sus inicios esta técnica se usó principalmente para observar los núcleos de hidrógeno por un método llamado de onda continua, que hacía un barrido en un intervalo de ra-

diofrecuencia. La transformada de Fourier permite, con un solo pulso de energía, obtener mayor información sobre el sistema. Este método permitió a los químicos orgánicos detectar cantidades muy pequeñas del núcleo de carbono-13. Además de ser un método no destructivo, la resonancia magnética nuclear de transformada de Fourier permitió que la RMN pudiera aplicarse a la mayoría de los elementos de la tabla periódica. Por lo mismo esta técnica ha sido aprovechada también por los químicos inorgánicos. Tiene aplicación en el análisis estructural de moléculas grandes, como proteínas y hormonas, lo cual abre a los bioquímicos perspectivas de uso.

Recientemente, la RMN-TF ha empezado a utilizarse en medicina para investigación y diagnóstico en observación directa del paciente. Richard Ernst es suizo, tiene 58 años, trabajó en la compañía Varian, donde en 1966 desarrolló la resonancia magnética nuclear por transformada de Fourier. En 1968 se reincorporó al Instituto Tecnológico de Zurich, donde desarrolló las técnicas de RMN-TF en dos dimensiones y donde continúa estudiando métodos nuevos para aplicar a esta espectroscopía.

La Dra. Rosalinda Contreras es profesora titular del Departamento de Química del Cinvestav. Obtuvo su doctorado en química en la Universidad de Tolosa, Francia. Su campo de investigación es la química de los compuestos orgánicos del boro y del fósforo.



noticias del centro

La Cámara de Diputados rinde homenaje al CINVESTAV-IPN en su XXX Aniversario



La LV Legislatura de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión rindió un homenaje al CINVESTAV-IPN para conmemorar el XXX Aniversario de su fundación. Este homenaje tuvo lugar durante la sesión del pasado 27 de noviembre en el Recinto Oficial de la Cámara de Diputados situado en la Unidad de Congresos del Centro Médico Nacional del IMSS. La presidenta de la Comisión de Ciencia y Tecnología de esta legislatura, la diputada M. en C. Gabriela Guerrero y egresada de la ENCB-IPN, hizo una presentación de la trayectoria del CINVESTAV. Esta es la segunda ocasión en la historia de la Cámara de Diputados en que se rinde un homenaje a una institución educativa mexicana. La otra institución homenajeada fue el Instituto Politécnico Nacional, en ocasión de la celebración del I Aniversario de su fundación en 1986.

Como invitados especiales a esta sesión asistieron —además del Dr. Feliciano Sánchez Sinencio, Director del CINVESTAV, profesores y trabajadores del Centro— el Lic. Ernesto Zedillo Ponce, Secretario de Programación y Presupuesto; el Dr. Rogelio Gasca Neri, Subsecretario de Programación y Presupuesto; el Dr. Raúl Talán, Subsecretario de Educación e Investigación Tecnológicas; el C.P. Oscar Joffre, Director General del IPN; el Ing. Eugenio Méndez Docurro, exdirector del IPN y fundador del Cinvestav; el Dr. Fausto Alzati, Director General del CONACYT y el Dr. Gustavo Chapela, Rector General de la UAM.

Notas breves



El Dr. Jaime Serra Puche, Secretario de Comercio y Fomento Industrial, visitó las instalaciones del Cinvestav en Zacatenco el 5 de diciembre de 1991. En particular, le interesó conocer el desarrollo de la Unidad de Tecnología en Epidermis.



El Premio de Ciencia y Tecnología México correspondiente a 1991 fue otorgado al Dr. **Juan José Giambiagi**, actual Director del Centro Latinoamericano de Física con sede en Río de Janeiro, Brasil. Este premio lo otorga la Presidencia de la República por iniciativa del Consejo Consultivo de Ciencias y tiene un monto de \$ 80,000 dólares. Se concede a científicos y tecnólogos latinoamericanos no radicados en México, que se hayan distinguido por sus actividades académicas y repercusiones sociales. El Dr. Giambiagi es un físico de origen argentino que se ha distinguido por sus contribuciones en el campo de la física de altas energías y la teoría cuántica del campo. Forma parte de la generación de físicos latinoamericanos —entre ellos están el Dr. **Marcos Moshinsky** de México y el Dr. **José Leite Lopez** de Brasil— que fue pionera en integrar en los años 50 los primeros grupos de investigación realmente profesionales en el ámbito de América Latina.



