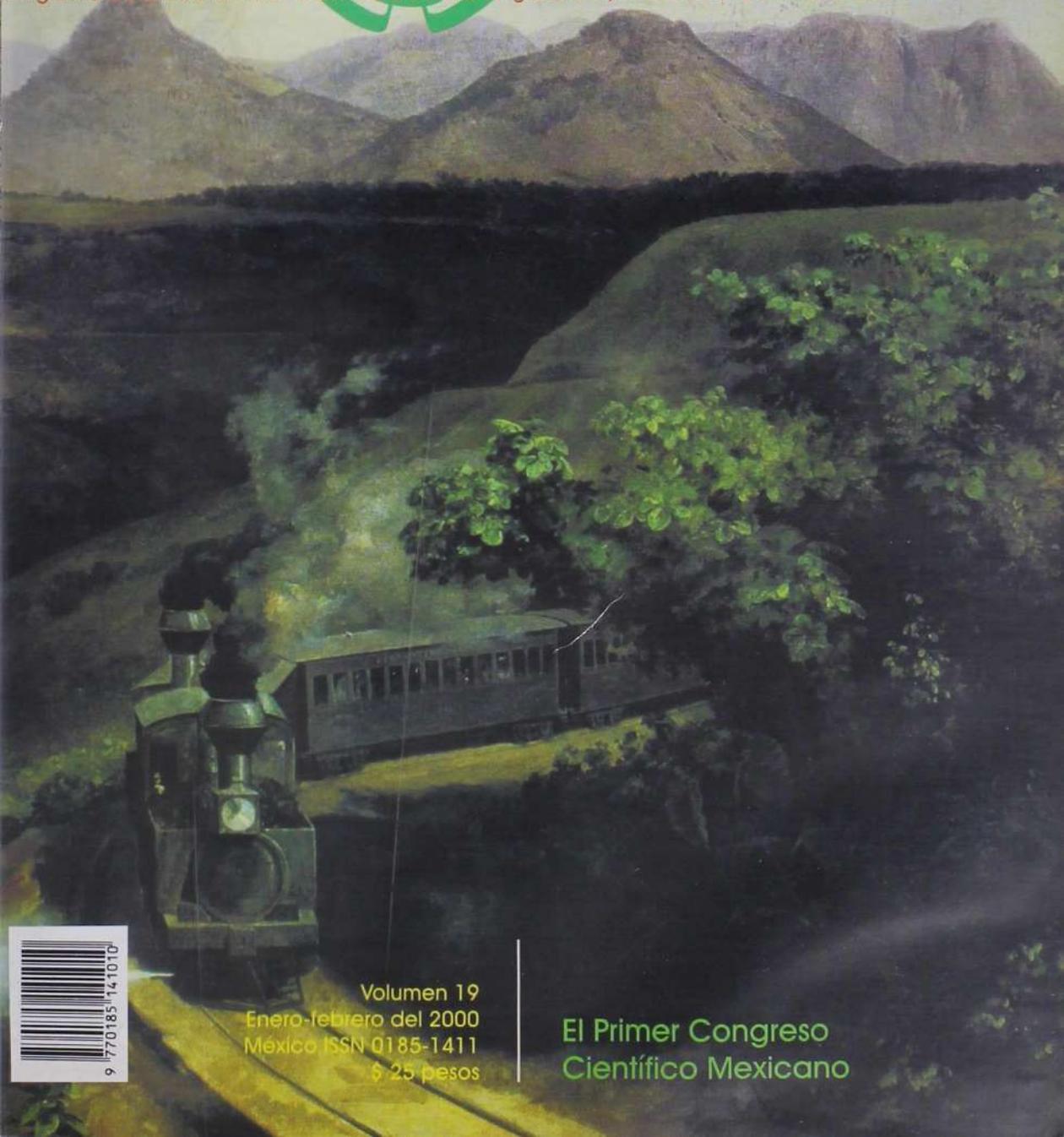




# AVANCE Y PERSPECTIVA

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



9 770185 141010

Volumen 19  
Enero-febrero del 2000  
México ISSN 0185-1411  
\$ 25 pesos

El Primer Congreso  
Científico Mexicano

# Departamento de Física



**CINVESTAV**

Centro de Investigación y de  
Estudios Avanzados del IPN

Física matemática y Gravitación  
Física Nuclear  
Física Médica  
Materia Condensada  
Astrofísica  
Partículas Elementales  
Física Estadística

Examen de admisión a maestría,  
doctorado directo y cursos  
propedéuticos el 28 de febrero  
y el 29 de mayo de 2000.

Inscripciones a doctorado en  
cualquier época del año.  
Becas de Conacyt

Maestría  
Doctorado  
Posdoctorado

Coordinación de admisión  
Departamento de Física, Cinvestav  
Av. IPN 2508, Col. San Pedro Zacatenco  
Apdo. postal 14-740, 07000 México, D.F.  
Tel. 5747 3831, Fax 5747 3838  
admslon@fis.cinvestav.mx  
<http://www.fis.cinvestav.mx>



Centro de Investigación  
y de Estudios Avanzados del IPN  
CINVESTAV

DIRECTOR GENERAL  
Adolfo Martínez Palomo  
ASESORA DE LA DIRECCIÓN GENERAL  
María de Ibarrola Nicolín  
SECRETARIO ACADÉMICO  
René Asomoza  
SECRETARIO DE PLANEACIÓN  
Manuel Méndez Nonell  
SECRETARIO DE RECURSOS  
HUMANOS Y MATERIALES  
Jesús Fernando Ureste Balam

#### AVANCE Y PERSPECTIVA

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

#### CONSEJO EDITORIAL

J. Víctor Calderón Salinas  
BIOQUÍMICA  
Luis Capurro Filograsso  
UNIDAD MERIDA  
Marcelino Cerejido  
FISIOLOGÍA  
María de Ibarrola Nicolín  
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS  
Eugenio Frixione  
BIOLOGÍA CELULAR  
Jesús González  
UNIDAD QUERÉTARO  
Luis Herrera Estrella  
UNIDAD Irapuato  
Luis Moreno Armella  
MATEMÁTICA EDUCATIVA  
Ángeles Paz Sandoval  
QUÍMICA  
Miguel Ángel Pérez Angón  
FÍSICA  
Héctor M. Poggi  
BIOTECNOLOGÍA  
Gabino Torres Vega  
FÍSICA  
Correo electrónico:  
avance@mail.cinvestav.mx  
Consulte nuestra página de Internet:  
<http://www.cinvestav.mx/web/elect/avance.htm>  
RESPONSABLE  
Valente Espinosa

# AVANCE Y PERSPECTIVA

## SUMARIO

Volumen 19

enero-febrero de 2000

- 3 *El primer congreso científico mexicano y la reflexión sobre educación*  
Josefina Granja Castro
- 15 *Tioles, medio ambiente y cáncer*  
José Trujillo Ferrara
- 25 *La electrónica integrada en el siglo XX*  
Federico Sandoval Ibarra
- 31 *Redes neuronales*  
Miguel Ángel Bernal Reza

#### PREMIOS NOBEL EN CIENCIAS 1999

- 37 *Simetría oculta*  
Miguel Ángel Pérez Angón
- 43 *Femtoquímica*  
Barbara Gordillo
- 49 *Biología celular en el Premio Nobel*  
Fernando Navarro García, Manuel Hernández y Mireya de la Garza

#### NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 53 *Gabriel López Castro y Francisco J. Flores Murrieta, Premios de la AMC 1999*  
Jorge A. Torres Muñoz, jefe del Departamento de Control Automático

#### MATICES

- 57 *¿Quién es Martinus Veltman?*  
Lorenzo Díaz Cruz

#### LIBROS Y REVISTAS

- 60 *The Sun, the genome and the internet de F.J. Dyson*  
Miguel Ángel Pérez Angón

**Portada:** *Cañada de Metlac* (detalle, 1897), óleo sobre tela de José María Velasco (1840-1912).

*Avance y Perspectiva*, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación bimestral. El número correspondiente a enero-febrero de 2000, volumen 19, se terminó de imprimir en diciembre de 1999. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. *Editor responsable:* Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán, apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de Título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica; Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Grupo Printer Pack, S.A. de C.V., Av. Azcapotzalco 224, Col. Ángel Zimbrón, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero del 2000 página 48. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 120.00

Huacalxochill.

Epitoton Teamaxth.



## XXI International Congress of History of Science

8-14 July, 2001  
Mexico City Mexico

General Theme  
Science and Cultural Diversity

An g i n a



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

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

Further Information:  
XXI International Congress of History of Science  
Avenida Dr. Vértiz 724,  
05020 México City Mexico

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

Fax: (525) 519 98 10  
e-mail: [xxiichs@servidor.unam.mx](mailto:xxiichs@servidor.unam.mx)  
Congress Web site: [www.snhct.org](http://www.snhct.org)

# El Primer Congreso Científico Mexicano y la reflexión sobre educación

**Josefina Granja Castro**

## Tiempos revolucionarios

Porfirio Parra en un ensayo clásico titulado "La ciencia en México" describía, a principios del siglo XX, el estado de la ciencia en nuestro país con las siguientes palabras: "Comenzaremos por hacer dos declaraciones, penosa la una, satisfactoria y halagüeña la otra; la primera es que los estímulos del trabajo científico son deficientes en México, y la segunda que, a pesar de esta deficiencia, nuestro nivel científico se ha mantenido a altura conveniente, de suerte que en los principales ramos de la ciencia ha habido siempre, entre nosotros, alguna persona, y en muchos de ellos no pocas, que sean notabilidades en el ramo y que puedan competir con los sabios de Europa. Esta deficiencia en los medios de estímulo ha dependido principalmente de las agitaciones continuas y de la falta de paz, que hasta hace poco más de veinte años habían impedido que los elementos de riqueza del país fueran convenientemente explotados, y que los particulares y el estado fomentaran la ciencia.... Nos es satisfactorio consignar que en tiempo relativamente corto que lleva México de gozar de las ventajas de la paz, los diferentes elementos del trabajo científico han sido atendidos y están en camino de serlo más... nosotros esperamos que la ilustración del gobierno actual, y los recursos cada vez mayores con que cuenta, le induzcan a organizar de un modo más sistemático la protección que todo Gobierno debe al adelanto científico"<sup>1</sup>.

El escenario político al que hacía referencia Parra en su famoso ensayo de 1902 dejaría de existir poco tiempo

---

La Dra. Josefina Granja Castro es investigadora titular del Departamento de Investigaciones Educativas del Cinvestav. Dirección electrónica: jgranja@mail.cinvestav.mx

después. En el transcurso de los primeros años del siglo XX el escenario político mexicano experimentaría los síntomas de profundas transformaciones sociales, políticas y culturales, que darían forma al movimiento de la Revolución Mexicana. Es precisamente en ese convulso periodo cuando tiene lugar el significativo acontecimiento para la historia de la ciencia en México representado en la realización del Primer Congreso Científico Mexicano.

El año de 1912 se cierra en nuestro país con la celebración de la primera reunión científica de carácter nacional en el mes diciembre, teniendo como sede diversos escenarios públicos de la ciudad de México: el Palacio de Bellas Artes, el Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología, el Anfiteatro de la Escuela Nacional Preparatoria. Una cuota de inscripción de \$5.00 para congresistas y \$2.00 para sus familiares daba oportunidad de participar en las sesiones a celebrarse del 9 al 14 de diciembre así como a las diversas exposiciones, muestras, visitas a museos, conciertos y convivios que formaban parte de las actividades sociales del congreso.

Tan solo un par de meses después, en febrero de 1913, la capital se vería envuelta en el caótico y traumante episodio del cuartelazo huertista y los asesinatos de Madero y Pino Suárez. "Es eminentemente consolador el acontecimiento que hoy nos reúne..." —expresaba Madero en el discurso inaugural del Primer Congreso— "... porque nos viene a demostrar que la nación mexicana tiene gran vitalidad y que está decidida a seguir por el camino ascendente..." y concluía "...no son vanas las palabras que predicán que la libertad es fecunda para las artes y las ciencias, lo mismo que para todas las manifestaciones de vida de los pueblos, y la prueba es que apenas se inicia esta nueva era de libertad para la República, cuando ya celebramos el magno acontecimiento de ver reunido en un congreso científico todo lo más selecto de la intelectualidad mexicana..."<sup>2</sup>

Además del contexto político en que tuvo lugar, otros motivos también hacen significativo ese acontecimiento. De manera inmediata resalta su condición como primer evento de alcance nacional dedicado a presentar y discutir trabajos científicos en diversas ramas del conocimiento. Sus antecedentes más próximos fueron tres concursos científicos organizados en la última década del siglo XIX por corporaciones científicas prestigias,



con el fin de estimular el trabajo en las diversas áreas de conocimiento. En opinión de los propios organizadores del Primer Congreso, éste llegaba un poco tarde; se habían adelantado a él diversas reuniones de ese tipo en disciplinas sólidamente establecidas como geología, medicina, meteorología e incluso en ramas del conocimiento como educación y pedagogía que todavía discutían su estatuto de científicidad; igualmente nuestro país había sido sede de reuniones internacionales como los congresos de americanistas.

Por otra parte, en el proceso de desarrollo de la ciencia en México el Primer Congreso Científico Mexicano representa un punto en la transición entre la ciencia decimonónica y la ciencia contemporánea que empieza a mostrar los signos de un rebasamiento de los cánones del pensamiento positivista que, en la segunda mitad del siglo XIX, dieron el principal impulso a su desarrollo

tanto al proveer de orientaciones filosóficas, epistemológicas y metodológicas específicas como al generar una amplia base institucional (sociedades científicas y asociaciones) orientada a promover el trabajo científico y difundirlo a través de publicaciones periódicas y presentaciones públicas.

El propio Congreso de 1912 fue organizado por una de las instituciones más prestigiadas nacidas al abrigo de los estímulos del positivismo mexicano, la Sociedad Científica Antonio Alzate, fundada en 1884 por un grupo de estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria -casa del positivismo comtiano injertado en México por Gabino Barrera- entre los que se encontraban Rafael Aguilar y Santillán, Rafael Cicero y G. Beltrán y Puga, apoyados por científicos y profesionistas ligados a la propia Escuela Nacional Preparatoria como Alfonso Herrera y Alfonso Pruneda.

Sin embargo, al revisar en las Actas y Memorias del Primer Congreso la lista de los ponentes y asistentes al Congreso se aprecia de inmediato una escasa participación de figuras destacadas de la generación anterior y la presencia de nombres nuevos, algunos de ellos miembros de tiempo atrás de la Sociedad Alzate. Entre los ponentes participantes en el Primer Congreso Científico Mexicano había uno que otro "hijo de la Preparatoria" como Miguel Otero y José Terrés en ciencias médicas, Jerónimo López de Llergo y Agustín Aragón en exactas<sup>3</sup>.

El grueso de los congresistas formaban un conjunto novedoso y heterogéneo en cuanto a profesión, ocupación y temas disciplinarios. El grupo más numeroso era el de los ingenieros con 89 participantes entre los que había de todas las especialidades: civiles, agrónomos, geólogos y mineros; le seguían los médicos (29), abogados (19) y químicos (5). Destacó también la participación de profesores normalistas, si bien muchos de los otros profesionistas ejercían complementariamente actividades docentes en su disciplina en diferentes centros de enseñanza de la capital y la provincia. Las Actas y Memorias no registran la participación de biólogos y sólo aparece un entomólogo. Otro ángulo de la heterogeneidad del Primer Congreso se advierte en los sectores sociales representados: no sólo tuvieron participación los que de manera directa se dedicaban a la actividad científica; también hubo concurrencia de hombres de negocios, empresarios, funcionarios públicos de todos los rangos, incluso hacendados. La asistencia femenina

también fue significativa tanto en exposición de trabajos como entre el público en general. Sin duda esta amplia capacidad de interpelación y la pluralidad lograda en la asistencia fue propiciada por la orientación que la Sociedad Alzate quiso dar al Congreso, acorde con los "nuevos aires de libertad" que parecían correr en el país, lanzando una convocatoria dirigida en general "a todas las personas que cultiven la ciencia, residentes en la República Mexicana"<sup>4</sup>.

## Disciplinas, temáticas y debates

En términos de áreas del conocimiento, el Primer Congreso Científico Mexicano se organizó en 8 secciones bajo la siguiente clasificación:

- (1) Filosofía, abarcando psicología, lógica y moral.
- (2) Sociología que incluía estadística, economía política, derecho y administración, enseñanza y educación.
- (3) Lingüística y filología.
- (4) Ciencias matemáticas: matemáticas puras, astronomía y geodesia.
- (5) Ciencias físicas: física, química, físico-química.
- (6) Ciencias naturales: mineralogía, petrografía, geología, paleontología, meteorología y magnetismo terrestre, botánica, zoología, antropología y etnología, biología y plasmogénesis.
- (7) Ciencias aplicadas: medicina y farmacia, minería, agricultura, ingeniería civil, militar y naval, arquitectura.
- (8) Geografía, historia y arqueología.

En la organización propuesta para el congreso no se ve plasmada la estructura positivista de clasificación del conocimiento que comenzaba con los fenómenos más generales y abstractos (extensión, número, movimiento), representados en las matemáticas, y terminaba en los fenómenos sociales después de haber pasado por los fenómenos físicos, químicos y biológicos, en una



jerarquía que permitía pasar de los grados inferiores a los superiores mediante el principio de generalidad decreciente y complicación en aumento.

Las disciplinas con mayor número de trabajos inscritos fueron medicina, antropología y educación. A nivel de las temáticas se advierte una amplia diversidad tanto en lo que corresponde a tipo de problemas abordados como al tratamiento analítico desarrollado en su exposición. Los 92 trabajos que en total se presentaron constituyen un mosaico donde lo mismo tenían cabida temas de actualidad y relevancia nacional: "Causas de la mortalidad en los niños de México y maneras de combatirla", "Dificultades de la profilaxis de la lepra en México", "Enfermedades más frecuentes en los alumnos de los establecimientos de educación primaria del D.F.", "Higiene pública"; temas con una alta especialización disciplinaria: "Estudio de un caso de rinoscleroma", «Estudios experimentales de Plasmogenia», "Investigación matemática de las variaciones del tiempo de tratamiento de diferentes partículas en una serie de tanques de cianuración", "Los parásitos fanerogámicos de México", "Las mutilaciones dentales entre los antiguos

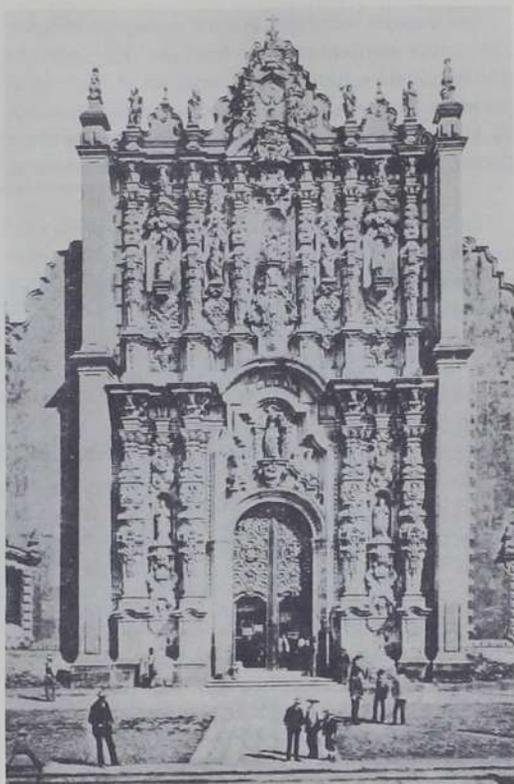
mayas"; temas de cultura general: "El valor científico de las ideas", "Cómo y por qué debe estudiarse la Arqueología en México", "La Astronomía y la ciencia en general", "Formación de las lenguas indígenas del territorio mexicano"; temas técnicos y de aplicación: "Descripción de un aparato dosificador para anestesia por cloroformo, éter, etc.", "Fórmulas de aplicación en la construcción del cemento armado. Contribución a la vulgarización del sistema en México", "La aplicación de la nomografía en la mecánica de las construcciones"; e incluso temas raros y curiosos: "La filosofía hierática en el primer versículo del Génesis", "Determinación del valor de la aceleración de la gravedad en Tacubaya", "Las heridas del estómago y la policía", "Los sincronismos prehistóricos y la morfología comparada de la industria de la piedra", "Formación de las voces españolas de origen sánscrito, fundándose en el valor de las letras de los alfabetos".