El CONACyT asignó \$13,768 millones de pesos al CINVESTAV



El CONACyT dió a conocer la primera asignación de los fondos de apoyo a la ciencia creados recientemente por disposición presidencial. Dentro del Fondo de Proyectos de Investigación, el CINVESTAV recibió \$3,899 millones de pesos, que representan el 15.3% del total asignado por el CONACyT en este fondo, para ser distribuidos en 35 proyectos distribuidos entre ocho departamentos y dos unidades de la siguiente manera:

Biología Celular: J. Calderón Tinoco, M. de la Garza Amaya, I. Meza Gómez-Palacio; *Bioquímica:* J.L. Rosales Encina; *Farmacología:* G. Castañeda Hernández, M.E. Cebrian García, S.L. Cruz Martín del Campo, J.A. Fernández Guasti, J.A. Sánchez Rodríguez; *Física:* C. Falcony, I. Hernández, M.A. Pérez Angón; *Fisiología, Biofísica y Neurociencias:* J. Aceves Ruiz, M. Cerejido, E. Galarraga, L. González, P. Rudomín; *Genética y Biología Molecular:* M.E. Orozco Orozco, C. Calvo Méndez; *Química:* J.N. Farfán García, F. Juaristi; *Patología Experimental:* F. de la Cruz Hernández, M. A. Rodríguez Rodríguez, P. Talamás Rohana, V.K. Tsutsumi Fujiyoshi; *Unidad Irapuato:* M.A. Gómez Lim, P.A. Guzmán Villate, F. Lozoya Gloria, N. Ochoa Alejo, V. Olalde Portugal, O. Paredes López, J. Ruiz Herrera; *Unidad Mérida:* J.L. Peña Chapa.

En el Fondo de Fortalecimiento a la Infraestructura, el CINVESTAV recibió \$7,079 millones de pesos (14.6 % del total asignado por el CONACyT), que fueron otorgados a cinco proyectos encabezados por: G. Guarneros Peña (Genética y Biología Molecular), I. Hernández Calderón (Física), E. López Cruz (U. Saltillo), P. Rudomín (Fisiología, Biofísica y Neurociencias), L.A. Torres Gómez (Química). Dentro del Programa de Fortalecimiento al Posgrado, el CONACyT apoyó 15 programas del Cinvestav con \$1,260 millones de pesos (15.3% del total asignado). Asimismo,



El M. en C. **Ernesto Suaste Gómez**, profesor adjunto y jefe de la Sección de Bioelectrónica del Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV, fue elegido presidente de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica para el bienio 1992-1993. Esta misma sociedad participó en mayo pasado como miembro fundador del Consejo Regional para América Latina de Ingeniería Biomédica (CORAL), cuya finalidad es promover y difundir esta especialidad en toda la región. Participaron también como miembros fundadores la International Federation of Medical and Biological Society de la IEEE (EMBS), y la Engineering & Medical and Biological Society (EMBS) así como las sociedades nacionales de la especialidad de Argentina, Brasil, Colombia y Chile.



El Dr. **Arnulfo Zepeda**, profesor titular del Departamento de Física del CINVESTAV, fue elegido presidente de la División de Partículas y Campos de la Sociedad Mexicana de Física para el bienio 1991-1993. Sustituye en el cargo a la Dra. S. Rebeca Juárez, profesora titular de la ESFM-IPN y egresada del mismo departamento.



aprobó una Cátedra Patrimonial del Nivel III (\$50 millones de pesos) y 8 solicitudes de repatriación por 480 millones de pesos: *Biología*, Juan Alfredo Salazar Montoya, Martha A. Rodríguez Carlos Arias Castro; *Control Automático*, Angel Nahum Herrera, Moisés Bonilla Estrada; *Física*, Heriberto Castilla Valdez, Gerardo Herrera Corral, Gabino Torres Vega.

En los Comités de Evaluación que dictaminaron las solicitudes correspondientes a la asignación de recursos de 1991 del CONACYT, participaron los siguientes investigadores del CINVESTAV: Consejo Asesor: H. Aréchiga, M. de la Torre, A. Martínez Palomo, P. Rudomín; *Formación de Recursos Humanos*: E. Hong, D. Ibarra Muñoz; *Posgrado Nacional*: J. Mendoza Alvarez, A. Blanco; *Ciencias Aplicadas*: C. Falcony Guajardo; *Ciencias Exactas*: O. Hernández Lerma, I. Hernández Calderón; *Ciencias Sociales*: G. Waldegg Casanova; *Ciencias de la Salud*: E. Hong, J. Calderón Tinoco; *Ciencias Naturales*: M.E. Orozco Orozco, J. Aceves Ruiz; *Publicaciones Periódicas*: M.A. Pérez Angón.

Julio G. Mendoza Alvarez, Premio de la Academia de la Investigación Científica 1991

El Dr. Julio G. Mendoza Alvarez, profesor titular del Departamento de Física y actual Secretario Académico del CINVESTAV, recibió el Premio de la Academia de la Investigación Científica (AIC) 1991 en el área de las ciencias exactas. Este premio lo otorga anualmente la AIC a investigadores menores de 40 años que hayan desarrollado su trabajo de investigación en México. En esta ocasión, el premio en esta área fue compartido también por el Dr. Luis Mochán Bachal, investigador del Instituto de Física de la UNAM.