En los temas tratados, los problemas planteados y las discusiones sostenidas tenemos una ventana para asomarnos al mundo de la ciencia mexicana a inicios del siglo: ¿qué tipo de problemas ocupaban la atención

y el interés de los científicos mexicanos?, ¿de qué maneras concebían el papel de la ciencia en la sociedad?, ¿qué compromiso o responsabilidad tocaba a ellos en esa relación de la ciencia con la sociedad? Al revisar las actas de debates y memorias del congreso se puede lograr una aproximación a ese mundo.

Los temas relacionados con salud pública en los que se planteaban problemas específicos y estudios de caso encabezaban la jerarquía de intereses. Es notable que la mayoría de estos temas generaban poca controversia y mucha participación de naturaleza propositiva.

Tal fue el caso del trabajo "Observación de un caso de sífilis transmitida por la vacuna humana" presentado por los doctores Antonio Cornillón (médico cirujano) y Joseph Girard (doctor en medicina, Instituto Bacteriológico de París). En él se documentaban los problemas de "sífilis vacunal" existentes en México asociados al uso de vacunas "humanizadas" en lugar de las de origen animal. El trabajo presentado, además de documentar la adquisición de sífilis, hacía enfáticas advertencias sobre las evidentes "insuficiencias" de la vacuna "humanizada" para conferir inmunidad contra enfermedades como la viruela: "la inmunidad conferida por la vacuna humanizada no es definitiva como se ha sostenido por tanto tiempo en México, sino que es sólo temporal como ha sido demostrado en muchas ocasiones en nuestras sociedades médicas; es decir, que la observación imparcial ha demostrado que los hechos pasan aquí en México como en cualquier otra parte del mundo; que es fuerza que adoptemos como en todas partes la vacuna animal en lugar de la humanizada; pues por persistir en el uso de ésta, hemos merecido que Metchnikoff, en un congreso internacional de medicina, se asombrara de que en esta materia el Cambodge<sup>5</sup> estuviera más adelantado que nosotros"<sup>6</sup>. "Si en México no se obtienen, como en el resto del mundo, éxitos con la vacuna animal, en el sentido que ésta con relativa frecuencia no prende, es debido a que no habiendo aquí establecimiento para su preparación, la que se usa es importada y por tanto muy a menudo ya vieja. Los primeros experimentos de Jenner fueron hechos con el *cow-pox*, dando magníficos resultados; si después se acudió a la vacuna humanizada fue debido a que en aquellos tiempos no se sabía producir artificialmente el *cow-pox*; pero hoy que se obtiene éste con gran facilidad, ninguna razón hay para persistir en el uso de la vacuna humanizada"<sup>7</sup>.



En la misma línea de intereses, el trabajo "Dificultades de la profilaxis de la lepra en México", presentado por el Dr. Ricardo Cicero, médico cirujano y profesor de la Escuela Nacional de Medicina, mereció amplia atención ya que ponía sobre la mesa de discusiones el problema del tratamiento de las enfermedades contagiosas. En cuanto a la profilaxis de la lepra, los tópicos tratados iban desde las experiencias de inoculación exitosas y fracasadas en diversos países hasta las "medidas rigurosas que se observaron en la Edad Media en Europa logrando la extinción de la lepra". Para el control de la enfermedad en el país se propusieron, a falta de nuevas tendencias en el tratamiento de la enfermedad, las acciones acostumbradas de creación de zonas de reclusión, "leprosarios marítimos" en el Golfo de México y el Océano Pacífico o, en su defecto, "leproserías terrestres, cerradas, lejos de los centros poblados donde los leproso puedan vivir con entera libertad y ganarse su vida sin más taxativa que la de no dedicarse a industrias referentes a la alimentación o al vestido"<sup>8</sup>.

Los trabajos sobre educación y pedagogía también aportaron elementos para analizar los urgentes problemas de salud pública como en el caso de la ponencia: "Enfermedades más frecuentes de los alumnos de los establecimientos de educación primaria en el Distrito Federal", sobre la que volveremos más adelante.

En otra línea de intereses científicos resalta la atención que mereció la exposición del trabajo "Estudios experimentales de Plasmogenia" por el profesor Alfonso L. Herrera, vicepresidente de la Sociedad Alzate, farmacéutico y profesor de Biología en la Escuela Normal para Maestros. El autor —según consta en las Memorias— era conocido por sus "delicadísimas y sagaces investigaciones fisico-químicas con el noble propósito de sorprender ese lazo de unión que se extiende entre el mundo inorgánico y el orgánico; trabajos que se han denominado Plasmogenia y que pretenden fundar una nueva ciencia y son conocidos y estimados mundialmente"<sup>9</sup>.

El trabajo expuesto por Herrera dio lugar a una discusión iniciada por el Dr. Miguel Otero, quien había preparado con tal fin una intervención titulada "Sucinto panegírico de la obra científica de Pauster". La polémica se centró en varias cuestiones: por un lado se discutió en torno a la posibilidad de las síntesis de sustancias orgánicas y los resultados exitosos que científicos de otros países habían tenido al respecto; de manera paralela se discurría sobre la obra de Pasteur y si el sabio había o no conocido los "trabajos de plasmogenia, las síntesis de albúminas y de otras sustancias orgánicas logradas por Fisher y otros científicos"<sup>10</sup>, cuestiones éstas que desembocaban en el problema de la generación espontánea que se veía relacionada con la plasmogenia entendida como "creación artificial de células". Los términos con que se da por concluida esta discusión son ilustrativos del tipo de representaciones que los científicos mexicanos mantenían en ese momento al respecto: "El problema del origen de la vida queda en pie; no hay sino dos hipótesis admisibles: el milagro o la generación espontánea"<sup>11</sup>.

## Trabajos sobre educación

Los temas relacionados con la educación y el estado general de la enseñanza en el país estuvieron entre los

que merecieron mayor atención y generaron intercambios de opiniones, consideraciones favorables en torno a la importancia de tales asuntos así como discusiones representativas de las diversas orientaciones respecto a cómo y para qué educar, cuestiones vigentes en aquella época.

La relevancia de la presencia de los temas sobre educación en el Congreso Científico de 1912 se aprecia mejor al caracterizar la situación de la pedagogía como reflexión sistemática en torno a las cuestiones educativas en México a finales del siglo XIX y principios del XX. Desde el ángulo epistemológico la pedagogía se encontraba envuelta en una intensa polémica que venía desde el último cuarto del siglo XIX en torno a si era o no una ciencia; desde el ángulo filosófico se examinaban los valores, criterios y fines subyacentes a la educación, las diferencias entre educación e instrucción así como el alcance de una y otra; desde el ángulo social y político los problemas de la educación eran frecuentemente tratados y analizados en cuanto a las orientaciones prácticas y las medidas que deberían instrumentarse para su mejoramiento.

Este último ángulo impulsó la presencia de la reflexión educativa en el orden público propiciando debates que ampliaban el repertorio de tópicos y problemáticas a considerar y enriquecían los modos de abordarlos. Tal fue el caso de los diversos congresos pedagógicos que se celebraron en el transcurso de las tres últimas décadas del siglo XIX: el Congreso Pedagógico Veracruzano en 1873, el Congreso Higiénico Pedagógico de 1882, el primer y segundo Congresos Pedagógicos de 1889 y 1890, también conocidos como Congresos Nacionales de Instrucción Pública. Si bien tenían una orientación fundamentalmente instrumental y pragmática destinada a proponer medidas para resolver problemas, abrían espacios para examinar cuestiones de diverso orden: conceptos pedagógicos, métodos de enseñanza, prácticas didácticas, secuencias en la enseñanza de los contenidos y formas de organización del trabajo escolar.

Así pues, desde antes de la celebración del congreso científico de 1912, la reflexión educativa había dado de manera aislada pasos importantes de consolidación teniendo como continente disciplinario la pedagogía. La presencia de trabajos sobre educación y pedagogía en el Primer Congreso Científico Mexicano representa para



ella un momento legitimante como ámbito de conocimientos en el concierto de las diversas disciplinas, con igual *status* y relevancia que las otras: la reflexión educativa estaba a la altura de cualquier otra disciplina y tenía, por tanto, sitio en un congreso científico nacional.

De los doce trabajos presentados sobre temas de educación, los que se examinaron con mayor cuidado fueron los referidos a educación indígena, higiene en los planteles escolares y combate al analfabetismo a través de la enseñanza rudimentaria en México; problemas todos ellos que reflejaban algunas de las preocupaciones nacionales en materia de educación y formaban parte del acervo de intelección con que la sociedad mexicana describía sus problemas educativos.

"La educación indígena, su programa y su desarrollo", presentado por el Prof. Manuel Velázquez Andrade, profesor normalista e inspector de la Dirección General de Escuelas Primarias, puso en el tapete de discusión el problema del atraso educativo y cultural de las poblaciones indígenas analizando sus causas posibles. En general las concepciones en torno al atraso de los indios se agrupaban en dos tipos de argumentos que por cierto no eran novedosos: por una parte sus

condiciones de vida, "exceso de trabajo a que se les somete", y la "falta de alimento", y por otro influencias ideológicas como la religión, que en opinión de unos eran claramente perniciosas y en la de otros "les servía para su perfeccionamiento moral". Si se lleva el problema más allá de estos lugares comunes, encontramos una argumentación de otro orden según la cual la causa por la que el indio no ha progresado es el idioma castellano "rípido y poco agradable a su oído". En el marco de las discusiones del Congreso este argumento no se desarrolló en todas sus implicaciones; sin embargo, es ya significativo encontrarlo formulado aunque de manera incipiente e inexacta desde el punto de vista actual.

Otro trabajo relacionado con la educación indígena llevaba por título "Misiones indias. Obra de propaganda y de enseñanza para los indios". Su autora era la Sra. Juana Roux, delegada general de la Alianza Francesa en México, una persona sin antecedentes ni trayectoria en el tema que, sin embargo, generó una importante discusión e incluso dio materia para una recomendación sobre el particular de la enseñanza indígena. El trabajo planteaba el problema de la necesidad de mejorar la educación y "la cultura" de los indios y sugería para

lograrlo la organización de misiones por medios laicos. La propuesta de la autora dio lugar a poca controversia, pues de manera unánime se aceptaba la urgente necesidad de combatir la "incultura rural", pero fue materia de numerosos comentarios entre ellos uno consistió en una comparación con experiencias de educación indígena en Brasil. En el transcurso de las reflexiones sobre este problema se derivó, de manera tangencial, a un asunto potencialmente interesante pero que no llegó a cobrar relieve, referido a si los indios constituían una raza o formaban una clase. Por el contenido de los argumentos expuestos a favor y en contra de una u otra concepción, se aprecia que en la comprensión prevaleciente entonces clase y raza eran categorías excluyentes.

Entre los estudios sobre problemas nacionales de salud pública se presentó el trabajo "Enfermedades más frecuentes de los alumnos de los establecimientos de educación primaria del Distrito Federal" por el Dr. Manuel Uribe y Troncoso, Jefe del Servicio de Higiene de las escuelas del D.F. y profesor de higiene escolar en la Escuela Normal para Maestros. En él se analizaba "la grande importancia que tiene la inspección escolar para la educación física, intelectual y moral de los estudiantes". Además de estos fines, la inspección escolar tenía cualidades que la hacían apta como recurso para diagnosticar y prevenir: "la inspección médica escolar no sólo sirve para averiguar el estado de salud de los educandos sino también para poner a los edificios escolares en las mejores condiciones, prevenir el desarrollo de las enfermedades infecciosas y vigilar el crecimiento de los educandos"<sup>12</sup>. Se consideró de tal relevancia el tema que de él derivó la recomendación de extender a toda la República la práctica de la inspección escolar.

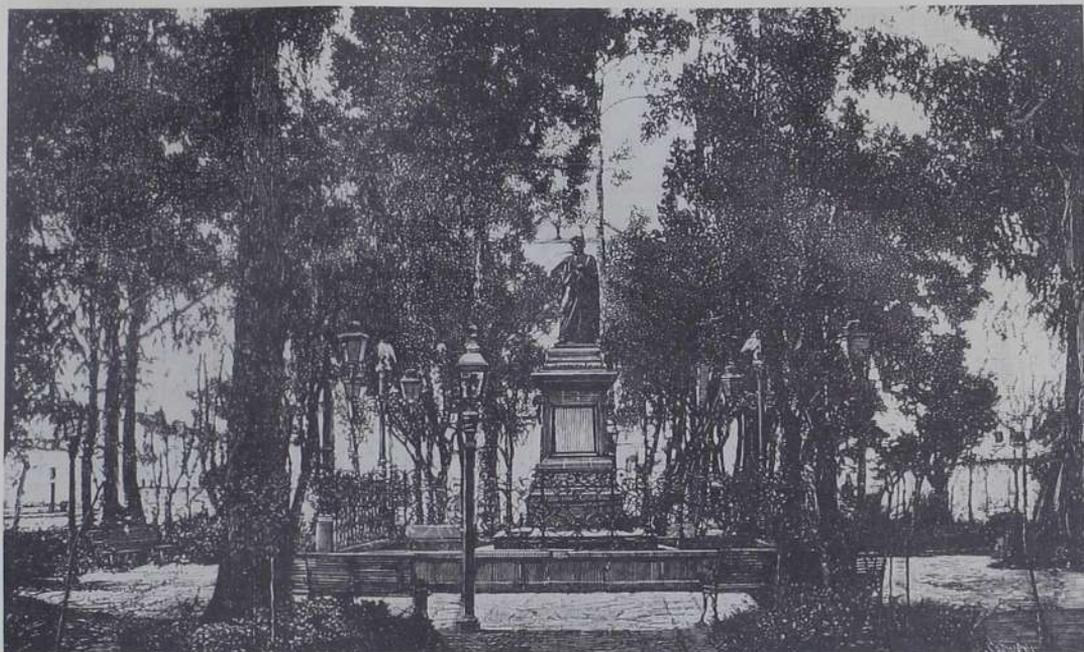
"La instrucción rudimentaria en la República" fue presentado por el profesor Gregorio Torres Quintero, conocido pensador en el ámbito pedagógico por sus numerosas obras de análisis sobre cuestiones de enseñanza y organización escolar. El trabajo ofrecía un amplio análisis sobre las escuelas rudimentarias, dedicadas a la enseñanza de las habilidades elementales de lenguaje, escritura, lectura y aritmética dirigidas a la población indígena y analfabeta en general. Quintero exponía en su trabajo diversos aspectos relacionados con las escuelas rudimentarias: características de la población a quien se ofrece "masa analfabeta y heterogeneidad étno-

lingüística de la población atendida", "defectos técnicos del programa" e insuficiencia del presupuesto y los recursos financieros. Luego de una detallada y bien documentada presentación estadística de la situación del analfabetismo en México a principios del siglo y de un análisis minucioso de las dificultades intrínsecas a la enseñanza de grupos indígenas de diversas lenguas y etnias, concluye que el verdadero problema es la escasez de recursos económicos. Esta lógica de interpretación y análisis se antoja contradictoria al pomenorizado recuento que el propio Quintero ofrece sobre los aspectos implicados en la difícil tarea de atender a la población analfabeta del país, heterogénea y diseminada en regiones aisladas. Son relevantes, en el contexto de su época, las aportaciones que hace en este trabajo (y otros) para un conocimiento más profundo y una utilización más precisa de la información estadística; por ejemplo, descomponer las cifras globales en datos agrupados conforme a criterios específicos pues "las cifras de analfabetismo varían según las edades que se toman en consideración", por lo que debería trabajarse sobre la base de clasificaciones de la población según grupos de edad, asunto éste que también representaba problemas porque apenas empezaban a gestarse acuerdos colectivos sobre cómo clasificar a la población por grupos de edad para fines de procesos educativos.

El trabajo de Quintero es un brillante ejemplo de racionalidad híbrida donde se articulan argumentaciones sólidas, bien documentadas y convincentes con supuestos de dudosa validez y poco arraigo en la comunidad de especialistas. El mejor ejemplo de ello lo tenemos en la trama interpretativa que Quintero desarrolla para sostener un argumento de gran impacto social, político, cultural y educativo: "los indios no son la causa del analfabetismo que nos abruma... la causa de nuestro atraso debe hallarse en otra parte..." al cual llega pasando por aseveraciones del tipo "las lenguas indígenas tienden a desaparecer", "no es una gran dificultad enseñar el español a los indios"<sup>13</sup>.

## Los "votos", el "progreso" y el futuro de la ciencia en el país

En el informe general leído en la sesión de clausura por Alfonso Pruneda, presidente del Congreso, se hacía énfasis en "el carácter propiamente nacional" que éste



había tenido ya que la mayor parte de los trabajos presentados se relacionaban con “problemas propios de nuestro medio o íntimamente ligados a nuestras especiales condiciones” quedando con ello establecido que “estas asambleas deben servir especialmente para el estudio de las cuestiones que tienen más interés para México”<sup>14</sup>. En esa perspectiva de hacer de la ciencia un conocimiento útil a las necesidades sociales resultaba natural concluir el Congreso emitiendo una serie de “votos”, como le llamaron a las diversas recomendaciones emanadas de los trabajos cuyos temas se consideraban de mayor trascendencia para el progreso del país. Los votos fueron dados a conocer al gobierno, las autoridades sectoriales y al público en general y se agrupaban en dos rubros: progreso nacional y fomento de la ciencia.

(a) Votos para el progreso nacional:

- substituir la vacuna humana por vacuna animal;
- mejoramiento en la atención y control de los enfermos de lepra mediante un confinamiento adecuado;
- generalizar la inspección médica de los planteles escolares en todo el país;

- enseñanza de puericultura en las escuelas femeninas para corregir tendencias de mortalidad infantil;
- formar “misioneros laicos” para atender el problema de la “incultura rural”.

(b) Votos para el fomento de la ciencia:

- poner a disposición de los investigadores llamados “libres” los laboratorios oficiales y que la Universidad Nacional suministre auxilios pecuniarios y recompensas a esos investigadores;
- solicitar a la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes la instalación del Instituto Bibliográfico Mexicano, habida cuenta de la importancia de las bibliografías para el desarrollo de la ciencia;
- que las sociedades y asociaciones científicas tengan un edificio propio que las congregue y represente.

Parafraseando a Trabulse, el Primer Congreso Científico Mexicano constituyó un digno epílogo de los esfuerzos científicos de las décadas anteriores y claro indicio de que una nueva época se gestaba para la ciencia mexi-



cana<sup>15</sup>. En las palabras de clausura de Alfonso Pruneda quedó plasmado el espíritu de ese Congreso y el de una generación deseosa de dar a la ciencia un lugar en la esencia misma de México:

“... algunos creyeron que las condiciones lamentables por las que ha atravesado el país eran incompatibles con la reunión de un congreso científico. La Comisión Organizadora nunca compartió esa pesimista opinión. Por el contrario, creyendo que, sobre todo en estas tristes circunstancias deberían los mexicanos dar una muestra de cultura que repercutiera en el extranjero, no escatimó ningún esfuerzo que tendiera a la realización de la idea... El Congreso ha demostrado que no es un mito el amor a la ciencia en México; ha hecho ver que no son escasas las personas que la cultivan y ha permitido que se aborde el estudio de problemas muy importantes para nuestra nacionalidad. Esperemos que todas las reuniones posteriores ofrecerán aún mejores resultados... la semilla está echada; el terreno se presenta fecundo; que la planta que hemos sembrado con todo nuestro corazón y con toda nuestra voluntad, crezca lozana y vigorosa, y que en ella pueda abrigarse, algún día, confiada y serena, el águila magnífica de la ciencia mexicana”<sup>16</sup>.