EL Dr. Julio G. Mendoza Alvarez es físico egresado de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN, obtuvo su grado de maestría en ciencias (Física, 1975) en el CINVESTAV y el de doctorado en física (1979) en la Universidad Estatal de Campinas, Brasil. Se incorporó a la planta de profesores del Departamento de Física del CINVESTAV en 1980, en donde ha dirigido 2 tesis doctorales, 3 de maestría y 1 de licenciatura. Su campo de investigación es la física experimental del estado sólido, en el que ha realizado varias contribuciones al estudio de las propiedades ópticas de semiconductores y dispositivos optoelectrónicos. En particular, desarrolló recientemente en su laboratorio, y en colaboración con el Dr. Gerardo Torres Delgado, el primer láser de diodo realizado de manera integral en México. Ha publicado



El Dr. Ricardo Arnoldo Cantoral Uriza, profesor titular de la Sección de Matemática Educativa del CINVESTAV, presentó la conferencia *Sicogénesis de la noción de analiticidad: estudio de casos*, dentro del ciclo que organiza la Fundación Ricardo J. Zevada para culminar los proyectos de investigación que apoyó durante 1991. Esta conferencia se llevó a cabo el 10 de octubre de 1991 en el Auditorio Arturo Rosenblueth del CINVESTAV.



Con el fin de celebrar el 70 aniversario del Dr. Ernest L. Eliel, profesor de química de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill, EUA, se realizó en las instalaciones del CINVESTAV el Simposio Internacional sobre Estereoquímica del 16 al 18 de octubre de 1991. El Dr. Eliel ha impulsado el desarrollo y la enseñanza de la química orgánica durante más de 40 años, en especial la estereoquímica. Es editor de la serie *Topics in Stereochemistry*, con más de 20 volúmenes publicados, y ha publicado más de 300 artículos de investigación en esta área de conocimiento. Durante este Simposio, el Dr. Eliel fue admitido como Miembro Correspondiente de la Academia de la Investigación Científica. El simposio estuvo organizado por el Dr. Eusebio Juaristi y la Dra. Bárbara Gordillo, ambos profesores del Departamento de Química del CINVESTAV y excolaboradores del Dr. Eliel.





30 artículos en revistas con evaluación por el sistema de arbitraje, 28 contribuciones en memorias de reuniones académicas y 3 artículos de divulgación. Sus trabajos de investigación han sido citados más de 150 veces en la literatura científica.

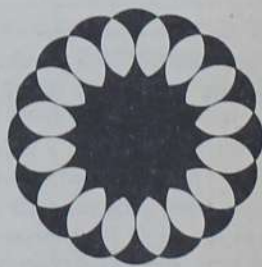
El Dr. Mendoza Alvarez es el séptimo investigador del CINVESTAV que recibe el Premio de la AIC en el área de las ciencias exactas. Los otros investigadores galardonados son: Dr. Pedro Joseph Nathan (Química, 1972), Dr Jorge S. Helman (Física, 1979), Dr. José Luis Morán López (Física, 1985), Dra. Rosalinda Contreras (Química, 1986) Dr. Eusebio Juaristi (Química, 1988) y Dr. Magdaleno Medina Noyola (Física, 1990).

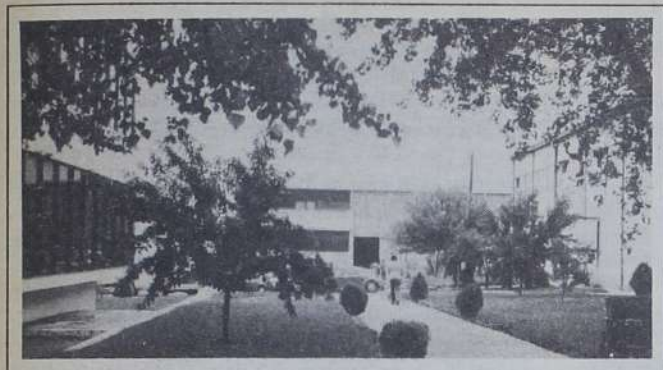
Se crea la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Con fecha 4 de noviembre de 1991 se abrogó el decreto presidencial que creó el Instituto Mexicano de Investigadores Siderúrgicas (IMIS) con sede en Saltillo, Coah. Su patrimonio seguirá utilizándose para realizar y promover la investigación en la ciencia de materiales a través de una sociedad mercantil que se denominará Corporación Mexicana de Investigación en Materiales,



El M. en C. Olac Fuentes Molinar, profesor titular del Departamento de Investigaciones Educativas del CINVESTAV, es el editor de la nueva revista *Básica*, promovida por la Fundación SNTE para la Cultura del Maestro Mexicano, de la cual el mismo Olac es presidente.





S.A. de C.V. El CINVESTAV participará como uno de los accionistas constituyentes de esta sociedad, el Secretario de Educación Pública será el presidente del Consejo de Administración respectivo y el Director del CINVESTAV el vicepresidente del mismo. El IMIS fue creado por decreto presidencial publicado el 13 de mayo de 1975. El Ing. Arturo Lazcano Navarro, quien fuera director general del IMIS, seguirá a cargo de la dirección de esta nueva corporación.

Graduados entre octubre y diciembre de 1991

Maestros en Ciencias

Alma Irene Corona Cruz. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología. 11 de octubre. Crecimiento de *Phormidium* sp en un reactor tipo carrusel utilizando residuos porcinos digeridos aeróbicamente. Asesores: M. en C. Rosa Olivia Cañizares Villanueva y Dra. Amparo Ramos Cárdenas. Se integró a la planta de profesores de la Facultad de Ingeniería Química de la UAY.