## NOTAS

1. P. Parra, “La ciencia en México” en *México: su evolución social* (Litográfica de Salvat, México 1902) tomo I, Vol. 2, p. 461 y 463.
2. *Actas y Memorias del Primer Congreso Científico Mexicano*, Imprenta del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnología (México, 1913).
3. P. Parra, *idem*. p. 460.
4. *Actas y Memorias del Primer Congreso Científico Mexicano*, p. 7.
5. Se refiere a Camboya.
6. *Actas y Memorias* p. 49.
7. *ibidem*.
8. *idem*. p. 52.

9. *idem*. p. 38.

10. *idem*. p. 48.

11. *idem*. p. 49.

12. *idem*. p. 53.

13. *idem*. p. 223.

14. *idem*. p. 65.

15. E. Trábulse, *Historia de la ciencia en México* (FCE, México, 1983).

16. *Actas y Memorias*, p. 66.



# SILAFÆ III

III LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON HIGH ENERGY PHYSICS

Cartagena de Indias, Colombia, April 2-8, 2000

## Invited lectures:

- Collider physics  
Enrique Fernández, U.A. Barcelona
- String phenomenology  
Luis Ibáñez, U.A. Barcelona
- SUSY physics  
Gordon Kane, U. Michigan
- CP from SUSY  
Antonio Masiero, U. Perugia
- CP Violation  
Yosef Nir, Weizmann Inst.
- Machos  
Esteban Roulet, U. de Valencia
- Large N. field theory  
Jorge Russo, Imperial College
- Neutrino physics  
Andrei Smirnov, Inst. for Advanced Study
- Other neutrinos  
Joe W.F. Valle, U. Valencia

# Tioles, medio ambiente y cáncer

José Trujillo Ferrara

## Un oxidante barato

El medio ambiente que nos rodea es altamente oxidante, tanto, que uno de los oxidantes más barato es el aire, aunque no es común usarlo con propósitos de oxidación. El aire sin catalizador, sin irradiación, es capaz de transformar aldehídos a ácidos carboxílicos (autooxidación), anilinas a nitroderivados y acilofinas ( $\alpha$ -hidroxicetonas) a dicetonas. Cuando el aire se somete a radiación con luz ultravioleta las deshidrogenaciones benéficas pueden ocurrir en condiciones muy suaves<sup>1,2</sup>, los alcoholes se pueden transformar en aldehídos o cetonas, los tioles se convierten en disulfuros, los tioéteres a sulfóxidos y los sulfóxidos a sulfonas. El  $O_2$  que participa en estos procesos existe en dos estados: el oxígeno en estado fundamental que es el oxígeno triplete, con un par de electrones desapareados y es paramagnético ( $\uparrow^{\circ}O:O^{\circ}\uparrow$ ), y el oxígeno singulete también con un par de electrones desapareados con espín antiparalelo y es diamagnético ( $\downarrow^{\circ}O:O^{\circ}\uparrow$ ). Por supuesto, la reactividad de estos oxígenos ante cualquier molécula, y en particular con biomoléculas, es muy diferente para ambas especies.

El oxígeno singulete, que es el más reactivo, se forma por irradiación de oxígeno gaseoso con luz ultravioleta en presencia de sensibilizadores que absorben a una longitud de onda determinada; estos sensibilizadores pueden ser azul de metileno, clorofila, benzofenona, o rosa de bengala. El oxígeno singulete puede generar

---

El Dr. José Trujillo Ferrara es profesor de la Sección de Graduados y del Departamento de Bioquímica, Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Apartado Postal 42-161, México, D.F. 11340.

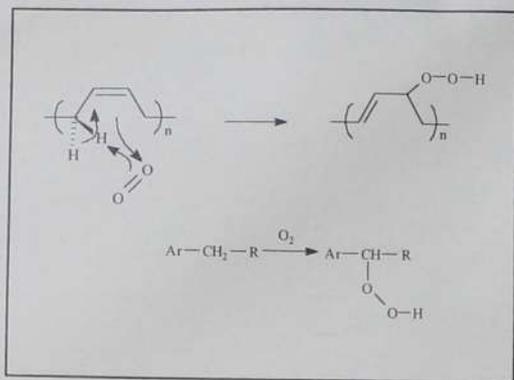


Figura 1. Reacción del oxígeno con ácidos grasos poliinsaturados.

endoperóxidos orgánicos y una de las principales reacciones del oxígeno singulete es la formación de endoperóxidos en posición  $\alpha$ - con respecto al doble enlace<sup>3</sup>, reacción fundamental en la interpretación de daño a membranas biológicas. Esta reacción se muestra en la figura 1 para la reacción del oxígeno con ácidos grasos poliinsaturados (linoléico, linolénico y araquidónico), que son componentes de membranas celulares. Esta reacción también es altamente favorecida en carbonos bencílicos de los aminoácidos aromáticos.

El mecanismo propuesto para la formación de hidroperóxidos orgánicos es una reacción pericíclica térmicamente permitida, tipo ene<sup>4</sup>. Al irradiar el agua, uno de sus electrones moleculares es liberado debido a la alta reactividad del oxígeno singulete. El agua como catión así generada se desintegra en varias formas, pero principalmente en  $^{\circ}\text{H}$  y  $^{\circ}\text{OH}$ ; este electrón solitario puede difundirse y eventualmente adicionarse al  $\text{O}_2$  disuelto en el agua y formar el anión superóxido ( $^{\circ}\text{O}_2^-$ ). Con ello se justifica el efecto adverso de las radiaciones al generar radicales libres utilizando agua u oxígeno como sustrato.

## Radicales buenos y malos

Los radicales libres en sistemas biológicos, quizás sin razón, podrían considerarse como perjudiciales. Con el descubrimiento en 1969 de la enzima superóxido dismutasa<sup>5</sup> (SOD), que cataliza la desproporción del  $^{\circ}\text{O}_2^-$ , a  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ , se planteó la posibilidad del "bueno y el

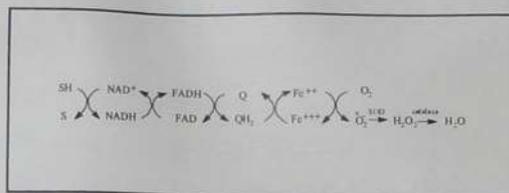


Figura 2. Reacciones en las que se transfieren electrones a una coenzima.

malo", en donde  $^{\circ}\text{O}_2^-$  es el perjudicial y la SOD la benéfica.

Sin embargo, en la actualidad, con el descubrimiento de que el macrófago tiene un sistema de formación y destrucción de iones superóxidos ( $^{\circ}\text{O}_2^-$ ) y que es la forma natural de destruir células extrañas y alteradas, cada vez es más evidente que los radicales libres y en particular el  $^{\circ}\text{O}_2^-$  tienen una función importante en los procesos de protección y homeostasis. Con el tiempo se han agregado otros ejemplos, como es el caso de la xantina oxidasa, enzima que cataliza la formación de ácido úrico y en forma concomitante  $\text{H}_2\text{O}_2$  que, aunque no es propiamente un radical libre, en la mayoría de los casos es formadora de radicales libres. Más aún en los procesos normales de obtención de ATP, en la cadena respiratoria acoplada a la fosforilación oxidativa, las enzimas que participan en este proceso, al final de la cadena generan radicales libres; es decir, rompen enlaces C-H de los sustratos reducidos que se incorporan al organismo como alimento o como fármacos. El oxígeno molecular en su estado fundamental (triplete), que participa en este proceso, es incapaz de efectuar este tipo de reacciones en las condiciones de los sistemas biológicos, ya que la reacción es endotérmica y no existe ninguna enzima en la célula, que catalice la reacción entre éste y el sustrato reducido. Por ello es indispensable la participación de las coenzimas sobre todo aquellas que transfieren un sólo electrón en donde el oxígeno es el último aceptor de electrones.

Para que tal transferencia de electrones tenga lugar, el sustrato reducido transfiere sus electrones en forma indirecta a una coenzima a través de una serie de reacciones como se muestra en la figura 2. Las coenzimas involucradas en este proceso son la nicotinadenil dinucleótido reducida (NADH), la correspondiente coenzima monofosfatada NADPH y la flavina reducida

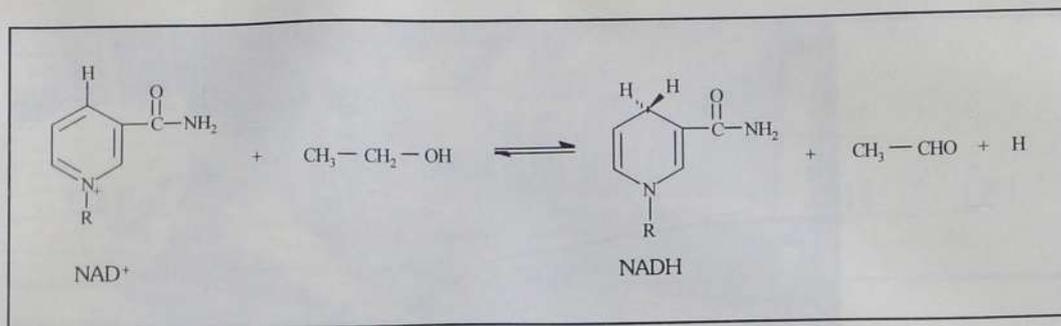


Figura 3. Proceso de óxido-reducción de la coenzima  $\text{NAD}^+$ .

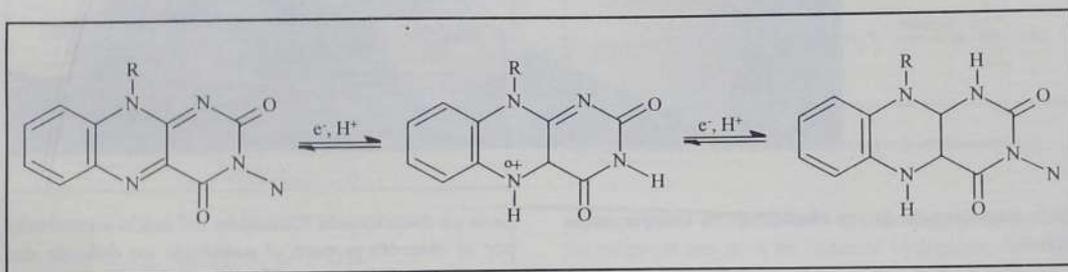


Figura 4. Proceso de transferencia de electrones del NADH al FAD.

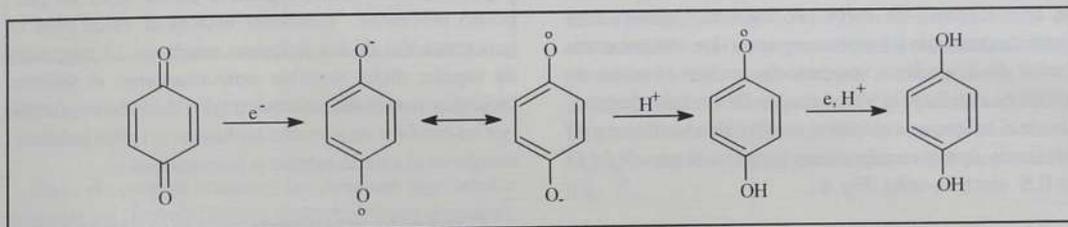


Figura 5. Formación del anión deslocalizado por resonancia.

(FADH). La oxidación de estas tres coenzimas por el oxígeno molecular no ocurre directamente sino por una serie de acarreadores que efectúan la transferencia de un solo electrón al oxígeno molecular (Fig. 2).

La coenzima  $\text{NAD}^+$  generalmente participa en los procesos de óxido-reducción por transferencia o aceptación de un par de electrones y los acepta o transfiere como hidruro, como se muestra para el caso particular de la reacción catalizada para la enzima alcohol deshidrogenasa en la figura 3. La coenzima  $\text{NAD}^+$ , por oxidación de los sustratos orgánicos, es transformada a

coenzima reducida (NADH) mediante reacciones catalizadas por flavoproteínas, (Fig. 2).

El proceso de transferencia de electrones del NADH al FAD puede ocurrir en un solo paso y, por consiguiente, la transferencia de un par de electrones, o la transferencia en dos pasos de un solo electrón como se esquematiza en la figura 4. La coenzima Q reducida (QH) también participa en la transferencia de un solo electrón (Fig. 5) mediante la formación del anión radical deslocalizado por resonancia, lo cual permite a las quinonas formar radicales libres, pero "bien comportados"; participa así



en la transferencia de un electrón en la cadena respiratoria.

La espectroscopía de espín electrónico ha sido contundente en la demostración de la transferencia de un solo electrón de estos procesos biológicos<sup>6</sup>. Las ferrosulfoproteínas y los citocromos son los componentes finales de la cadena respiratoria; ambas familias de proteínas catalizan la transferencia de un solo electrón, donde el oxígeno es el último aceptor de electrones y su diferencia de potencial es muy próxima al par  $O_2/H_2O$  de 0.8 electrón-volts (Fig. 6).

## Radicales libres y sistemas biológicos

Hasta hace poco tiempo los radicales libres se consideraban como los "malos" en los sistemas biológicos y en el medio ambiente, por lo que había que acabar con ellos. En la actualidad, se les concede el beneficio de la duda y se acepta que participan en los procesos de oxidorreducción y, en particular, en la eliminación de sustancias extrañas; por ejemplo, son bien conocidas las reacciones catalizadas por la citocromo oxidasa en donde participa el anión superóxido<sup>7</sup>, así como en la biotransformación de fármacos, además

de la ya mencionada formación del anión superóxido por el macrófago para el patrullaje en defensa del organismo. Por lo anterior, la tendencia actual es considerar a los radicales libres como una variable regulable; este sistema regulable puede tener un propósito inherente: mantener estable el valor para la concentración de los oxígenos reactivos. El propósito de regular dicha variable sería mantener el sistema biológico vivo, o sea, sobrevivir a los desafíos impuestos por los cambios en el medio ambiente; en otras palabras, mantener el estado estable u homeostasis.

El problema se manifiesta cuando se intenta asociar los mecanismos reguladores que operan para mantener la constancia de los oxígenos reactivos ( $^{\circ}O_2$ ,  $^{\circ}OOH$ ,  $H_2O_2$ ,  $^{\circ}OH$ ), tan indispensables para eliminar fármacos y obtener energía y a su vez, paradójicamente tan tóxicos. La fisiología nos enseña que las constantes fisiológicas sanguíneas (oxígeno, presión y glucosa) son variables reguladas cuidadosamente por los organismos. Una variable controlada es aquella que varía ampliamente cuando el sistema es perturbado y que puede mantenerse en determinado nivel indefinidamente; por ejemplo, el control de la ventilación pulmonar se efectúa con modificaciones rápidas con la finalidad de mantener constantes los volúmenes de oxígeno y bióxido de carbono sanguíneos.

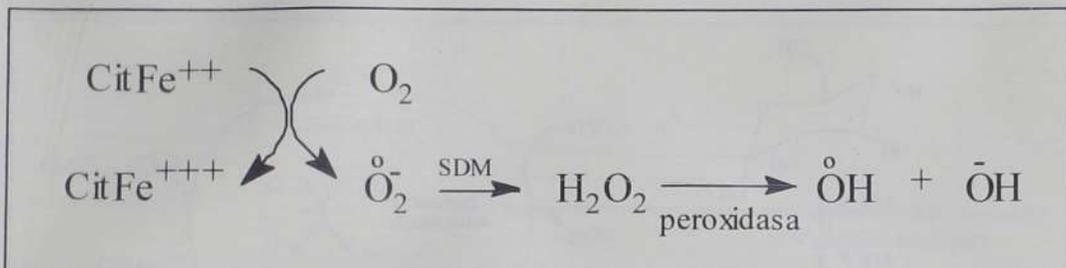


Figura 6. Transferencia de un electrón en las ferrosulfoproteínas y los citocromos.

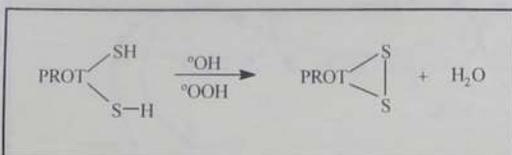


Figura 7. Mecanismo de formación de puentes disulfuro.

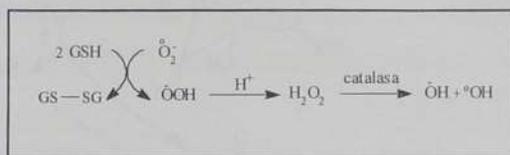


Figura 8. Transformación del glutatión en glutatión oxidado.

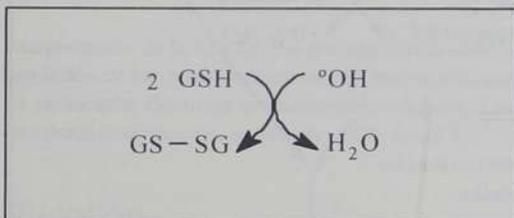


Figura 9. Formación de agua a partir de catalasa.

Bajo el contexto anterior, las variables reguladas y las variables controladas son diametralmente distintas<sup>8</sup>; la regulación y el control no se usan como sinónimos, el prototipo de regulación en sistemas biológicos es la temperatura por el control de la respiración, la circulación, la termogénesis, y la sudoración. La pregunta obligada en este contexto es si la concentración de los oxígenos reactivos es una variable regulable. ¿Qué otras variables cambian en forma importante para mantener la concentración de oxígenos reactivos en estado estacionario?

La secuencia de reacciones catalizadas por la superóxido dismutasa, cuyo sustrato es el anión superóxido y su producto agua oxigenada, así como la de la catalasa, cuyo sustrato es el agua oxigenada y su producto agua, y el alto número de recambio de estas dos

enzimas pone de manifiesto la importancia de regular los oxígenos reactivos en sistemas biológicos. Además de la actividad de las enzimas superóxido dismutasa y catalasa en el sistema nervioso central, en el riñón y otros órganos, existe una familia de proteínas denominadas metalotioninas que se caracterizan por tener un alto contenido de tioles provenientes de cisteína. Estas proteínas han mostrado ser muy eficientes en la inactivación de radicales hidroxilos ( $\bullet\text{OH}$ ) y peróxido ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). El mecanismo de acción sugerido de estas metalotioninas es por formación de puentes disulfuro vía radicales libres (Fig. 7).

Cabe señalar que estas metalotioninas son proteínas de 60 aminoácidos, de los cuales 20 son cisteína<sup>9</sup>. Su importancia biológica va más allá de la captura de los "malos" radicales libres; además son capaces de quelar metales pesados que participan en catálisis como Cu y Zn, así como metales altamente tóxicos como son Pb, Cd, Hg, y Au.

A pesar del atractivo y la importancia de las metalotioninas, no pueden cambiar su concentración a forma oxidada (disulfuro) o forma reducida (tiol) como para mantener el estado estacionario de los oxígenos reactivos. No se ha demostrado contundentemente su participación en la captura de  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ; en cambio, uno de los candidatos más probables con capacidad para

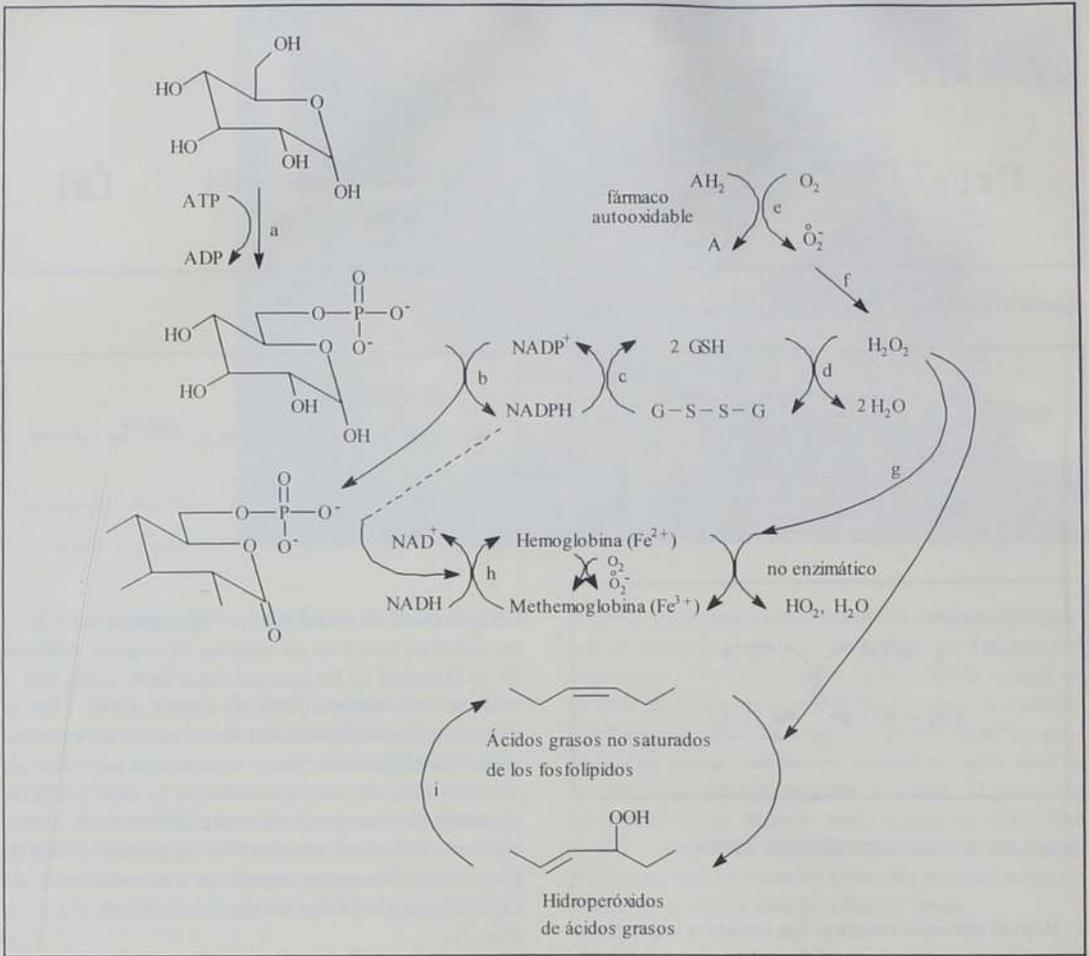


Figura 10. Regulación de oxígenos reactivos en el proceso de anemia falciforme. (a) Hexocinasa, (b) glucosa 6-fosfato deshidrogenasa, (c) glutatión reductasa, (d) catalasa, (e) citocromo oxidasa, (f) superóxido dismutasa, (g) no enzimática, (h) hemoglobina reductasa, (i) glutatión peroxidasa.

modificar su concentración en forma brusca y regular a los oxígenos reactivos es el glutatión (GSH), que puede transformarse en glutatión oxidado (GS-SG) vía radicales libres. Este tripéptido que contiene cisteína tiene varias funciones biológicas, así por ejemplo, mediante su oxidación, vía radicales libres, forma agua oxigenada (Fig. 8).

La catalasa transforma al agua oxigenada en anión hidroxilo y radical libre hidroxilo, y nuevamente estos radicales libres hidroxilo son atrapados por el glutatión

para formar agua (Fig. 9). Como se muestra en las reacciones anteriores, el glutatión protege a las células, en particular a los glóbulos rojos, de los procesos mediante los cuales las ferrohemo proteínas se mantienen en su estado  $\text{Fe}^{2+}$  con alta afinidad para el  $\text{O}_2$  en el interior del eritrocito. Esto es vital para nuestra salud: la anemia falciforme, causada por la alteración del gen que codifica para la biosíntesis de la enzima glucosa 6-fosfato deshidrogenasa que utiliza como coenzima el  $\text{NADP}^+$  y genera  $\text{NADPH}$  indispensable para mantener el glutatión en su forma reducida (GSH), dio luz para la

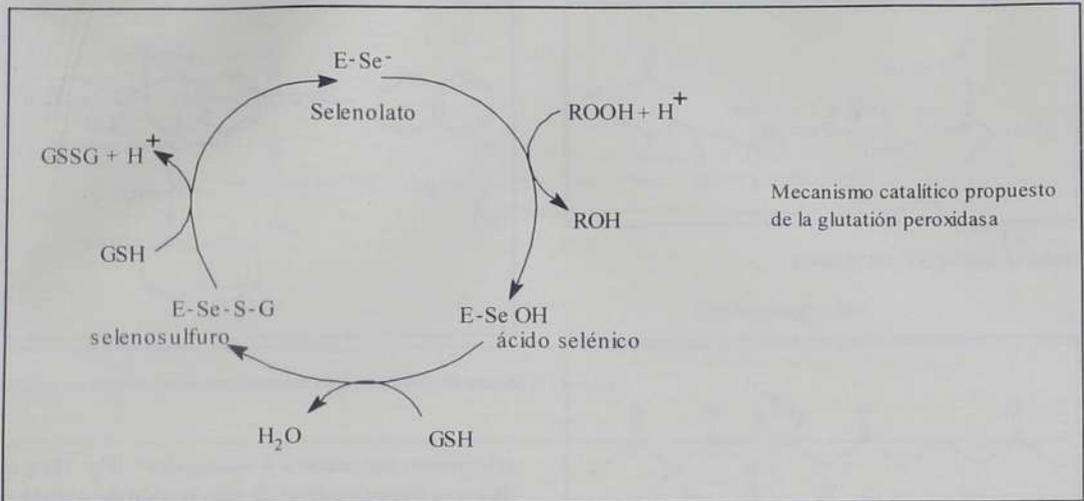


Figura 11. Formación del glutatión oxidado.

interpretación de la función del glutatión en la posible regulación de los oxígenos reactivos y en los mecanismos de protección del daño a membranas celulares. Las anteriores descripciones se esbozan en la figura 10.

## Glutatión

La carencia de la enzima glucosa 6-fosfato deshidrogenasa genera eritrocitos deficientes que los hace sensibles a fármacos y que al oxidarse forman superóxidos; otras deficiencias se han puesto de manifiesto por la disminución directa del glutatión, ya que por deficiencia en su biosíntesis o por el efecto de metales pesados, o por carbonilos  $\alpha,\beta$ -insaturados disminuye su concentración. Todas las perturbaciones anteriores se manifiestan por la excesiva producción de  $H_2O_2$  a partir del oxígeno. La corriente de pensamiento actual plantea que la función del glutatión y de las enzimas que catalizan las reacciones (a-i) es destruir el ion superóxido que se produce tanto en forma natural como por radiación, por administración de fármacos o por el metabolismo normal de sustratos reducidos.

El exceso de agua oxigenada puede lesionar a las células de varias maneras. Una de ellas es que provoque la transformación excesiva de hemoglobina ( $Fe^{++}$ ) a metahemoglobina ( $Fe^{+++}$ ); la metahemoglobina

formada se reduce por acción de la reductasa de la metahemoglobina, reacción dependiente de NADH; una fracción menor se reduce por una enzima semejante dependiente de NADPH. Una segunda forma de alteración por el  $H_2O_2$  resulta en el ataque a los dobles enlaces de los ácidos grasos oleico, linoleico, linolénico y araquidónico, componentes de las membranas celulares; los hidroperóxidos así formados pueden conducir al rompimiento de enlaces C-C con la concomitante ruptura de la membrana lipídica. Se sospecha que ésta es la causa principal de la anemia hemolítica producida por fármacos en individuos susceptibles y en los que no funciona la peroxidasa del glutatión que transforma los hidroperóxidos en sustancias no tóxicas (reacción i, Fig. 10).

En resumen, se puede deducir que el glutatión, presente en concentraciones elevadas en células animales ( $\sim 5mM$ )<sup>10</sup>, actúa como destoxicante mediante la regulación de la concentración de radicales libres endógenos y atrapando radicales libres exógenos para pasar en forma cíclica de reducido (GSH) a oxidado (GS-SG) como se muestra a continuación:

- (1)  $GSH + R^\circ \rightarrow RH + GS^\circ$
- (2)  $2GS^\circ \rightarrow GS-SG$
- (3)  $GSH + R-O-O^\circ \rightarrow GS-SG + H_2O + R-OH$

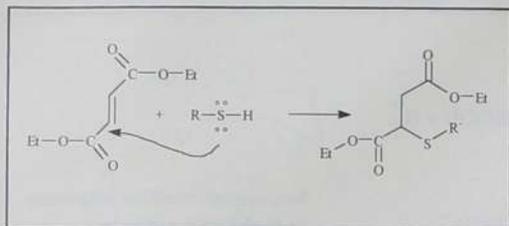


Figura 12. Destrucción del glutatión.

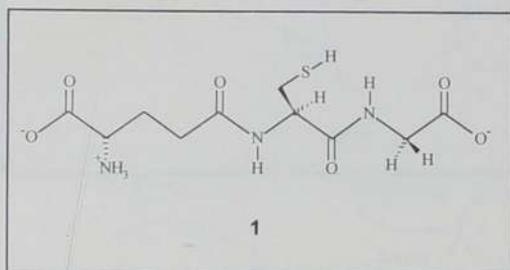


Figura 14. Tioles del glutatión.

La reacción (3) es clave para la detoxificación, al destruir  $H_2O_2$  y peróxidos orgánicos, y es catalizada por peroxidasa del glutatión o también por catalasa. La vida media del glutatión como radical libre  $R-S^\bullet$  es suficientemente grande como para dimerizarse y formar el glutatión oxidado. Las reacciones (1) y (2) son reacciones no catalizadas. Cuando se trata de peróxidos orgánicos la reacción (3) es catalizada por la enzima glutatión peroxidasa; esta enzima es especial porque tiene un átomo de selenio unido de manera covalente en su centro catalítico como análogo de cisteína; es decir, una cisteína con selenio en donde SH es substituido por selenio (Se). La forma selenolato de esta molécula reduce los peróxidos a alcoholes y el peróxido de hidrógeno a  $H_2O$ ; a su vez, el centro catalítico se oxida a ácido selénico (E-Se-OH), el glutatión reacciona con la forma ácida para formar el selenosulfuro y una segunda molécula de glutatión reducida regenera la forma activa de la enzima al reaccionar con el selenosulfuro formando el glutatión oxidado<sup>11</sup> (Fig. 11).

Por lo que respecta a otras reacciones del glutatión, éste se puede destruir en los sistemas biológicos por halogenuros de alquilo, tetracloruro, epóxidos y, parti-

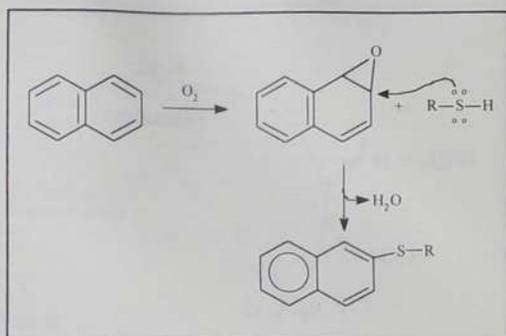


Figura 13. Eliminación de epóxidos.

cularmente, carbonilos  $\alpha$ - $\beta$ -insaturados<sup>12</sup> (Fig. 12) y es de suma importancia en la eliminación de epóxidos (Fig. 13).

## Apoptosis inducida

Lo anterior pone de manifiesto que si se concentran en el medio ambiente compuestos electrofílicos o metales pesados, éstos pueden abolir el glutatión endógeno y la concomitante elevación de oxígenos reactivos  $^{\circ}O_2$ ,  $^{\circ}OOH$ ,  $H_2O_2$ ,  $^{\circ}OH$ . Muy recientemente se ha asociado el glutatión **1** con la regulación del potencial transmembranal en la mitocondria y la regulación de este potencial con la muerte celular a plazo fijo (apoptosis)<sup>13</sup>; la posibilidad de que la célula sufra apoptosis está en parte dictaminada por el potencial de óxido-reducción, el cual está determinado por tioles del glutatión (Fig. 14) y tioles de las proteínas de la membrana mitocondrial, de tal forma que la mitocondria juega un papel central en la cascada apoptótica. Para demostrar lo anterior se usaron reactivos químicos monofuncionales que reaccionan con tioles membranales; de esta forma se comprobó que estos compuestos se comportan como inhibidores de la apoptosis; mientras que los compuestos químicos bifuncionales (electrófilos) reaccionan con tioles adyacentes provocando apertura de macroporos en la membrana mitocondrial y estos compuestos se comportaron como inductores de la apoptosis; así los compuestos electrofílicos reaccionan con tioles vecinales y disminuyen el potencial de membrana mitocondrial ( $\psi$ ), hecho que se ha demostrado antecede a la fragmentación de DNA y a la condensación de cromatina.

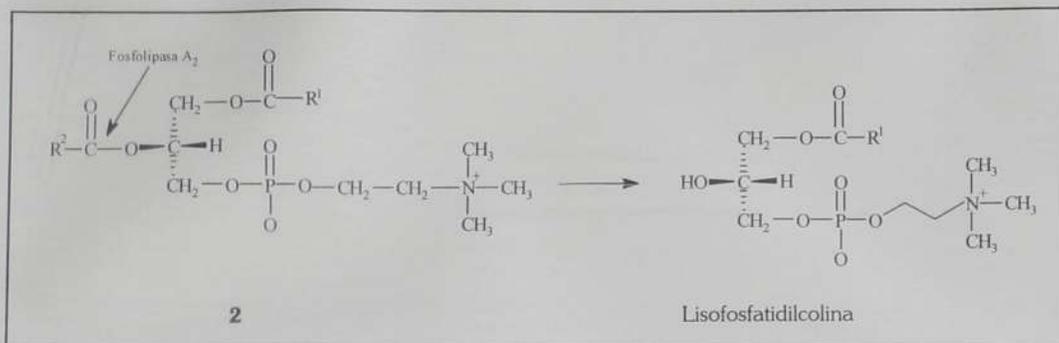


Figura 15. Sustrato de fosfatidilcolina (izquierda) y lisofosfatidilcolina (derecha).

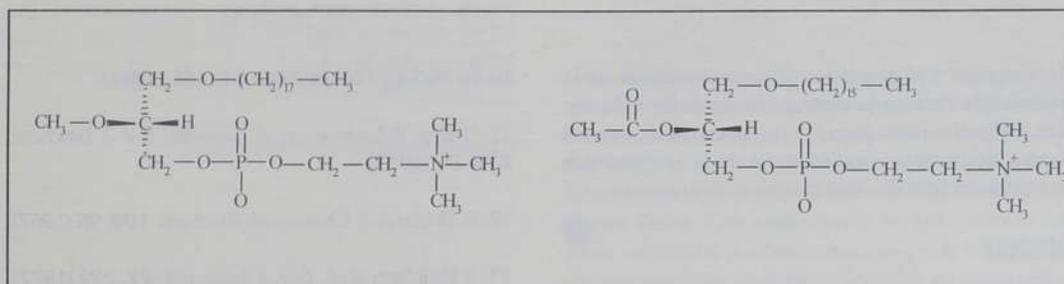


Figura 16. Fosfolípido inductor de apoptosis y antitumoral (izquierda). Factor activador de agregación plaquetaria (derecha).

Lo anterior sugiere la idea de diseñar fármacos que induzcan selectivamente apoptosis en las células tumorales, lo cual constituiría una terapia atractiva en el tratamiento del cáncer. Esta inducción selectiva puede ser producida a través de la inducción de la maquinaria apoptótica, en la célula tumoral. La inducción de daños en la célula cancerosa deben ser percibidos por ella para que responda con una señal de suicidio. Se ha sugerido que al hacer reaccionar tioles vecinales con electrófilos bifuncionales que conducen a la apertura de poros, llevan a la célula al equilibrio y por consiguiente a la muerte; o bien a que una respuesta deficiente al proceso apoptótico contribuya al desarrollo de tumores y a la aparición de células resistentes a radioinmunofarmacoterapia.

La pregunta obligada es entonces: ¿qué gen codifica para qué proteína, que a su vez transforme un sustrato que conduce a la señal para que la muerte celular programada o apoptosis tenga lugar? Algunos antecedentes

ayudan a efectuar reflexiones lógicas que nos permiten explicar hechos experimentales, observaciones que en su conjunto generan conclusiones; por ejemplo, la fosfolipasa  $A_2$  abundante en el veneno de serpiente utiliza como sustrato fosfatidilcolina **2** y produce lisofosfatidilcolina (Fig. 15).

La descontrolada actividad de fosfolipasa  $A_2$  conduce al equilibrio iónico, como si se abrieran poros y la célula se acercara al equilibrio iónico y muriera. Muy recientemente una sustancia sintética con relación estructural con el plasmalógeno (Fig. 16), ha mostrado tener alta actividad como inductor de apoptosis, particularmente en células cancerosas y menor efecto en tejido normal, lo que abre la posibilidad de inductores selectivos de apoptosis.

Falta por consolidar el conocimiento de los genes que codifican en forma natural la biosíntesis de la proteína que cataliza la formación del inductor endógeno

de apoptosis y el gen que codifica la biosíntesis de la enzima que cataliza la destrucción de dicho inductor. Esto abre el camino para futuras investigaciones en el campo de la farmacología. Es decir, se presentan nuevos retos para un viejo campo de investigación.

## Notas



1. H.O. House, *Org. Synth. Collective* **367**, 1 (1963).
2. K.T. Liu, Y.C. Tong, *Synthesis* **669**, 250 (1978).
3. E. Mc Keown, W.A. Waters, *J. Chem. Soc. B* **1040**, 87 (1966).
4. R.W. Murray, M.L. Kaplan, *J. Am. Chem. Soc.* **91**, 84 (1969).
5. J. Fridovich, *Ann. Rev. Biochem.* **64**, 97 (1975).
6. W.A. Pryor, *Electron Spin Resonance*, (Chemical Society, Special publ. Mc Graw-Hill, Nueva York, 1966).
7. J.N. Dawson, *Science*, **240**, 433 (1988).
8. M. Russek, C. Michel, *Regulación y control en biología*, serie Premios Nacionales en Ciencias (México, IPN, 1990).
9. P. Kille, A. Hemmings, E.A. Lunney, *Biochem. Biophys. Acta* **1025**, 151 (1994).
10. A. Maister, *Pharm. Ther.* **51**, 155 (1991).
11. O. Epp, R. Ladenstein, A. Wendel, *Eur. J. Biochem.* **133**, 51 (1983).
12. E. Boyland, J. Chasseaud, *Biochem.* **104**, 95 (1967).
13. P. Marchetti *et al.*, *Eur. J. Immunol.* **27**, 289 (1977).
14. P. Constantini *et al.*, *J. Biol. Chem.* **271**, 129 (1996).
15. E. Majima *et al.*, *Biochemistry* **33**, 9530 (1994).



# La electrónica integrada en el siglo XX

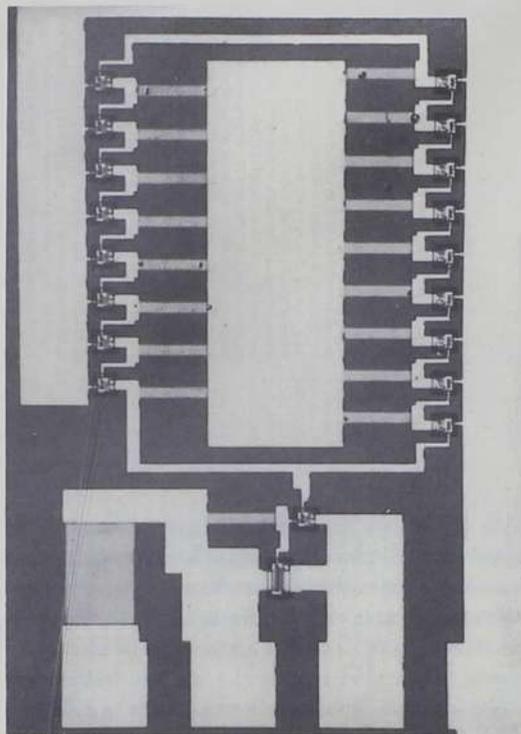
**Federico Sandoval Ibarra**

Este siglo bien pudiera ser llamado la era de la electrónica<sup>1</sup>. Sin embargo, observando las tendencias tecnológicas de hoy en día, resulta que este siglo marcó sólo el inicio de la electrónica y es una excitante incertidumbre intentar profetizar hasta dónde la electrónica pueda llegar. Con este marco, en este trabajo nos proponemos dar una breve descripción de la evolución del procesamiento analógico de señales, así como indicar varias tendencias de diseño analógico de interés.