María Maldonado Vega. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología. 6 de diciembre. Obtención de proteínas de pasta de girasol (*Helianthus annuus* L.) y su caracterización en algunos aspectos bioquímicos y nutricionales. Asesor: Dr. Rutilo Castellano Molina. Es Auxiliar de Investigación en el Departamento de Bioquímica del CINVESTAV.

Héctor Jesús Alfonso Pino. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biotecnología. 11 de diciembre. Desarrollo de un campímetro oftalmológico computarizado de respuesta automática. Asesor: M. en C. Ernesto Suaste Gómez.

Eduardo Santillán Zerón. Maestro en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica. 8 de noviembre. Análisis de invarianza rotacional de filtros discretos. Asesor: M. en C. Petra Wiederhold Grauert de Matos. Continúa su doctorado en el CINVESTAV.

María Margarita Goire Castilla. Maestro en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica. 29 de noviembre. Modelos conexionistas de deducción y aprendizaje automático. Asesor: Dr. Guillermo Benito Morales Luna. Se incorporó al Instituto Superior Politécnico de Santiago de Cuba.

Sergio Humberto López López. Maestro en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica. 3 de diciembre. Estudio y diseño de un sistema telemático de educación interactiva. Asesor: Ing. en Com. Eléctricas Jorge Suárez Díaz.

Hermes Sandoval Gallardo. Maestro en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica. 6 de diciembre. Sobre la obtención de arseniuro de galio de alta pureza por el método de transporte en fase vapor a corta distancia (CSVT). Asesores: Dr.

Jaime Mimila Arroyo y M. en C. Rebeca Castañedo Pérez. Se integró a la planta de profesores de la Universidad del Canca en Colombia.

Eugenio Camarena Ocampo. Maestro en Ciencias en la especialidad de Educación. 11 de octubre. Una aproximación etnográfica a las estructuras y contenidos del salón de clases. Un caso a nivel superior. Asesor: Lic. Vicente Eduardo Remedi Alione.

Ma. Merced Arriaga Gutiérrez. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 3 de octubre. Un modelo infinitesimal asociado a la noción de variación continua: estudio de su apropiación en estudiantes de biología. Asesor: M. en C. Francisco Cordero Osorio. Se incorporó a la planta de profesores de la U de G.

José Armando Landa Hernández. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 27 de noviembre. La astronomía, la medición indirecta. Un vehículo para la enseñanza de la geometría elemental. Asesores: M. en C. Ricardo Quintero Zazueta y M. en C. Sonia Ursini Legovich. Se incorporó a la planta de profesores de la Universidad Autónoma Chapingo.

Velia Pérez Hernández. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 3 de diciembre. Sobre la noción de convergencia de los polinomios de Taylor en estudiantes de bachillerato. Análisis de las estrategias que posibilitan la construcción del concepto. Estudios de casos. Asesor: M. en C. Rosa María Farfán Márquez. Se incorporó a la planta de profesores del Instituto Tecnológico de Chihuahua.

Blanca Trinidad Acosta García. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 3 de diciembre. Estructuración de las teorías de la proporción: de la numérica a la geométrica. Asesor: Dra. Shirley Bromberg Silverstein.

Silvia Alonso Nápoles. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 4 de diciembre. Formación de profesores a través de un estudio clínico sobre pensamiento algebraico con estudiantes de bachillerato. Asesor: Dra. María Teresa Rojano Ceballos. Se incorporó a la planta de profesores de la Universidad Juárez de Durango.

María Elena Alonso Nápoles. Maestro en Ciencias en la especialidad de Matemática Educativa. 4

de diciembre. Formación de profesores a través de un estudio clínico sobre pensamiento algebraico con estudiantes de bachillerato. Asesor: Dra. María Teresa Rojano Ceballos. Se incorporó a la planta de profesores de la Universidad Juárez de Durango.

Sandra Francisca Antunez Perezache. Maestro en Ciencias en la especialidad de Química Orgánica. 29 de noviembre. Estudio sobre el efecto gauche en 1, 3-dioxanos-2, 5-disustituídos. Asesor: Dr. Eusebio Juaristi y Cosío. Es auxiliar de investigación en el Departamento de Química del CINVESTAV.

Francisco Armando Aguilar Salazar. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Marina. 28 de noviembre. Estandarización del esfuerzo pesquero de la flota camaronera del Golfo de Tehuantepec, México. Asesor: M. en C. Francisco Arreguín Sánchez. Se incorporó a la planta de investigadores del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras en Puerto Morelos, Yucatán.

Miguel Angel Cabrera Vázquez. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Marina. 15 de octubre. Efecto de cambios en la varianza y tamaño del intervalo en la estimación de los parámetros de crecimiento del mero *Epinephelus morio*. Asesor: M. en C. Francisco Arreguín Sánchez.