Para analizar la evolución de la electrónica, debemos considerar que está dividida en dos grandes periodos en el tiempo: pasado y presente. Por pasado se entiende la era del tubo de vacío, mientras que por presente se comprende la era de invención del transistor bipolar. Esta invención provocó un desarrollo desmedido de la electrónica, razón por la cual este invento tecnológico ha sido el único que ha sido galardonado con el premio Nobel de Física (1956)<sup>2</sup>. Aún más, el desarrollo del transistor bipolar permitió el surgimiento de otras propuestas tecnológicas como los procesos de fabricación de circuitos integrados (CI), que se generan en dos grandes desarrollos: el bipolar y el MOS (Metal-Oxido-Semiconductor). Si hablamos del estado actual y del futuro de la electrónica se tienen que señalar no sólo los grandes logros asociados al uso de tecnologías submicrométricas (menores a  $1.0 \mu\text{m}$ ) para la fabricación de CI, sino también de la hazaña de integrar en un mismo sustrato semiconductor elementos sensores y circuitos de procesamiento de señales, de circuitos microprocesadores cada vez más poderosos, y de circuitos

---

El Dr. Federico Sandoval Ibarra es investigador titular de la Unidad Guadalajara del Cinvestav, dirección electrónica: sandoval@gdl.cinvestav.mx.



electrónicos que operan a muy bajas temperaturas (un área de investigación conocida como crioelectrónica).

En esta contribución, y considerando las amplias áreas de desarrollo y de investigación que caracterizan a la electrónica, se analiza únicamente la evolución del procesamiento analógico de señales y su impacto en el desarrollo de los circuitos integrados de aplicación específica (ASIC, por sus siglas en inglés).

## Filtrado analógico

En el pasado, los sistemas analógicos se realizaron mediante circuitos pasivos LRC, es decir, con resistores (R), capacitores (C) e inductores (L) discretos (Fig. 1). En la década de los años 60, con la construcción monolítica del amplificador operacional de voltaje (conocido como OPAMP), se crearon diversas técnicas de filtrado activo RC para sustituir a los tradicionales circuitos pasivos. Sin embargo, aun cuando el interés estaba

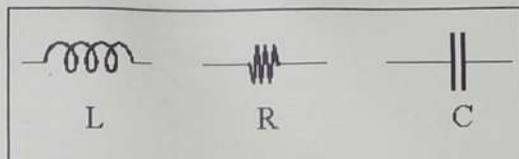


Figura 1. Representación y nomenclatura para diversos elementos de red: L (inductor), R (resistor) y C (capacitor).

puesto en integrar de manera total un filtro activo, las constantes de tiempo asociadas a los productos RC no eran del todo estables. La razón es muy simple: el resistor integrado (además de la gran cantidad de área requerida para su construcción) presenta una resistencia que es dependiente de la temperatura y esto provoca que la definición de las constantes de tiempo RC del sistema sean pobres. Por otro lado, para aplicaciones de alta frecuencia, la capacitancia parásita asociada al resistor integrado no se puede ignorar, ya que esta capacitancia también limita la determinación de las constantes de tiempo<sup>3</sup>.

En el inicio de la década de los años 70, la tecnología de circuitos integrados MOS tuvo una gran demanda en el diseño de circuitos digitales debido a que la tecnología bipolar no presentaba una alta densidad de integración respecto a la que proporcionaba la tecnología MOS. Fue en el transcurso de esa década cuando esta tecnología se usó para el procesamiento analógico de señales, aprovechando el hecho de que los circuitos integrados MOS tienen la propiedad de almacenar carga en sus nodos durante periodos de varias milésimas de segundo. Esta capacidad de almacenamiento puede ser caracterizada por cuantificar su valor. Esta propiedad de la tecnología MOS permitió la aparición de diversas técnicas de diseño (MosFet-C, capacitores conmutados, redistribución de carga, OTA-C) que condujeron a la completa integración de circuitos electrónicos en un sustrato semiconductor.

Los sistemas basados en la técnica MosFet-C se instrumentan con OPAMP, transistores MOS polarizados en su región lineal y capacitores. En estos sistemas, como es de suponer, los resistores son sustituidos por transistores MOS. Esto permite que el valor resistivo asociado al canal de conducción pueda ser controlado mediante la aplicación de una diferencia de potencial aplicada a la terminal de compuerta (Fig. 2). Usar esta técnica de diseño requiere hacer las siguientes consideraciones: (1)

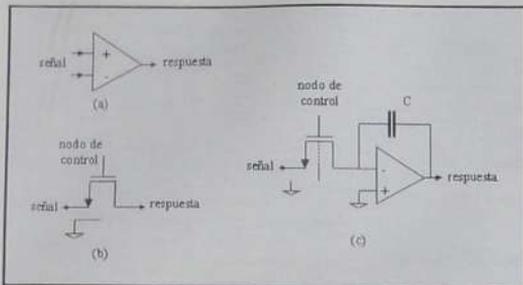


Figura 2. Notación simbólica para un amplificador operacional de voltaje (a), para un transistor MOS (b) y un circuito integrador de voltaje que utiliza la técnica MosFet-C.

el OPAMP debe presentar baja impedancia de salida, esto es, que este bloque fundamental debe estar compuesto a menos de dos etapas de amplificación; (2) el uso del OPAMP y la presencia de la capacitancia distribuida de la compuerta del transistor limita la aplicación de los sistemas a operaciones de baja frecuencia (menores a 100 kHz); (3) la característica no lineal del transistor introduce una distorsión en la respuesta de los sistemas. Los problemas de la distorsión pueden ser mejorados mediante el uso de estructuras completamente diferenciales, lo que implica el uso de un circuito de retroalimentación en modo común, que deberá ser diseñado con cuidado para que éste no degrade las características de operación del OPAMP.

En la tecnología MOS, los interruptores analógicos (usualmente transistores MOS), amplificadores operacionales y capacitores son los elementos necesarios para diseñar convertidores A/D y D/A, así como sistemas de filtrado analógicos. Estos últimos pueden presentar sensibilidades casi idénticas a los filtros en tiempo continuo en el límite de alta razón de muestreo. Estos sistemas se denominan capacitores conmutados y se distinguen porque usan un capacitor e interruptores MOS para simular el funcionamiento de un resistor (Fig. 3). En circuitos analógicos MOS, el correcto funcionamiento y el cumplimiento de especificaciones dependen sólo de la exactitud de razones de capacitores<sup>4</sup>.

En los años 80 aparece la técnica denominada OTA-C. Cabe señalar que el desarrollo de esta técnica permitió, como en los inicios de la electrónica, procesar señales en tiempo continuo. Esta técnica se aplicó inicialmente

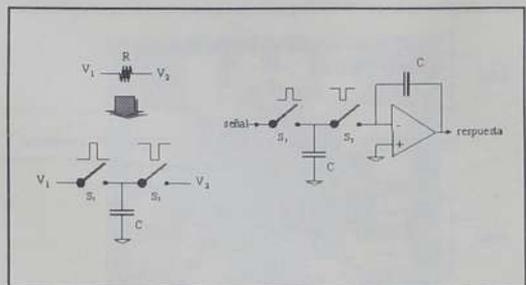


Figura 3. Resistor R sometido a una diferencia de potencial ( $V_1 - V_2$ ) y su realización mediante un capacitor conmutado. En esta realización, los interruptores son transistores MOS y son controlados con pulsos de reloj complementarios. Como ejemplo se muestra el diseño de un integrador de voltaje generado con esta técnica.

en el desarrollo europeo de teléfonos celulares. La limitación fundamental en esta técnica del diseño radica en el denominado amplificador operacional de transconductancia (OTA). La resolución de circuitos basados en esta técnica está limitada por ruido y por señales no deseadas que se acoplan en la respuesta del sistema. Tales señales se generan por las no linealidades intrínsecas de los dispositivos usados y por la naturaleza no lineal que existe en la relación salida/entrada del sistema. Por ejemplo, cuando se aplica una señal senoidal se generan señales cuyas frecuencias son múltiplos de la frecuencia de la señal de entrada, siendo esas señales las que dan lugar a una distorsión armónica total. Además, si dos o más señales se aplican al sistema, la suma y diferencia de frecuencias es generada en la respuesta del sistema dando lugar a una distorsión por intermodulación<sup>5</sup>. Otro tipo de ruido en sistemas basados en OTA-C, aparte del flujo de corriente y las imperfecciones en la interfase silicio-óxido de silicio del transistor, es el que se acopla la circuitería periférica a través de la impedancia finita de las fuentes de alimentación y por el acoplamiento capacitivo (capacitores de sustrato, capacitores por pistas de conexión, etc.). Con todas estas fuentes de ruido, la capacidad de inmunidad a ruido de cualquier sistema se mide mediante dos parámetros: la razón de rechazo a las señales en modo común (CMRR), y la razón de rechazo a las señales acopladas por las líneas de alimentación (PSRR). Como ocurre con las técnicas descritas con anterioridad, en aplicaciones mediante OTA-C, la obtención de altos valores de CMRR y PSRR se logra mediante el uso de estructuras completamente diferenciales (Fig. 4).

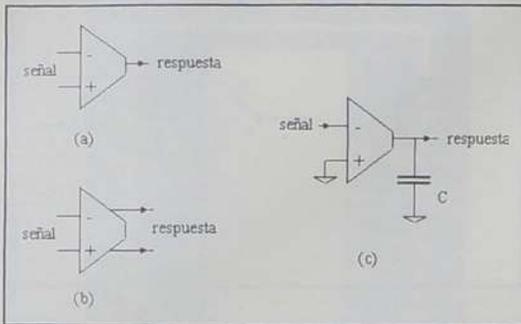


Figura 4. Símbolo de un OTA de salida simple (a) y un OTA completamente diferencial (b). Se puede ver como la generación de un circuito integrador de voltaje, basado en la técnica OTA-C, no requiere lazos de retroalimentación (c).

En la actual década, con la aparición en el mercado de equipo portátil para comunicación, medicina y computación, ha ocurrido un resurgimiento del diseño de sistemas de bajo voltaje de operación para reducir el consumo de potencia e incrementar el tiempo de vida útil de las baterías de alimentación. Tradicionalmente el término bajo voltaje significa 5 voltios para el diseñador de circuitos integrados analógicos CMOS (Fig. 5). Sin embargo, debido a la demanda de muy bajo consumo de potencia en campos como telefonía celular, el significado de bajo voltaje ha experimentado un cambio importante. Por otro lado, desde hace varias décadas, los sensores (llamados también transductores) constituyen una interfase entre el equipo electrónico y el mundo físico. Estos transductores, que convierten cantidades físicas en señales eléctricas, son en la actualidad una industria de crecimiento continuo que da soporte a una gran cantidad de aplicaciones como la automatización, la industria automotriz, el transporte, las telecomunicaciones, computadoras y robótica, monitoreo ambiental, medicina, agricultura, y muchas áreas más de la industria y la investigación.

## Microsistemas completamente integrados

Se puede asegurar que la demanda que tiene el silicio hasta nuestros días no sólo es debida a sus propiedades electrónicas, sino también a sus excelentes propiedades

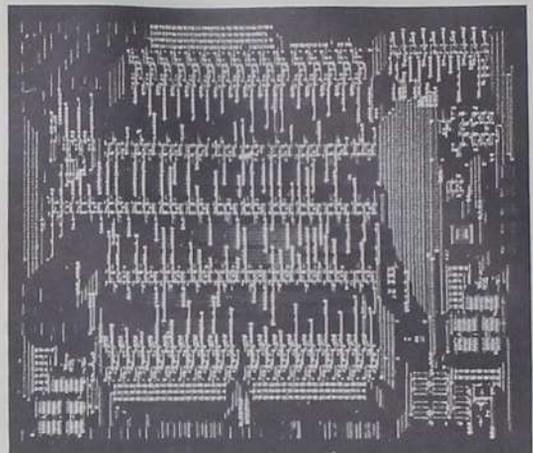


Figura 5. Microfotografía de un CI implementado con tecnología CMOS ( $V_{DD}=5$  Voltios).

mecánicas, químicas, magnéticas, y muchas otras más. Estas propiedades han permitido que a través del uso de técnicas fotolitográficas de los procesos estándar de fabricación de circuitos integrados CI, sea posible desarrollar sensores completamente integrados.

En la actualidad la tendencia en el diseño está enfocada al desarrollo de ASIC de bajos niveles de polarización (el cual puede contar con un elemento transductor). Por esta razón, resulta fundamental desarrollar técnicas de diseño que permitan la operación correcta de tales sistemas. Una de estas técnicas es la denominada modo corriente. Esta técnica de diseño basa su principio de operación en que los efectos por capacitancias parásitas son menos severos en circuitos de baja impedancia respecto a los efectos por capacitancias parásitas en circuitos de alta impedancia, es decir, en circuitos diseñados en el tradicional modo voltaje. En modo corriente, los circuitos básicos son espejos de corriente y transistores usados como circuitos integradores, de manera que en esta técnica de diseño la señal analógica es una corriente eléctrica. Es importante señalar que muchos de los sistemas portátiles generalmente usan baterías de unos cuantos voltios (por ejemplo, un ASIC típico es un dispositivo de ayuda auditiva), de manera que para incrementar la vida útil de la fuente de energía es muy recomendable el diseño de un circuito multiplicador de voltaje. De esta manera la operación de los circuitos es más eficiente. Aún más, en esta clase de sistemas es

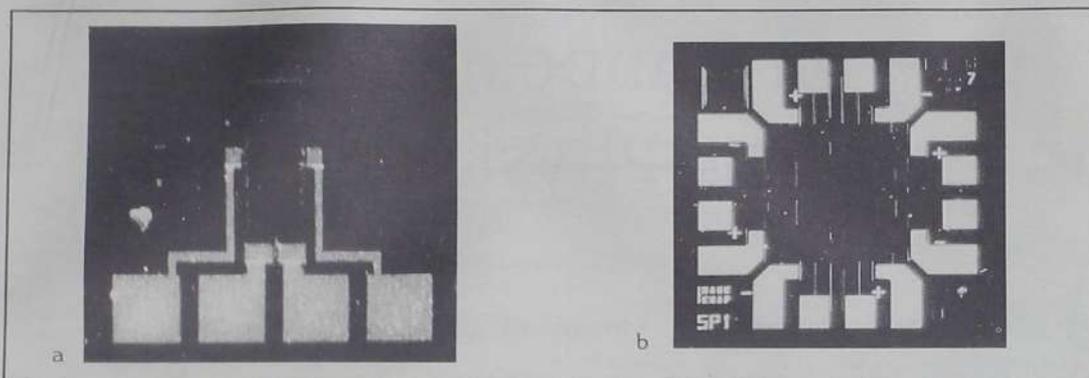


Figura 6. Microfotografía de un elemento Hall (a) y de un sensor de presión piezoresistivo (b). Estos transductores fueron desarrollados con tecnología CMOS.

adecuado incluir un circuito sensor que detecte la presencia de alguna fuente sonora para que el sistema siga trabajando de manera normal. Por el contrario, ante la ausencia de ondas sonoras el sistema sensor deberá suspender el suministro de energía al sistema de procesamiento de señales y sólo permitir la operación de sí mismo. Luego, cuando se detecten ondas sonoras de interés, se habilita todo el sistema para su adecuado funcionamiento. Este principio básico de operación, para todo ASIC de reducido nivel de alimentación, es un estándar de diseño para el desarrollo de sistemas portátiles.

Mención aparte requiere la electrónica de bajas temperaturas o crioelectrónica. Este campo de desarrollo e investigación, que tiene demanda en el diseño de sistemas para aplicaciones espaciales, aprovecha la ausencia de no idealidades (ruido, offset, etc.) que aparecen comúnmente en condiciones normales de operación (de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ ). Se sabe que a bajas temperaturas, la movilidad de portadores de carga positiva (huecos) es comparable, y en ocasiones mayor, a la movilidad debida a electrones. Sin embargo, aparecen otros fenómenos propios de la operación a bajas temperaturas que merecen atención y actualmente se buscan soluciones a tales efectos.

## Conclusiones

El estado actual de la electrónica y sus tendencias requieren de una gran cantidad de espacio para su

descripción. Sería muy interesante describir los avances y tendencias que se tienen en optoelectrónica, en sistemas de señal mezclada, sistemas microelectromecánicos, dispositivos semiconductores, etc., pero no es posible por la amplitud de los temas. Para aquellos interesados, recomiendo que acudan a artículos de revisión y sobre todo, a los estudiantes les recomiendo que acudan a los diversos centros de investigación que hay en el país, donde seguramente podemos encontrar y ampliar en lo posible los tópicos que consideremos usted, y un servidor, de interés.



## Notas

1. J. González Hernández, *Avance y Perspectiva* **18**, 305 (1999).
2. R. Asomoza, *Avance y Perspectiva* **18**, 415 (1999).
3. S.I. Fuentes Goiz, *Determinación de funcionalidad de circuitos integrados digitales CMOS*, tesis de maestría, INAOE (1990).
4. R. Gregorian, G.C. Temes, *Analog MOS Integrated Circuits* (Wiley-Interscience, EUA, 1986).
5. J. Silva Martínez, M. Steyaert, W. Sansen, *High-Performance CMOS continuous-time filters* (Kluwer Academic Publishers, EUA, 1993).

Mérida, Yucatán, March 1-4, 2000

# IV Mexican Symposium on Medical Physics

## Invited speakers:

Claus Grupen, U. Siegen

Albert Walenta, U. Siegen

José BenComo, Hospital M.D. Anderson, Houston

Rufino Díaz, Centro de Instrumentos, UNAM

Gary Fullerton, U. Texas, San Antonio

Misael Uribe, Médica Sur

Roberto Ortega, Centro de Instrumentos, UNAM

D. Wegener, U. Dortmund

Charles A. Mistretta, U. Wisconsin

Frank R. Korosec, U. Wisconsin

Dana C. Peters, U. Wisconsin

Steven M. Wright, U. Texas A&M

Emilio Esparza, CINVESTAV-IFUGto.

María Cristina Piña, Instituto de Materiales, UNAM

Arnulfo Martínez Dávalos, Instituto de Física, UNAM

## Organizing Committee:

Maria Ester Brandan, IFUNAM  
Guillermo Contreras, CINVESTAV, Mérida  
Emilio Esparza, CINVESTAV-IFUGto  
Gerardo Herrera, CINVESTAV-Zacatenco  
Rodrigo Huerta, CINVESTAV-Mérida  
Mercedes Rodríguez, IFUNAM

## Further information:

gherrera@fis.cinvestav.mx  
jgcn@moni.cieamer.conacyt.mx

# Redes neuronales

**Miguel Angel Bernal Reza**

## Control inteligente

Cuando era niño solía especular sobre una gran cantidad de asuntos y cuestiones que no tenía modo de abordar de manera sistemática. Una de mis inquietudes favoritas era la relativa al cerebro humano. No comprendía cómo era posible que funcionara y las descripciones que encontré en los libros de ciencias naturales hasta bien entrada la Secundaria siempre me dejaron insatisfecho. Algo había de misterioso en torno a él porque mientras las descripciones del sistema circulatorio, el digestivo y otros, abundaban en detalles, las del sistema nervioso, particularmente del cerebro, tenían conceptos y detalles vagos.

Hace poco tiempo terminé mi tesis de maestría<sup>1</sup> sobre la teoría de control a través de redes neuronales dinámicas. Hoy continúo tan entusiasmado por el tema como antes y lejos de obtener una mayor claridad, he comprobado que estamos en el borde del conocimiento cuando accedemos a esas descripciones de la fisiología y la dinámica del cerebro humano que yo encontraba en la Secundaria. Con el paso del tiempo he llegado a dedicarme a esa área que me interesaba desde niño, ahora de manera sistemática y con múltiples recursos para abordarla, aunque esto no significa que mis preguntas fundamentales tengan mejores respuestas.

En el área de control automático, como es bien conocido, los ingenieros nos dedicamos a estudiar — desde los puntos de vista teórico y práctico— todos los

---

*El M. en C. Miguel Angel Bernal Reza es estudiante de doctorado en la Unidad Guadalajara del Cinvestav.*

detalles relativos al control de procesos y de artefactos de todo tipo: mecánicos, eléctricos, electrónicos, químicos, y hasta económicos. Suele suceder —por la vastedad de las disciplinas involucradas— que el estudio del control rara vez se concentra en los procesos y se enfoca primordialmente al control como una abstracción independiente de dicho proceso. El proceso se caracteriza por medio de ciertas ecuaciones, que casi siempre es posible resolver. Una vez establecido un modelo del sistema en forma de ecuaciones matemáticas, su naturaleza química, mecánica, eléctrica o económica deja de tener importancia para el análisis y el diseño propios del área de control. Desde luego, todo lo analizado y diseñado desde el punto de vista de control tiene una correspondencia real con el sistema modelado.

Una de las áreas del control automático que llamó mi atención desde el principio fue la del “control inteligente” que abarca varios enfoques, tales como redes neuronales artificiales, control difuso y algoritmos genéticos. Estos títulos me parecieron en un principio extraordinariamente persuasivos, sobre todo porque dan la impresión de ser un lazo entre las áreas biológicas y las ingenieriles. Y hasta cierto punto lo son. En primer lugar, las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos cuyo comportamiento global pretende reproducir el comportamiento de las neuronas biológicas tanto en forma aislada como en grupo, es decir, formando una red neuronal. Pero, ¿qué garantiza que los modelos matemáticos efectivamente sean una aproximación del comportamiento de los delicados cerebros biológicos? Lo garantizan las pruebas experimentales hechas por fisiólogos ayudados de instrumentos electrónicos de medición. Así pues, se han podido caracterizar varios tipos de señales generadas por las neuronas biológicas, aunque claro, todavía falta mucho más para que haya explicaciones completas y definitivas sobre el significado de esos “pulsos” y las actividades neuroquímicas<sup>2,5</sup>. Las funciones matemáticas que describen estas señales de las neuronas son funciones de “saturación”, como la función sigmoide  $f(x) = [1 + \exp(-x)]^{-1} + \epsilon$ .

## Lógica difusa

Por su parte, la lógica difusa —en la que se basa el control difuso— pretende hacer una representación del conocimiento y de los valores de verdad, más acorde con la



manera humana de hacerlo. Bajo sus leyes, la verdad es representada por un valor, y los hechos o acciones son evaluados por medio de “grados de verdad”. Los algoritmos genéticos, a final de cuentas, son algoritmos computacionales que pretenden reproducir el comportamiento de la naturaleza durante las transcripciones de códigos genéticos, lo cual involucra factores como la selección natural (respuesta al medio ambiente) y los mecanismos de herencia. Desde luego, en virtud de que estamos hablando de aplicaciones de la ingeniería, la selección natural y los mecanismos de herencia sólo pretenden cubrir los objetivos de control y de adaptación del artefacto o proceso controlado a las distintas eventualidades del medio.

## Redes neuronales artificiales

De los tres esquemas que constituyen el control inteligente, las redes neuronales me parecen las más atractivas, no sólo por sus virtudes técnicas, sino también por su correspondencia con las redes neuronales biológicas; es decir, me parecen el intento más serio por modelar el cerebro humano. Y ¿cuáles han sido los resultados? Realmente han sido sorprendentes. Los modelos matemáticos llamados redes neuronales resultaron tener capacidad para reconocer patrones tales



como dibujos, escritura y sonidos<sup>6-7</sup>, mientras que en otro campo todavía menos explorado se han podido controlar manipuladores robóticos, motores y otro tipo de procesos<sup>8-10</sup>. En mi trabajo de tesis<sup>1</sup> —en colaboración con el Dr. Edgar Sánchez Camperos—, hemos logrado aplicar con éxito los algoritmos neuronales al control de manipuladores robóticos de distintas clases<sup>11</sup>.

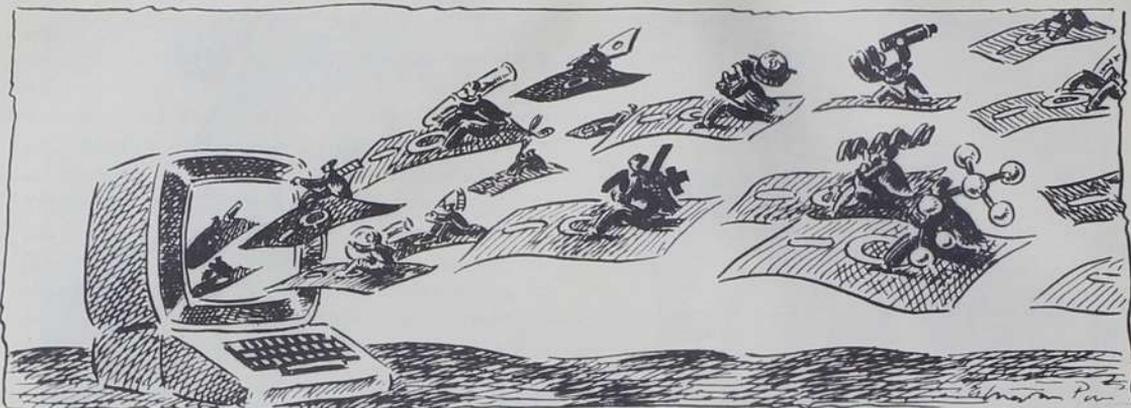
La lógica difusa y los algoritmos genéticos también han tenido un impacto importante dentro del control, en especial la primera; pero como ya señalé, ni la lógica difusa ni los algoritmos genéticos me parecen tan paralelos al comportamiento biológico.

Una característica curiosa que establece un paralelismo confirmatorio entre las redes neuronales biológicas y las artificiales es que ambas se ocupan de los procesos de entrenamiento; es decir, de exposición a aquella información que pretenden manipular bajo ciertas reglas. Un niño no nace sabiéndolo todo. Su cerebro debe entrar en contacto con una gran cantidad de datos e información sensorial hasta que es capaz de reconocer dicha información y —todavía más sorprendente— de usarla creativamente. De manera similar,

la red neuronal debe familiarizarse con aquello que debe “aprender” para terminar por manipularlo. Por supuesto, todavía no ha sido posible crear una red neuronal artificial que use su “conocimiento” con fines “creativos”.

Y he aquí lo más intrigante: ¿podríamos lograr algún tipo de modelo matemático, neuroquímico o de algún otro tipo que reprodujera el comportamiento humano?, ¿podría construirse tal artefacto aun cuando no comprendamos bien cómo funcionan los cerebros biológicos y menos aún sus implicaciones? Es importante notar que las redes neuronales están ya funcionando y las razones de su misterioso aprendizaje no han sido totalmente dilucidadas, salvo en el reducido modelo matemático que las esquematiza. Se han analizado sus propiedades de estabilidad, de convergencia, pero no ha habido un consenso final o una teoría lo suficientemente potente que las comprenda a fondo y las unifique. Hay todavía mucho de heurístico en este campo, pero, evidentemente, algo hay que motiva su funcionamiento.

Hace poco tiempo leí un libro impresionante de un astrónomo, físico y matemático inglés muy famoso,



Roger Penrose, titulado *La nueva mente del emperador*<sup>5</sup>. Sus ideas resultan formidables y sus propuestas sumamente audaces, aunque sin perder por ello el rigor y la profundidad que debe tener toda propuesta de corte científico. En este libro, Penrose trata de profundizar sobre la pregunta de si un artefacto físico no biológico podrá reproducir el comportamiento de un cerebro biológico, más aún, de un cerebro humano. Su hipótesis plantea que no, y para apoyarla recurre a una amplia gama de conocimientos, entre ellos la física, tanto macroscópica —como la clásica y la relativista— y la física microscópica, como la mecánica cuántica. Advierte que estas dos teorías físicas —que son de una soberbia exactitud ya confirmada por numerosos experimentos— proporcionan bastante información relevante sobre el comportamiento de nuestros cerebros. Por ejemplo, dentro de la física clásica —desde Newton hasta Einstein— no hay cabida para el libre albedrío o la pretendida conciencia que tenemos los seres humanos porque sus ecuaciones son deterministas, es decir, no permiten un margen de “decisión” de la propia materia. La mecánica cuántica parece aportar la posibilidad de que la materia tome iniciativas como ocurre con nosotros, es decir, tiene algunos factores aleatorios todavía no investigados en su relación con el comportamiento del cerebro. Esto parece apuntar a que un dispositivo digital como una computadora no podrá nunca reproducir el comportamiento humano y, por lo tanto, no habrá red neuronal artificial lo suficientemente inteligente, lo cual, desde luego, no es bien visto por todos los investigadores del área de inteligencia artificial, en la que los más radicales sostienen que una persona es un algoritmo —quizá extraordinariamente complicado—

operando sobre un dispositivo físico llamado cerebro biológico.

Esto podría parecer desalentador, pero nada es aún concluyente. Es evidente que el tema es extraordinariamente rico y, mientras Penrose y otros, como los defensores de la inteligencia artificial, pelean por demostrar polos opuestos de tan profundas cuestiones, las redes neuronales artificiales, esos misteriosos modelos obtenidos como abstracciones del comportamiento biológico, todavía siguen siendo útiles en aplicaciones físicas tangibles. En control automático deseáramos que Penrose no tuviera razón para poder contar en un futuro con controladores extraordinariamente capaces de adaptarse a medios y condiciones cambiantes, con posibilidad de aportar soluciones creativas basadas en su experiencia y en su capacidad; pero claro, la naturaleza no debe apegarse a nuestras concepciones por muy convenientes que parezcan.



## NOTAS

1. M. A. Bernal Reza, *Control vía redes neuronales dinámicas*, tesis de maestría, U. Guadalajara, Cinvestav (1999).
2. M. M. Gupta, D. H. Rao, *Neuro-Control Systems: A tutorial* (IEEE Press, 1990).
3. C. F. Stevens, *The Neuron*, *Scientific American* (1979).
4. S. Haykin, *Neural Networks: A comprehensive foundation* (IEEE Press, 1992).

5. R. Penrose, *La Nueva Mente del Emperador* (Grijalbo-Mondadori, 1989).

6. C.C. Lee y J. Pineda de Gyvez, Color Image Processing in a Cellular Neural Network Environment, *IEEE Trans. on Neural Networks*, **7**, No.5 (1996).

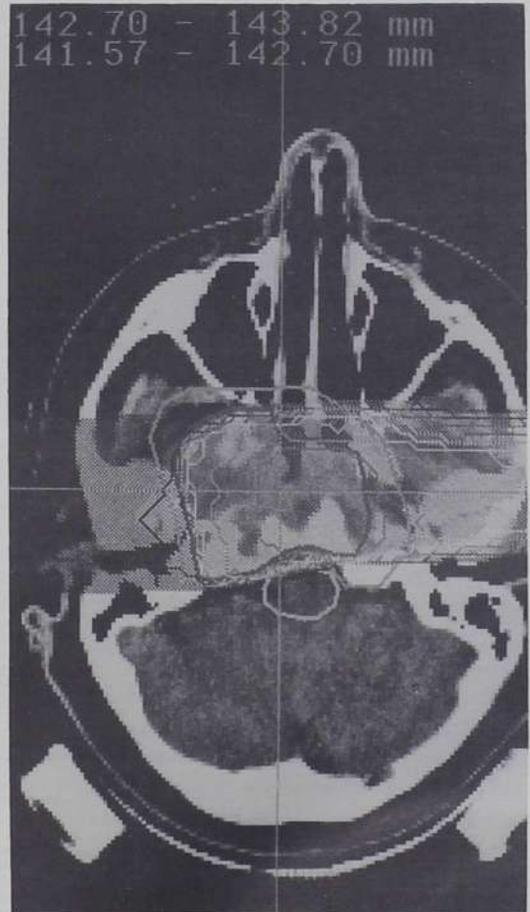
7. M. Rosenblum *et.al.*, An Improved Radial Basis Function Network for Visual Autonomous Road Following, *IEEE Trans. on Neural Networks* **7**, No.5 (1996).

8. F.L. Lewis, S. Jagannathan and A. Yesildirek, *Neural Network Control of robot manipulators and nonlinear systems* (Taylor and Francis, Londres, 1998).

9. A. S. Poznyak y E.N. Sánchez, Nonlinear system identification and trajectory tracking using dynamic neural network, Proc. 1996 IEEE CDC Kobe (Japón, 1996).

10. E. B. Kosmatopoulus y M.A.Christodolou, Dynamical Neural Networks that Ensure Exponential Identification Error Convergence, *IEEE Trans. Neural Networks*, **10** (1997).

11. M. A. Bernal y E. Sánchez, Seguimiento de trayectoria no lineal vía redes neuronales dinámicas, CIECE 99 (Guanajuato, México, marzo de 1999).



# Maestría en Ciencias Especialidad en Materiales

Unidad Querétaro  
Cinvestav

## Objetivos

El egresado será capaz de manejar los conceptos fundamentales de la Ciencia de Materiales, utilizando técnicas de caracterización y desarrollar técnicas de procesamiento de materiales en la solución de problemas científicos y tecnológicos. El estudiante adquirirá las bases teóricas y prácticas necesarias para continuar con estudios de Doctorado, ya sea en el campo de materiales o en áreas afines.

## Líneas de investigación

- ↔ Materiales optoelectrónicos
  - ↔ Materiales compuestos
    - ↔ Materiales biológicos
      - ↔ Recubrimientos de materiales
        - ↔ Técnicas de caracterización de materiales

### Mayor información:

Cinvestav-IPN  
Unidad Querétaro  
Laboratorio de Investigación en Materiales  
Coordinación Académica  
ciauaq@ciateq.mx  
Internet:  
<http://www.cinvestav.mx/queretaro/>

Apdo. Postal 1-798,  
Arteaga 5, Centro  
76001 Querétaro, Qro.

### Temporalmente:

Centro Universitario  
Cerro de las Campanas S/N  
Facultad de Química  
76010 Querétaro, Qro.  
Tel: (42) 15 68 75 y 16 70 12,  
16 32 42 Ext. 173  
Tel. y Fax: (42) 15 68 66

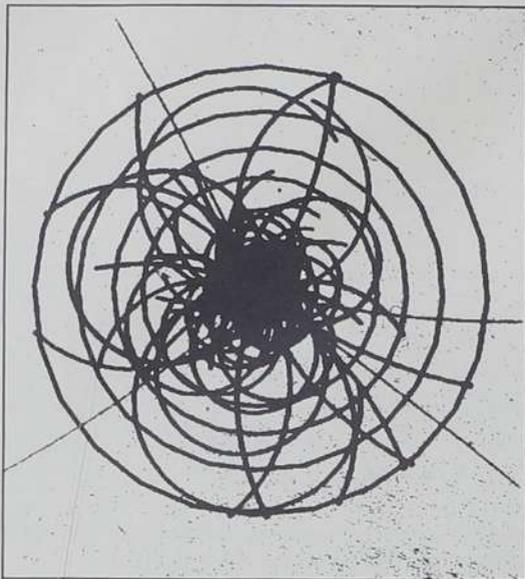
## Simetría oculta

**Miguel Angel Pérez Angón**

El año pasado celebramos en estas mismas páginas la entrega del Premio Nobel de Química 1998 a dos investigadores que desarrollaron programas de computación que han sido de amplia utilidad para realizar cálculos y predicciones en química cuántica<sup>1</sup>. Ahora el Premio Nobel de Física 1999 fue adjudicado a dos físicos teóricos que crearon un formalismo, conocido como proceso de renormalización, que ha conducido a que el modelo estándar de las interacciones electrodébiles sea la teoría más precisa que hasta ahora se ha concebido en la física. Los galardonados en esta ocasión son los físicos holandeses Gerard 't Hooft y Martinus Veltman. El mérito científico que les reconoció la Academia Sueca de Ciencias no considera el descubrimiento de un nuevo fenómeno o la detección de nuevas partículas. Simplemente, se reconoció su aportación al definir el formalismo matemático que fue la pieza clave para realizar un gran número de predicciones y descubrimientos, la mayoría de ellos realizados por otros físicos y algunos inclusive también reconocidos por el premio Nobel de Física (descubrimiento de los bosones vectoriales  $W^\pm$  y  $Z$ , de nuevos tipos de quarks y de leptones)<sup>2</sup>. Por supuesto, no estoy planteando una apología de los desarrollos teóricos en contra de los descubrimientos experimentales. Pero resulta tan evidente la injusticia involucrada en retrasar los reconocimientos a contribuciones meramente teóricas (30 años en este caso, al igual que el Premio Nobel de Química del año pasado), y que son tan determinantes para el desarrollo de una disciplina científica, que a los físicos teóricos no se nos puede reprochar celebrarlos por partida doble.

---

El Dr. Miguel Angel Pérez Angón, investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav, es coordinador del Consejo Editorial de *Avance y Perspectiva*. Correo electrónico: [mperez@fis.cinvestav.mx](mailto:mperez@fis.cinvestav.mx).



## Tradic3n holandesa

El trabajo te3rico que realizaron Gerard 't Hooft y Martinus Veltman para merecer este premio fue publicado entre 1970 y 1971. Constituy3 la parte medular de la tesis doctoral de G. 't Hooft<sup>3</sup>, presentada en la Universidad de Utrecht, Holanda, bajo la supervisi3n de Martinus Veltman. Este 3ltimo es ahora profesor em3rito de la Universidad de Michigan y 't Hooft es profesor titular de f3sica en la misma Universidad de Utrecht. Para transmitir la esencia del formalismo de renormalizaci3n desarrollado por ellos dos, ser3 indispensable revisar algunos aspectos de la teor3a moderna que describe las interacciones de las part3culas elementales. Como ya se han publicado en *Avance y Perspectiva* varios art3culos que cubren diferentes aspectos de esta teor3a (el denominado modelo est3ndar), no ser3 necesario extendernos con mucho detalle en algunos de estos temas.

G. 't Hooft y M. Veltman representan de manera evidente la continuidad de una vieja tradici3n cient3fica con hondas ra3ces en Holanda. A pesar de ser uno de los pa3ses m3s peque1os de Europa con grandes limitaciones territoriales, los f3sicos holandeses se han distinguido por no rehuir problemas de enorme dificultad cient3fica. Entre los f3sicos holandeses que han realizado

avances importantes en la compresi3n de la estructura del mundo microsc3pico, recordamos a J.D. van der Waals (interacciones moleculares), H.A. Lorentz (transformaciones relativistas que llevan su nombre), H. Kramers y R. Kroning (relaciones de dispersi3n), S. Goudsmit y G. Uhlenbeck (esp3n del electr3n), A. Pais (n3mero cu3ntico de extra1eza), y S. van der Meer (enframamiento estoc3stico de haces de part3culas).

En lo personal no simpatizo hablar sobre las cualidades o defectos de las personas, pero en esta ocasi3n no resisto compartir con los lectores de AyP las contrastantes personalidades de 't Hooft y Veltman. El primero es una persona menuda, cordial, atenta y muy agradable. En cambio, Veltman es de complexi3n robusta, de gran estatura, agresivo, descort3s y de car3cter sangu3neo (*bulky* en ingl3s). Es proverbial su mal humor y agresividad ante los conferencistas invitados al Instituto Randall de la Universidad de Michigan. Despu3s de que Glashow, Salam y Weinberg recibieron el premio Nobel de F3sica en 1979 por la construcci3n del modelo est3ndar, Veltman se sinti3 despojado de un reconocimiento que en parte le correspond3a. En cambio, 't Hooft siempre mantuvo una actitud de ecuanimidad ante esta circunstancia a pesar de que la comunidad de f3sicos aprecia con mayor m3rito su contribuci3n a la definici3n del proceso de renormalizaci3n del modelo est3ndar. Queda en el aire la duda de c3mo pudo realizarse la colaboraci3n entre dos personalidades tan diferentes.