Eugenio Martín Pérez Mulphe. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Vegetal. 9 de diciembre. Identificación de proteínas inducidas por déficit hídrico y salinidad en diferentes variedades de arroz (*Oryza sativa* L.). Asesor: Dr. Neftalí Ochoa Alejo. Se integró a la planta de profesores de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Elda Esmeralda Posada Campos. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Vegetal. 20 de diciembre. Identificación y caracterización de factores proteicos asociados con la resistencia a potyvirus en frijol (*Phaseolus vulgaris*). Asesor: Dr. Miguel Angel Gómez Lim. Se integró a la planta de investigadores de la Unidad Irapuato del CINVESTAV.

Irineo Torres Pacheco. Maestro en Ciencias en la especialidad de Biología Vegetal. 22 de noviembre. Secuenciación y caracterización de ADN's asociados a la enfermedad "Rizado Amarillo" del chile (*Capsicum annuum* L.). Asesor: Dr. Rafael Francisco Rivera Bustamante. Se integró a la planta de investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias.

Dora Alicia Cortes Hernández. Maestro en Ciencias en la especialidad de Metalurgia no Ferrosa. 28 de noviembre. Estudio cinético de absorción de nitrógeno en una aleación base cobalto ASTM F-75 biocompatible. Asesores: M. en C. Juan Méndez Nonell y M. en C. José Concepción Escobedo Bocardo.

Doctores en Ciencias

Ana María Sierra Honigmann. Doctora en Ciencias en la especialidad de Biología Celular. 28 de octubre. Empleo de anticuerpos monoclonales en el estudio de proteínas liberadas en el complejo estriado del cerebro de la rata. Asesores: Dr. Jesús Calderón Tinoco y Dr. Alejandro Bayón.

María del Refugio García Villegas. Doctor en Ciencias en la especialidad de Genética. 10 de octubre. La peptidil-tRNA hidrolasa de *E. coli* en la inhibición por los sitios *bar* de λ . Asesor: Dr. Gabriel Guameros Peña. Se integró a la planta de profesores del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV.

María Concepción Gutiérrez Ruiz. Doctor en Ciencias en la especialidad de Farmacología. 21 de noviembre. Caracterización de una línea celular hepática de origen fetal humano. Efecto del etanol sobre la morfología y fisiología celular. Asesores: Dr. Gilberto Castañeda Hernández y Dr. Alfonso Cárabez Trejo. Se incorporó a la planta de profesores de la UAM-I.

Arturo Fernández Tellez. Doctor en Ciencias en la especialidad de Física. 11 de octubre. Producción de bosones Z_0 y H en colisiones ep y pp para extensiones mínimas del modelo estándar. Asesores: Dr. Miguel Angel Pérez Angón y Dr. Alfonso Rosado Sánchez. Se reincorporó a la planta de profesores de la FCFM-UAP.

Heriberto Castilla Valdez. Doctor en Ciencias en la especialidad de Física. 25 de octubre. Charmonium production and exclusive B decays at the CERN proton-antiproton collider. Asesor: Dr. David Bruce Cline. Se integró a la planta de profesores del Departamento de Física del CINVESTAV.

Miguel Angel Soriano Jiménez. Doctor en Ciencias en la especialidad de Física. Decaimiento de los bosones vectoriales W , Z , Z' en modelos con sectores extendidos de Higgs. Asesor: Dr. Mi-

guel Angel Pérez Angón. Se reincorporó a la planta de profesores de la FCFM-UAP.

Juan Manuel Figueroa Estrada. Doctor en Ciencias en la especialidad de Física. 15 de noviembre. Defectos estructurales en películas policristalinas de CdTe. Asesor: Dr. Feliciano Sánchez Sinencio. Se reincorporó a la planta de profesores de la ESFM-IPN.

Rubén Gerardo Contreras Patiño. Doctor en Ciencias en la especialidad de Fisiología. 8 de noviembre. Papel del calcio en la polarización de la Na-K-ATPasa y en la formación de uniones estrechas de las células epiteliales. Asesores: Dra. Lorenza González Mariscal y Muriel y Dr. Marcelino Cerejido Mattioli. Se integró a la planta de profesores del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV.

Mercedes Graciela Porras Villalobos. Doctor en Ciencias en la especialidad de Fisiología. 23 de octubre. Estudio de una proteína del timo que modula la esteroidogénesis gonadal *in vitro*. Asesora: Dra. Marta Catalina Romano Pardo.

José Jesús García Colunga. Doctor en Ciencias en la especialidad de Fisiología. 5 de diciembre. La corriente de calcio en neuronas peptidérgicas del acil. Asesores: Dr. René Francisco Valdósera Vázquez y Dr. Ubaldo García Hernández. Se incorporó a la planta de profesores de la ESIME-IPN.

Enrique de Jesús Arjona Suárez. Doctor en Ciencias en la especialidad de Ingeniería Eléctrica. 2 de diciembre. Síntesis de redes de Petri coloreadas para sistemas de eventos discretos. Aplicación al modelado de tareas en sistemas de manufactura. Asesor: Dr. Luis Ernesto López Mellado. Se integró a la planta de profesores de la Universidad Autónoma de Chapingo.

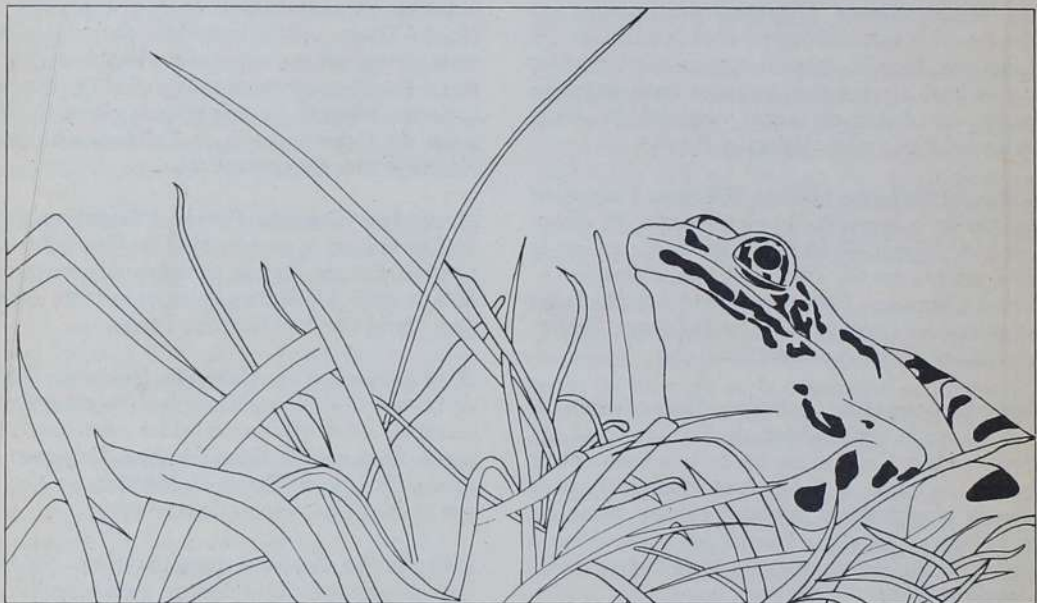
Luis Gerardo Zepeda Vallejo. Doctor en Ciencias en la especialidad de Química Orgánica. Síntesis de análogos estructurales del indorenato. Asesores: Dr. Pedro Joseph-Nathan y Dra. Martha Sonia Morales Ríos. Se integró a la planta de profesores de la ENCB-IPN.

Noé Zuñiga Villarreal. Doctor en Ciencias en la especialidad de Química Orgánica. 25 de noviembre. Estudio de la reactividad del π -pentadienilcarbonilmanganeso. Caracterización de los correspondientes derivados neutros amino- y fosfapentenilo. Asesor: Dra. María de los Angeles Paz Sandoval.

**espacio abierto**

La poesía de la ciencia

Rosario Morales Alvarez



John Timpane

A principios de este siglo resurgió un antiguo y gran dilema: ¿Poesía o ciencia? Ciertamente es milenario. Ya Sócrates había expulsado a los poetas de su república hace 2,400 años. Y sin duda es vasto, pues se trata de un problema fundamental en nuestra cultura y no se desvanecerá. Los filóso-

fos—entre ellos John Dewey—creían que reconciliar lo científico y lo estético era “el asunto más significativo ante el mundo”. Pero, ¿podía lograrse? ¿Cuál de esos dos mundos captaría mejor la esencia de la época? ¿Acaso el surgimiento de uno implicaría la decadencia del otro?

John Timpane es un escritor que enseña Lengua Inglesa en la Escuela Superior Lafayette, en los Estados Unidos. El presente ensayo fue publicado en *Scientific American*, julio de 1991. (Traducción de Carlos Chimal.)

Las cosas no pintaban bien para la poesía. Era el preludio de la Depresión, del holocausto de Hiroshima. La tecnología estaba en la cima de la popularidad; la mayoría de los norteamericanos, incluidos los poetas, tendían a confundirla con la

"ciencia". (Una generación anterior, en medio de las chimeneas, trabes, armazones y máquinas de la Revolución Industrial, Walt Whitman había escuchado el alma norteamericana: "¡Arriba la ciencia positiva! ¡Larga vida a la demostración exacta!")

En realidad, los poetas del siglo XX le deben mucho a la ciencia. Les ha ofrecido más cosas en qué pensar, otros puntos de vista; ha ampliado el ámbito de la imaginación y ha permitido al poeta apropiarse de ella. El descubrimiento del cuanto por Planck en 1900, y la publicación de la teoría de la relatividad de Einstein en 1905, mostraban un universo muy distinto al que suponían sus predecesores y lleno de nuevos puntos de vista. La obra de Freud prometía una nueva ciencia acerca de la mente. La antropología revisaba la historia y la concepción global occidental de la humanidad. Sin estos descubrimientos, sin este nuevo universo relativo, parecían ellos augurar, ningún poeta podría haber escrito las siguientes líneas: "Veinte hombres que cruzan un puente y se encaminan hacia un pueblo son veinte hombres que cruzan veinte puentes hacia veinte pueblos", como Wallace Stevens lo hizo en 1918. Y dos actos de la imaginación caracterizaron los años veinte: *La Tierra Baldía*, de T.S. Eliot (1922) y el principio de incertidumbre de Heisenberg (1927).