## Tres reinos de la materia

El modelo est3ndar de las interacciones fundamentales ha proporcionado un esquema de organizaci3n de la estructura m3s fundamental de la materia en t3rminos de tres tipos (reinos) de part3culas: leptones, quarks y bosones intermedarios. Los leptones y los quarks son fermiones (esp3n semientero en unidades de la constante de Planck) y constituyen los bloques de la materia m3s b3sicos de los que tenemos conocimiento<sup>4</sup>. La "familia" de los leptones incluye al electr3n y al neutrino<sup>3</sup>, mientras que los estados ligados de tres quarks forman a las part3culas que conocemos con los nombres de prot3n y neutr3n. Estos, a su vez, son los componentes de los n3cleos at3micos. Los bosones intermedarios son part3culas de esp3n unitario (o m3ltiplo entero de la constante de Planck), se les denomina tambi3n bosones vectoriales

o de norma y al ser intercambiados entre leptones y quarks generan las cuatro interacciones fundamentales que existen en la naturaleza: fotón (electromagnetismo), bosones  $W^+$  y  $Z$  (interacciones débiles), gluones (interacciones fuertes) y gravitones (gravitación).

Cada una de estas partículas está descrita por una función matemática conocida como campo, que puede tomar diferentes valores en cada punto del espacio y que está determinada por las ecuaciones (diferenciales) de movimiento. Estas ecuaciones se derivan de un principio variacional de mínima acción a partir de una función lagrangiana. La estructura matemática de la lagrangiana queda definida al imponerle que satisfaga (que sea invariante) ante los principios de la relatividad especial (grupo de Lorentz), de la mecánica cuántica (principio de incertidumbre, reglas de conmutación) e invariancia ante el grupo de norma local con la estructura  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  que caracterizan a los números cuánticos internos de las partículas en el modelo estándar (carga eléctrica, isoespín débil y color).



## Renormalización

En la naturaleza sólo existen electrones cargados (positiva o negativamente) y no tiene sentido hablar de un electrón con su carga eléctrica "apagada". No obstante, en las idealizaciones matemáticas que se utilizan para describir a las partículas elementales en la teoría cuántica del campo (TCC)<sup>5</sup> sí es posible estudiar primero el electrón sin carga eléctrica y posteriormente se puede incluir su interacción con el campo electromagnético como una perturbación del sistema sin interacción (campo del electrón libre). En la TCC existe un algoritmo bien definido para determinar las propiedades de los electrones (carga, masa, momento dipolar magnético) en términos de una serie perturbativa de aproximaciones sucesivas. Sin embargo, en primera instancia algunas cantidades físicas resultan divergentes (involucran integrales infinitas). El proceso de renormalización en TCC aprovecha la circunstancia de que las cantidades "desnudas" (sin interacción) de los electrones originales resultan ser diferentes de las propiedades correspondientes "vestidas" (con la interacción encendida) y entonces es posible reemplazar estas últimas propiedades por los valores físicos medidos en el laboratorio (que son finitos) al exigir que las cantidades infinitas encontradas en el proceso

del cálculo perturbativo sean absorbidas en una redefinición de las cantidades desnudas. En los años sesenta Dyson, Feynman, Schwinger y Tomonaga demostraron que este proceso de "renormalización" es matemáticamente consistente para la TCC de los electrones en interacción con el campo electromagnético (la electrodinámica cuántica, QED, por su siglas en inglés).

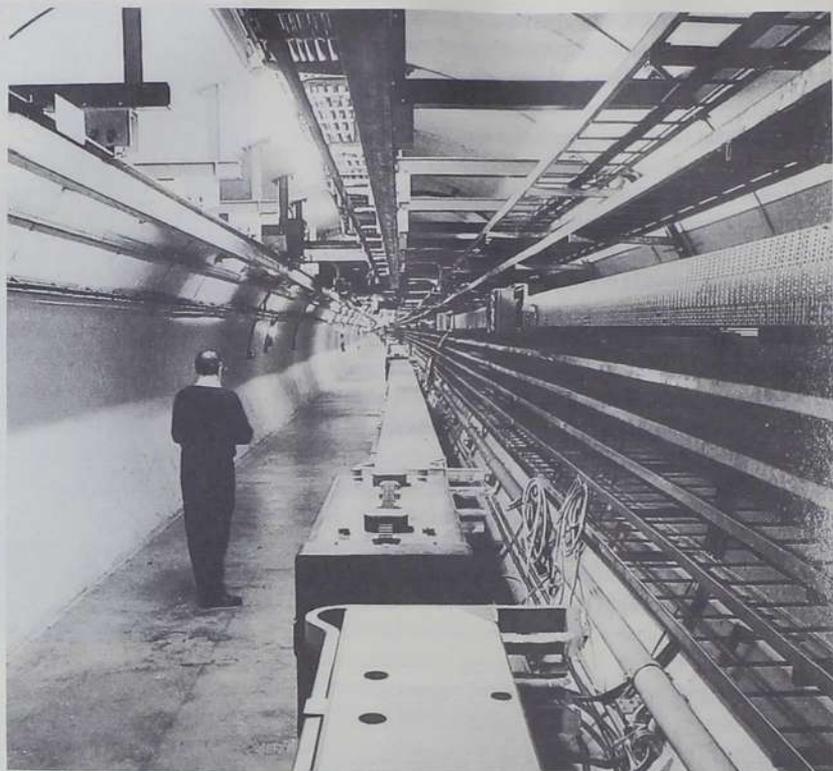
El aspecto más importante del proceso de renormalización es que genera algunas predicciones netas de la QED que pueden ser comparadas con mediciones realizadas en los laboratorios, y que sólo dependen de la masa y de la carga del electrón "vestidas" (finitas). Por ejemplo, el momento dipolar magnético del electrón ( $\mu$ ) es una cantidad que ha sido medida con una alta precisión

$$\mu = \frac{eh}{4\pi m} (1.00115965219 \pm 0.00000000001),$$

donde  $e$  y  $m$  son la carga y la masa del electrón y  $h$  es la constante de Planck, en tanto que la predicción de QED para la misma cantidad es

$$\mu = \frac{eh}{4\pi m} (1.00115965217 \pm 0.00000000003),$$

lo cual corresponde a una coincidencia entre teoría y experimento de una parte en mil millonésimas<sup>6</sup>.



## Mecanismo de Higgs

A finales de la década de los años sesenta, uno de los principales problemas en la física de altas energías era que no existía una TCC renormalizable para describir las interacciones débiles. Esta teoría debería incluir bosones vectoriales, de espín unitario como el fotón pero con masa diferente de cero y además con carga eléctrica (los que conocemos ahora como bosones  $W^\pm$ ). El problema crítico en este caso estaba relacionado con la masa de estas partículas y cómo se debería introducir en el formalismo para que el proceso de renormalización fuera factible. G. 't Hooft y M. Veltman<sup>7</sup> demostraron en 1971 que esto era posible si la masa era generada por una nueva partícula, descrita por un campo escalar de espín cero, a través de un mecanismo que ahora se conoce como de rompimiento espontáneo de la simetría asociada al grupo  $SU(2)$  o mecanismo de Higgs<sup>8</sup>.

Este rompimiento de la simetría es similar al que ocurre en el proceso de magnetización de los materiales

que conocemos como magnetos. Abajo de la temperatura crítica de magnetización, el magneto está compuesto por un conjunto de dominios (pequeños magnetos) cuyos momentos dipolares están distribuidos al azar y en consecuencia la magnetización neta, total, es cero. Cuando la temperatura alcanza su valor crítico, estos dominios se alinean y producen un momento dipolar neto, que es el observado en el laboratorio con una orientación bien definida. En principio, esta orientación podría ser cualquiera (según la invariancia rotacional del sistema original), pero el magneto “escoge” sólo una de ellas, la que se mide en el laboratorio. Se dice entonces que la simetría ante rotaciones del sistema original se rompió de manera espontánea al quedar la magnetización fija con un ángulo preciso en el sistema del laboratorio. De manera similar, el mecanismo de Higgs escoge una solución entre muchas para el campo escalar (de Higgs) y en el proceso se generan las masas de los leptones, quarks y bosones intermedios (excepto por el fotón, que siempre permanece sin masa). Es posible demostrar que la simetría original

no está realmente rota, sino que está "oculta", como sucede también en el ejemplo del magneto, donde la simetría rotacional sólo está rota de manera superficial, de manera "oculta".

El mecanismo de Higgs había sido utilizado con éxito en la teoría de la superconductividad para generar una masa "efectiva" al campo electromagnético (los fotones) en el medio superconductor. La importancia de la aportación de 't Hooft y Veltman es que se propusieron adaptarlo a las TCC de las interacciones débiles con estructura no abeliana. En forma independiente Steven Weinberg y Abdus Salam habían propuesto en 1967 que este tipo de TCC no abeliana podría ser renormalizable y entonces aplicable al estudio de las interacciones débiles. No obstante, nunca demostraron esta posibilidad con el rigor que se requiere en la física moderna de partículas elementales. 't Hooft y Veltman lo hicieron con todo detalle y ello contribuyó para que el modelo estándar se convirtiera en el paradigma de cualquier nueva TCC. El resto de la historia incluye un final feliz: apoyados en la estructura predicha por el modelo estándar y el poder del proceso de renormalización, un ejército de físicos teóricos se ha dedicado desde hace casi treinta años a agotar todas las posibilidades de poner a prueba la física del modelo estándar, con el resultado de que siempre ha salido exitoso este modelo. En la actualidad, el principal entretenimiento de los físicos teóricos de altas energías es precisamente encontrar algún efecto de nueva física más allá del modelo estándar que sea verificable en la nueva generación de aceleradores de partículas.

## La conexión latinoamericana

El proceso de renormalización de las teorías de norma no abelianas (también conocidas como de Yang-Mills por los físicos que las propusieron por primera vez) requirió de un método de control de las integrales que producen cantidades infinitas (divergentes). Este proceso se llama de regularización dimensional, ya que el cálculo de la integral en una dimensión mayor que cuatro (tres espaciales y una temporal) resolvió la dificultad de manejar cantidades infinitas de manera consistente. Este proceso fue determinante para lograr la renormalización exitosa del modelo estándar. Una pareja de físicos argentinos, Carlos Bollini y Juan José Giambiagi, propusieron de manera casi simultánea e independiente este

proceso de regularización dimensional<sup>9</sup>. La leyenda negra en los medios latinoamericanos establece que la desgracia de Bollini y Giambiagi fue haber enviado su artículo a la revista donde Veltman era miembro del consejo editorial y con ello pudo detener la publicación de ese artículo hasta que él y 't Hooft terminaron su ahora famoso proceso de renormalización. Por supuesto, esta versión nunca ha sido confirmada y queda como una leyenda de las muchas historias que nos han complicado la vida en Latinoamérica.

## Libertad asintótica

El interés de Gerard 't Hooft por las TCC basadas en grupos no abelianos se ha mantenido durante los últimos años. En particular, le interesó la teoría que llamamos cromodinámica cuántica (QCD por sus siglas en inglés) que describe las interacciones fuertes entre los quarks a partir del intercambio de gluones (los bosones intermedios de esta interacción). En esta teoría realizó dos aportaciones que le han valido un reconocimiento adicional: que QCD es una teoría con "libertad asintótica" y que tiene soluciones no perturbativas, exactas, que se pueden identificar como monopolos magnéticos. Se dice que una TCC es asintóticamente libre cuando la interacción casi desaparece a distancias muy pequeñas (y entonces parece que los quarks están libres, sin interacción, dentro de un protón o neutrón) pero que a grandes distancias incrementa su intensidad, y entonces no permite que los quarks existan como tales (libres) fuera del estado ligado que llamamos protón o neutrón. Este resultado es tan importante que podría aportarle un nuevo Premio Nobel a Gerard 't Hooft.

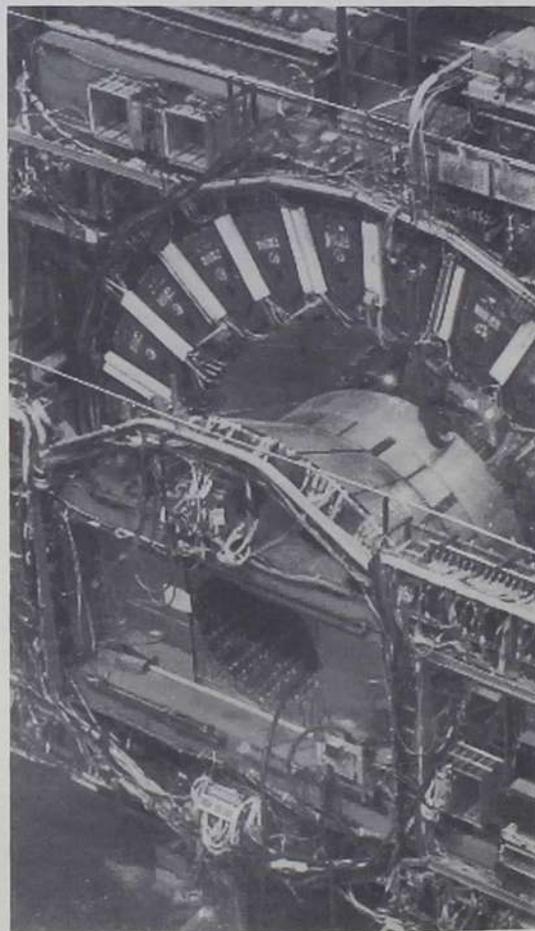
El descubrimiento de que la teoría QCD es asintóticamente libre está en la lista de propuestas al comité de Premios Nobel de Física. En el medio académico se esperaba que este desarrollo teórico recibiera en 1999 el Premio Nobel en física, ya que el trabajo teórico que condujo a la formulación del modelo estándar ya había recibido un premio Nobel en 1979 (Glashow, Salam y Weinberg). Por otro lado, la asignación de un premio Nobel al descubrimiento de la libertad asintótica representa un nuevo problema: G. 't Hooft tendría que compartirlo con otros tres investigadores norteamericanos que hicieron el mismo descubrimiento en forma independiente: D. Gross, F. Wilczek y H.D. Politzer. Los Premios Nobel nunca se han otorgado a más de tres

investigadores en forma conjunta. Pero en caso de ser así, G. 't Hooft lograría igualar la hazaña de John Bardeen, quien obtuvo dos premios Nobel en la misma especialidad<sup>10</sup>.



## Notas

1. M.A. Pérez Angón, *Avance y Perspectiva* **18**, 33 (1999).
2. G. López Castro, *Avance y Perspectiva* **15**, 23 (1996); G. Herrera, *Avance y Perspectiva* **15**, 191 (1996).
3. Véase el recuento personal de estos temas que hace G. 't Hooft en su libro *In search of the ultimate building blocks* (Cambridge Univ. Press. Inglaterra, 1997).
4. A. Rosado, *Avance y Perspectiva* **9**, 261 (1990); G. Herrera *ibid.* **13**, 195 (1994).
5. M.A. Pérez Angón, *Avance y Perspectiva* **18**, 275 (1999).
6. F. Wilczek, *Rev. Mod. Phys.* **71**, 585 (1999).
7. G. 't Hooft, *Nucl. Phys.* **B35**, 167 (1971); G. 't Hooft, M. Veltman, *Nucl. Phys.* **B44**, 189 (1972).
8. M.A. Pérez Angón, *Avance y Perspectiva* **12**, 273 (1993).
9. C. Bollini, J.J. Giambiagi, *Phys. Lett.* **B40**, 566 (1972).
10. R. Azomoza, *Avance y Perspectiva* **18**, 415 (1999).



## Femtoquímica

**Bárbara Gordillo**

La Academia Sueca de Ciencias decidió otorgar el premio Nobel de Química 1999 a Ahmed Zewail, profesor de química y física del Tecnológico de California (Caltech) y director del Laboratorio de Ciencias Moleculares (LMS) de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) en Estados Unidos, por su trabajo pionero en lo que se ha denominado la femtoquímica, una nueva área de investigación en química.

Ahmed H. Zewail nació el 26 de febrero de 1946 en Egipto, en donde obtuvo su licenciatura y su grado de maestro en ciencias en química de la Universidad de Alejandría. Con la idea de realizar estudios de posgrado emigró a los Estados Unidos en donde es ahora residente nacionalizado. Obtuvo su grado de doctor en ciencias de la Universidad de Pennsylvania en 1974, su primer empleo como investigador lo consiguió en la Universidad de California en Berkeley y en 1976 se trasladó a Caltech donde inició una revolución en la química al llevar a cabo experimentos con su genial invento, una "cámara láser". Su naturaleza inquieta le ha llevado a aceptar a alrededor de 150 personas entre investigadores posdoctorantes, estudiantes de posgrado y profesores visitantes en sus impresionantes laboratorios en Caltech. Fue nombrado en 1982 profesor titular, y se le concedió en 1990 el honor de ser el primer catedrático Linus Pauling. Zewail ha recibido numerosos reconocimientos, entre ellos las medallas Benjamin Franklin, Real de la Academia de Artes y Ciencias de los países bajos, de oro Paul Karrer, R. C. Tolman, Nichols, Linus Pauling, Buck-Whitney; y los premios: R. A. Welch, Wolf, Rey Faisal, Leonardo

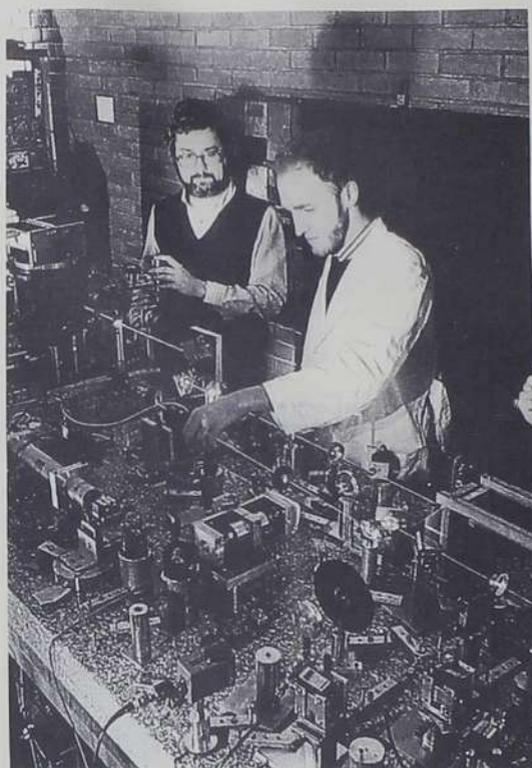
---

La Dra. Bárbara Gordillo es investigadora titular del Departamento de Química del Cinvestav. Dirección electrónica: [gordill@mail.cinvestav.mx](mailto:gordill@mail.cinvestav.mx)

Da Vinci, Roentgen, Bonner, Carl Zeiss, Hoechst, Alexander von Humboldt, H. P. Broida, E. K. Plyler, E. B. Wilson, P. Debye, Harrison-Howe; y de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos el premio a las Ciencias Químicas. El gobierno de Egipto le concedió en 1995 la orden al mérito y en 1998 una estampilla postal con su fotografía. Todos estos premios los ha obtenido Zewail por sus importantes contribuciones al entendimiento de los mecanismos de una serie y muy grande de reacciones analizadas por medio de láseres ultra-rápidos y que abarcan desde aquellas reacciones que suceden en la atmósfera hasta reacciones que involucran a las nucleobases del DNA o a la hemoglobina. Ha resumido sus contribuciones en más de un ciento de conferencias plenarias que ha impartido por todo el mundo. Al anunciarse que el próximo 10 de diciembre serán entregadas a Zewail las £600,000 correspondientes al premio Nobel, en Estocolmo, D. Carly, quien dedica su investigación a proponer las bases teóricas en las que se cimenta la técnica de los femtosegundos, comentó: "él fue la primera persona que encontró cuánto tiempo toma a los enlaces formarse o romperse"; pero Zewail no se conformó sólo con eso ya que a su vez él señaló: "ahora que se pueden ver los movimientos de los átomos, se comprenderá mejor su comportamiento y en el futuro seguramente se podrán controlar los resultados de sus reacciones".