La ciencia poseía algo que los poetas anhelaban: la mirada *penetrante*, atenta, la mente abierta, el punto de vista escéptico, expandido por la luz de la verdad. William Carlos Williams aspiraba a esa intensidad en su poema "El joven sicomoro", que pretende ser nada más que un sicomoro:

Se dividen y se separan
retoñan
las jóvenes ramas
por todas partes
(flotan cargadas de capullos)
delgadas
hasta que nada queda de ellas
excepto dos
excéntricas nudosas
varillas
que siguen dibujando
sus curvas
corniformes
en la copa.

Como muchos otros poetas, Williams—quien llegó a ser doctor—deseaba que la poesía se despojara de "lo poético" en favor de una veracidad lúcida e imperecedera.

Pero Williams era un atormentado; por mucho que él conviviera con la ciencia, nunca alcanzó punto de equilibrio. La poeta de mediados de siglo que mejor comprendió la ciencia fue Marianne Moore, una bohemía excéntrica con una licenciatura en biología de Bryn Mawr. Su mirada científica se ocupó de los aspectos sutiles, peculiares de la naturaleza; de sus sorprendentes y agudos poemas sobre pangolines, el beisbol, avestruces y monos se desprende la convicción de que ciencia y poesía son parte de la misma búsqueda de luz. Lo que nos ofrece la poesía, escribe Moore, son "jardines imaginarios con sapos reales en ellos". Esa sorprendente y curiosa frase se refiere, entre muchas otras cosas, a actos de imaginación que tienen su fundamento en la realidad. La poesía se encuentra con la ciencia.

Tres décadas después, luego de Hiroshima, en medio de la Guerra Fría, surgió nuevamente el Gran Dilema en un apasionado debate sobre las "dos culturas". Fue abordado por un científico y poeta —Jacob Bronowski— que había visto la muerte en Nagasaki, en sus libros *Ciencia y valores humanos* y *El ojo visionario*. Bronowski describía la cultura como una unidad en la variedad: "Existe una similitud entre los actos creadores de la mente en el arte y en la ciencia". Tales actos, distintos pero relacionados, pueden generar entre ambos una visión más completa del cosmos. Uno de sus mejores poemas sugiere que el principio de realidad surge de "la combinación del ábaco y la rosa".

Hoy, otras tres décadas más tarde, podemos asegurar que el Dilema ha terminado. No existe y nunca ha existido. Sócrates estaba en un error. Estas dos grandes maneras de ver descansan en el mismo continuo imaginativo. No compiten; se conectan. Si la ciencia explica lo maravilloso, complejo, inesperado de la verdad, la poesía muestra pródigamente el impacto de esa verdad en la conciencia humana. Un buen poeta puede inspirarse en el conocimiento revelado por la ciencia y reflejar en toda su vastedad su importancia humana.

Los poetas que escriben en nuestros días —entre ellos Gary Snyder, Albert Goldbarth, Elizabeth Socolow, Ed Dorn, A. R. Ammons y Pattian Rogers— están haciendo precisamente eso.* En “Corsons Inlet”, de Ammons, el narrador observa el mundo natural y aprende algo de él: “en la naturaleza existen unas cuantas líneas definidas: hay zonas de prímulas más o menos dispersas; arreglos desordenados de bayas arrayán; entre las hileras de dunas, ciénagas irregulares de carrizos... No he llegado a ninguna conclusión, no he levantado fronteras, excluir e incluir, separar lo interno de lo externo: No he dibujado línea alguna”. El poema de Ammon es un mundo estimulante, cruel, abierto, lleno de belleza, dolor y caos, que sigue las reglas pero no puede predecirlas. Escrito en 1965 y sin embargo plasmado de la teoría del caos, “Corsons Inlet”, al invocar la ciencia, no es menos “poético”; de hecho, es más hermoso.

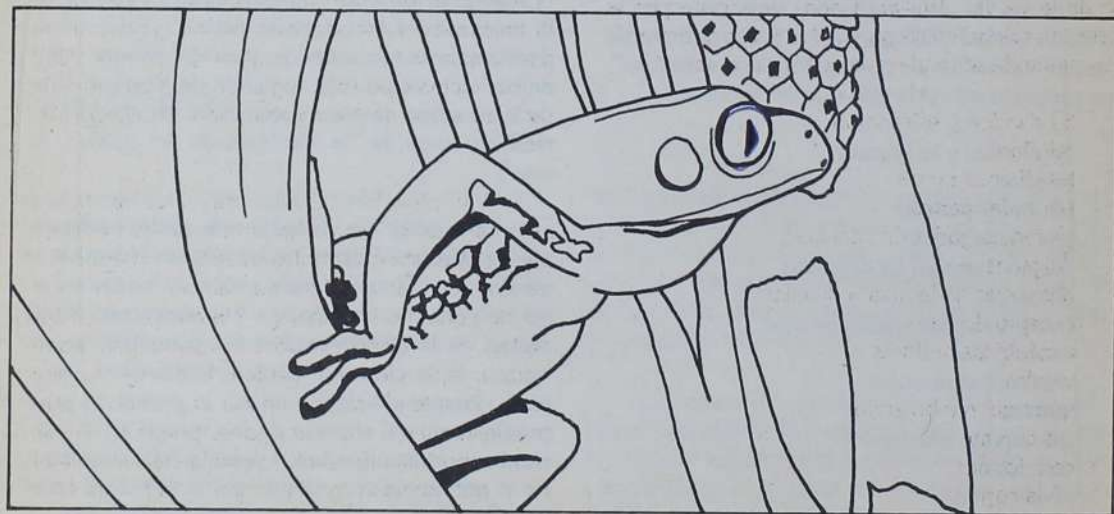
Lo mismo puede decirse de “Seduced by Ear Alone”, de Pattain Rogers. ¿Dónde iniciar un poema de amor? Con la física y la fisiología de la audición: “Alguien debería explicar cómo sucede, empezando con el débil estímulo del yunque y el estribo. La frecuencia establecida de moléculas de aire que se desplazan, iniciada por tu voz, e ingresan a mi oído... si el viento en los árboles debe sonar por accidente como el timbre de tu voz, puedo ser engañado por un instante, sintiéndome de repente en la oscuridad valioso y a salvo”. Aquí, la

ciencia ayuda a darle al poema su humor y su humanismo.

Cerca del final del siglo, más poetas conocen mejor la ciencia que ninguna otra generación en la historia. El resultado es una poesía que busca situar al lector en el mundo con toda su complejidad. Simplemente uno no puede hacerlo sin saber algo acerca de quarks, conjuntos de Julia, inconformidades angulares, la hipótesis del equilibrio de la biogeografía de la isla, microeconomía, superconductividad, lingüística saussuriana y chomskiana, los anillos de Urano... y toda la poesía después de *Gilgamesh*. Los poetas tienen una obra destinada para ellos, y gran parte de esa obra está en la ciencia.

¿Entonces? Pues leamos. Que los científicos lean poesía y que los poetas lean ciencia. Todos terminarán con una educación para el resto de sus vidas. No esperamos que el acceso sea fácil ni conversiones de la noche a la mañana. Hay que comprender que tenemos todo por ganar. En la ciencia, los poetas ganarán el mundo y conservarán sus espíritus; en la poesía, los científicos pueden lograr entrar a los jardines de la imaginación por sus sapos de verdad. ☸

*En México, existen al menos tres poetas en esta vena: Alberto Blanco, Carlos López Beltrán y David Huerta. (N. del T.)



II

CINVESTAV Superconductivity Symposium

"On the manifestations of the
electron-phonon interaction in high-T_c
superconductivity"

DEVOTED TO: JOHN BARDEEN
1st ANNOUNCEMENT

28 SEPT.-2 OCT. 1992
OAXTEPEC-MOR., MEXICO

SPONSORS:

- INTERNATIONAL CENTER FOR THEORETICAL PHYSICS.
- CENTRO LATINO-AMERICANO DE FISICA (CLAF).
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (CONACYT, MEXICO).
- CONSEJO DEL SISTEMA NACIONAL DE EDUCACION TECNICA (COSNET-SEP, MEXICO).
- CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN. (MEXICO).
- DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y SUPERACION ACADEMICA (DGICSA-SEP, MEXICO).
- INSTITUTO DE FISICA, UNAM. (MEXICO).

SPEAKERS IN I CINVESTAV-SUPERCONDUCTIVITY SYMPOSIUM. DEC. 1990, MEXICO

J.P. CARBOTTE (Mc MASTER, Canada)
C.M. FALCO (ARKANZAS, USA)
A. ROBLEDO (IFUNAM, México)
K. MOTIZUKI (U. OSAKA, Japan)
M. GURVITCH (BELL LABORATORIES, USA)
W. REICHARDT (KARLSRUHE, Germany)
O.V. DOLGOV (P.N. LEBEDEV, USSR)
F. MARSIGLIO (U. CALIFORNIA, USA)
N. TSUDA (U. TOKIO, Japan)
J.F. ZASADZINSKY (ILL. INST. TECH., USA)
J. LABBE (ECOLE NORMALE SUPERIEURE, France)
N.M. PLAKIDA (DUBNA, USSR)
R. BAQUERO (CINVESTAV, México)
J.L. MORAN (IF-SLP, México)
T. TIMUSK (Mc MASTER, Canada)
W.E. PICKETT (NAVAL RESEARCH LAB. Washington, USA)
J.H. KIM (USA)
CH. K. LOONG (USA)



INFORMATION:

RAFAEL BAQUERO, ORLANDO ZELAYA
SECRETARY: ROSARIO RODRIGUEZ
CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS
AVANZADOS DEL IPN (CINVESTAV).
DEPARTMENT OF PHYSICS.
APDO. POSTAL 14-740 MEXICO 07000 D.F.
TELS: 52(5) 7 54 65 89
52(5) 7 54 68 01
FAX: 52(5) 7 54 65 89
52(5) 7 54 68 01
52(5) 7 54 87 07
TELEX: 17 72826 PPTME
BITNET: SYMPHTCS @ CINVESMX

II SEMANA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

*una forma de
conocer la ciencia
sencillamente...*

del 6 al 10 de abril, 1992



...sencillamente para ti