## Fotografía flash: la femtoquímica

Observar un intermediario (una especie con un tiempo de vida media mayor a la duración de una vibración,  $10^{-12}$  s, un picosegundo) de una reacción no es una tarea fácil; sin embargo, el químico lo ha logrado no sólo gracias a su habilidad para estabilizar estas especies y aislarlas, sino también gracias a los avances en instrumentación que han permitido la aplicación de técnicas espectroscópicas de absorción, emisión, dispersión o iónicas para probar reacciones durante procesos reactivos. Los espectros de especies reactivas intermediarias presentan, a diferencia de las de los reactivos o productos, líneas desplazadas y anchas debido a la perturbación causada por la proximidad de los fragmentos del producto. Observar los estados de transición, los complejos activados en un estado de "cuasi-equilibrio" con los reactivos con duración de picosegundos, resultaba



casi inimaginable. Sólo un grupo de investigación, el grupo del J. Polanyi, tuvo éxito en 1980 al encontrar por medio de la espectroscopía de emisión el estado de transición en la reacción de un átomo de fluor con sodio molecular. Con la técnica de láser de femtosegundos esta empresa parece fácil.

La femtoquímica es el conjunto de técnicas analíticas que emplean un haz coherente de luz láser para estudiar la dinámica de los átomos y moléculas durante una reacción química. Es como tomar, con una cámara muy rápida, una fotografía relámpago de los intermediarios que participan en una reacción. Los intermediarios reactivos se pueden observar en "tiempo real" ya que el principio de la técnica se basa en que el pulso de un láser con una duración de apenas  $10^{-15}$  s (un femtosegundo, que es a un segundo lo que un segundo es a 32 millones de años), es similar en magnitud al pequeño lapso de tiempo en el que ocurren el rompimiento y la formación de nuevos enlaces en las etapas elementales

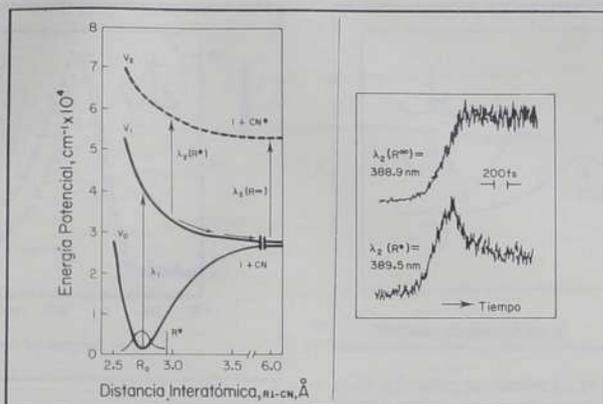


Figura 1. A la izquierda: Curvas de energía potencial de la disociación del ICN.  $V_0$ : molécula en el estado basal;  $V_1$ : el estado excitado repulsivo más bajo en energía;  $V_2$ : molécula disociada. A la derecha: las especies transitorias observadas por medio de fluorescencia inducida por láser<sup>1</sup>.

de las reacciones (10-200 femtosegundos). En otras palabras, a velocidades de femtosegundos se puede “congelar” el momento en el que los átomos y las moléculas se unen para formar nuevos compuestos.

## Un experimento con láseres ultra-rápidos

La cantidad de luz emitida por un intermediario reactivo en estado estacionario es normalmente menor que la emisión producida por los reactivos o productos de una reacción. Así, si se emplean pulsos de láseres ultra-cortos para irradiar a los átomos o moléculas que van a reaccionar, la sensibilidad de la detección de los estados de transición se aumenta por un factor de  $10^4$  a  $10^6$ . Esta es la clave de la femtoquímica, ya que a estos tiempos ultracortos todas las moléculas que atraviesan por el estado de transición pueden ser detectadas. Ahora lo difícil será encontrar la técnica para observar los cambios en la escala de tiempo de los femtosegundos.

Los primeros estados de transición que Zewail y su grupo de investigación en Caltech observaron en el “tiempo real” por femtoquímica, en 1985 y 1987, corresponden al rompimiento del enlace del iodocianuro ICN para dar  $I + CN$  y a la reacción que sucede regularmente en nuestra atmósfera, entre un átomo de hidrógeno y dióxido de carbono para dar monóxido de carbono y un

oxidrilo [ $H + CO_2 = CO + OH$ ] pasando por un intermediario HOCO que dura 1 picosegundo.

En un experimento típico de espectroscopía de femto-segundos, una molécula blanco se bombardea con un pulso de láser de duración tal que la excita y la pasa a un estado disociativo (en donde uno de los enlaces se comienza a hacer más largo para después romperse). La sonda que se usa para pulsar se retrasa por un lapso de tiempo y se sintoniza a una longitud de onda que corresponde a la excitación de resonancia del foto-fragmento final, que está siendo producido durante el proceso disociativo generando así una señal de fluorescencia inducida por láser o una señal de ionización multi-fotónica. La señal se registra como un punto en una curva de intensidad (medida a través de la concentración de la especie generada) en función del tiempo. El retraso de la sonda se altera hasta obtener una curva completa para la longitud de onda seleccionada (figura 1). La curva de retraso se repite a diferentes longitudes de onda hasta encontrar aquella que corresponde a la longitud de onda de absorción del fragmento en la región de transición. Cuando esto sucede, se registra una señal que tiene un máximo a periodos de tiempo cortos decayendo asintóticamente hasta un nivel constante. Esta serie de experimentos puede repetirse para diferentes pulsos de bombardeo, resultando en datos que constituyen una superficie de la cual se puede deducir la energía potencial para la formación de los estados excitados en una reacción.

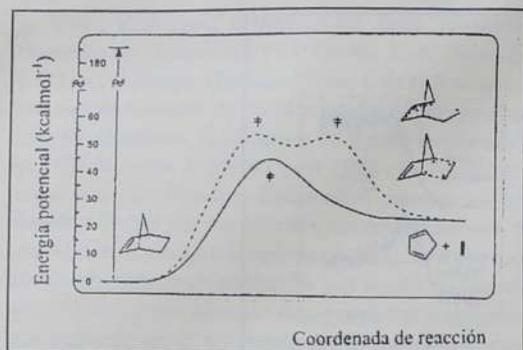


Figura 2. Corte a lo largo de la superficie de potencial en la reacción de Diels-Alder entre el ciclopentadieno y el etileno. Línea sólida: proceso concertado; línea punteada: vía intermedios (diradicales)<sup>5</sup>.

La femtoquímica se ha convertido en nuestros días en la técnica más explotada para estudiar diferentes tipos de problemas relacionados con los mecanismos de muchas reacciones. Una de ellas es la reacción de Diels-Alder (una reacción pericíclica de cicloadición que sucede entre un dieno y un alqueno), que fue descubierta en 1920. El mecanismo de esta reacción ha generado acalorados debates entre los investigadores, cuyos experimentos y/o cálculos teóricos demuestran en la mayoría de los casos que la reacción es concertada (procede vía un solo estado de transición), y en otros experimentos se sugiere que procede vía intermedios. En un experimento hecho por Zewail y colaboradores para un ejemplo de una reacción de Diels-Alder, la reacción entre el ciclopentadieno y el etileno (figura 2), usando un láser con pulso de femtosegundos, se obtuvo un intermedio (ciclopentadieno a 66 unidades de masa atómica) con tiempo de vida de 160 femtosegundos (figura 3).

Otro campo de investigación muy importante, en donde la femtoquímica ha contribuido de manera relevante, es la comprensión de los sistemas biológicos: como el proceso fotoquímico que involucra los cambios de la estereoquímica (*cis-trans*) en el retinal, lo que permite al ojo percibir la luz; la conversión eficiente de la energía en las moléculas de clorofila en el proceso de la fotosíntesis de las plantas; la comprensión de los procesos fotosintéticos a través de los cuales las bacterias transforman la energía solar en energía química, son algunos de los ejemplos donde esta tecnología de láseres ultra-rápidos ha dado la más importante información.

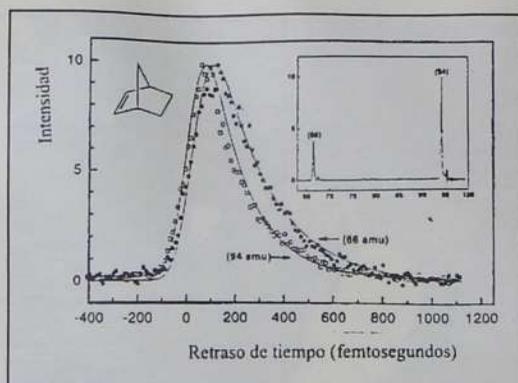


Figura 3. Espectrometría de masas obtenida por la técnica de femtosegundos para el norborneno. A 94 amu (unidades de masa atómica) el norborneno y a 66 amu el ciclopentadieno intermedio<sup>6</sup>.

En resumen, la femtoquímica ha cambiado nuestra visión sobre las reacciones químicas. Los términos energía de activación y estado de transición pueden dejar de imaginarse ya que con la cámara más rápida hasta ahora conocida, la cámara de láser con pulsos de femtosegundos, de A. H. Zewail, se puede ver los átomos individuales en movimiento cuando se enlazan para formar moléculas.

Agradecimientos: agradezco a la Dra. Angeles Paz sus valiosos comentarios.



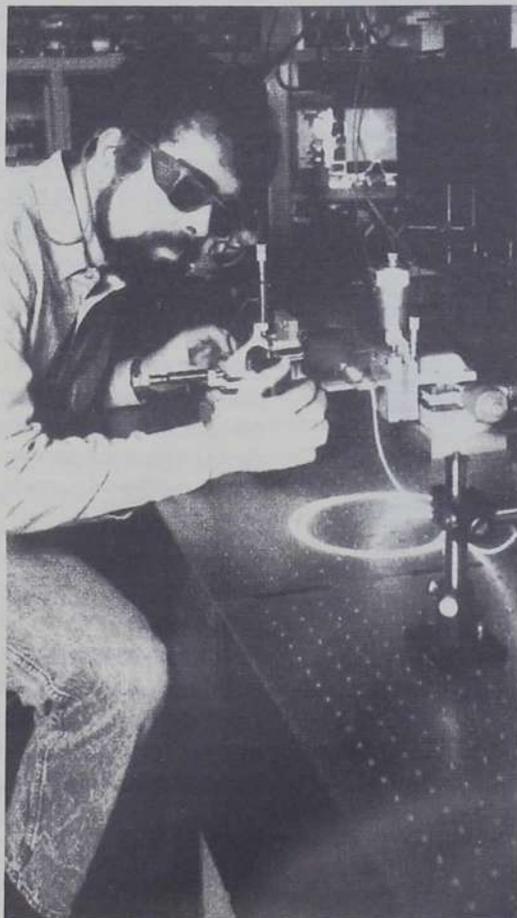
## Bibliografía recomendada

1. A. H. Zewail, *The Chemical Bond. Structure and Dynamics* (Academic Press, 1992).
2. A. H. Zewail, *Acc. Chem. Res.* **13**, 360 (1980).
3. Q. Liu, J.-K. Wang, y A. H. Zewail, *Nature* **364**, 427 (1993).
4. S. Borman, R. Dagani, y R. L. Rawls, P. S. Zurer, *Chemical & Engineering News*, 12 (enero 1998).
5. B. A. Horn, J. L. Herek, y A. H. Zewail, *J. Am. Chem. Soc.* **118**, 8755 (1996).

6. D. P. Millar, R. J. Robbins, y A. H. Zewail, *J. Chem. Phys.* **74**, 4200 (1981).

7. J. C. Polanyi, y A. H. Zewail, *Acc. Chem. Res.* **28**, 119 (1995).

8. Veáse también <http://www.its.caltech.edu/~femto/pubs.html>





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

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

Los artículos y notas recibidos serán evaluados por especialistas seleccionados por el Consejo Editorial. Los artículos de divulgación deben dar cuenta de los logros o avances obtenidos en las especialidades que se cultivan en el CINVESTAV. Se buscará que su contenido sea ameno y novedoso. Deberán ser escritos a máquina, a doble espacio, con márgenes amplios y extensión máxima de 20 cuartillas. El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud conveniente. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión. Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen al principio no mayor de cinco líneas, a manera de introducción, que atraiga el interés del lector. Las referencias bibliográficas aparecerán completas al final del artículo; cuando se mencionen en el artículo deberán indicarse con un superíndice y estar numeradas por orden de aparición. Deberán enviarse los originales de las figuras, gráficas o fotografías que acompañen el texto. Las figuras y gráficas se deben preparar por computadora a línea sin pantallas o con tinta china sobre papel albanene con buena calidad. Los autores recibirán las pruebas de galera de sus artículos con la debida anticipación. Sin embargo, para evitar retrasos en el proceso de publicación, los autores que usen un procesador de textos en microcomputadora, además del texto impreso en papel, deben enviar su texto grabado en un disco flexible. Los procesadores de texto útiles para este propósito son: Microsoft Word, Word Perfect, Ami Pro, Xy Writer, Wordstar y Multimate, guardando el documento con la extensión DOC.

## Biología Celular en el Premio Nobel

**Fernando Navarro García, Manuel Hernández y Mireya de la Garza**

Para la comunidad científica es una sorpresa agradable encontrar que, con motivo del anuncio de los premios Nobel, podamos hallar diversos encabezados de publicaciones haciendo referencia al Dr. Günter Blobel, ganador del premio Nobel de medicina correspondiente a 1999. Probablemente uno de los encabezados favoritos es *Nobel Prize in Medicine goes to cell biologist*, título muy apropiado, pues el ganador en esta ocasión es un verdadero biólogo celular, profesor de Biología Celular en la Universidad Rockefeller, con 20 años de experiencia en los mecanismos moleculares de las células.

A finales de los años 60 Blobel ingresó como investigador posdoctoral al famoso laboratorio de George Palade. Todo empezó, como él mencionó en reciente entrevista para *News Hour*, "cuando llegué a la Universidad de Rockefeller, mi mentor, George Palade, ya había usado el microscopio electrónico para describir muchas estructuras en la célula y postulado varias teorías de cómo las proteínas se mueven dentro de la célula, de las cuales no se sabían los mecanismos moleculares". En el Laboratorio Palade, durante dos décadas, varios biólogos celulares habían estudiado la estructura de la célula y los principios para el transporte de proteínas sintetizadas de "novo" hacia fuera de la célula—Blobel como investigador posdoctoral trató de resolver la parte del mecanismo molecular de cómo las proteínas se mueven en la célula—; este trabajo le permitió a Gorge Palade ganar el Premio Nobel en Fisiología en 1974 (que compartió con los científicos belgas Albert Claude y Christian de Duve).

---

Los autores son investigadores del Departamento de Biología Celular del Cinvestav. Dirección electrónica: mireya@cell.cinvestav.mx

## Transporte de proteínas

El Instituto Karolinska comunicó al Dr. Günter Blobel que era el laureado Nobel de 1999 en fisiología y medicina por su trayectoria científica en el descubrimiento y caracterización detallada del sistema de transporte de proteínas en las células. Las investigaciones de Blobel se centran en varias funciones importantes de las células. Un humano adulto está formado por alrededor de 10 billones de células; una célula contiene muchos compartimentos diferentes, los organelos que están especializados en funciones diferentes, y las membranas y los compartimentos cerrados que los constituyen están compuestos de distintas proteínas. Cada célula contiene cerca de mil millones de proteínas. Las diferentes proteínas tienen diversas funciones importantes: algunas constituyen los "ladrillos" que forman la célula, mientras que otras funcionan como enzimas, que catalizan miles de reacciones químicas específicas. Además, dentro de la célula las proteínas sufren un recambio, es decir son constantemente degradadas y resintetizadas. El número de aminoácidos —las unidades que constituyen cada proteína— puede ser desde 50 a varios miles en una sola proteína y forman largas cadenas dobladas.

Por otro lado, generar las proteínas y enviarlas a destinos apropiados dentro de la célula es una actividad vital para la célula misma. Sin embargo, las membranas de los organelos son impermeables a las proteínas. Esencialmente las proteínas son sintetizadas por estructuras llamadas ribosomas, en solo uno de los compartimentos celulares, el citoplasma.

## Correo celular

Dentro del marco de los procesos ya mencionados, Blobel y sus colaboradores contestaron muchas preguntas en sus investigaciones que fueron pioneras en este campo: ¿cómo son dirigidas las proteínas sintetizadas de "novo" a sus membranas y compartimentos apropiados?, ¿cómo son transportadas las proteínas de secreción fuera de la célula?, ¿cómo estas moléculas relativamente grandes pueden atravesar los compartimentos membranosos, sin destruir los gradientes esenciales de iones y las pequeñas moléculas que existen entre estas membranas?, ¿cómo se integran las proteínas dentro de la

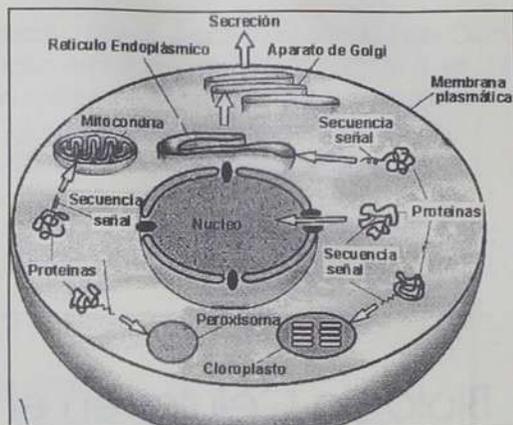


Figura 1. Ejemplos de transporte dirigido mediado por señales topogénicas.

membrana, de tal modo que cada miembro de una especie de proteínas dada exhiba precisamente el mismo dominio en el lado *cis* y el lado *trans* de la membrana?

Basado en elegantes experimentos bioquímicos, Blobel describió en 1975 las diferentes etapas de estos procesos. La clave consiste en un péptido señal, i.e. una secuencia de aminoácidos en un orden particular que forma parte de la misma proteína. Blobel estableció que la célula usa esta secuencia señal, un sistema de código postal, para dirigir proteínas a membranas celulares específicas. La secuencia señal consiste de 10-30 aminoácidos. Cada proteína recién elaborada tiene una dirección organelo específica, un tramo referido como secuencia señal, que es reconocida por otras proteínas, receptores sobre la superficie de los organelos.

Con base en estos resultados, Günter Blobel formuló en 1980 los principios generales para seleccionar y dirigir proteínas a un compartimento celular particular. Así, cada proteína acarrea en su estructura la información necesaria para determinar su propia localización en la célula.

Secuencias específicas de aminoácidos (señales topogénicas) determinan si una proteína pasará a través de una membrana dentro de un organelo particular, si vendrá a ser integrada dentro de una membrana, o será exportada fuera de la célula. Varias de las señales que

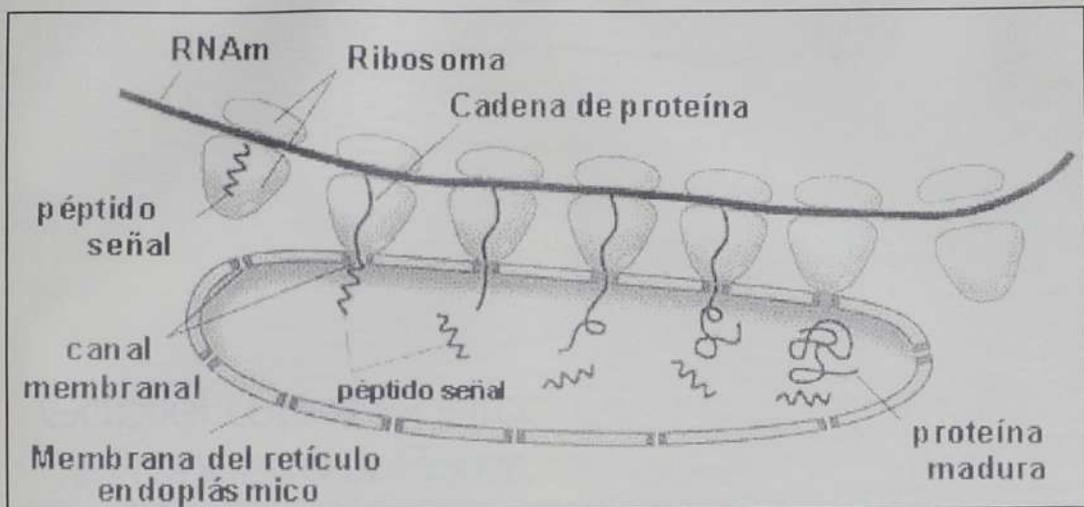


Figura 2. "La hipótesis de la señal". Las proteínas que serán exportadas fuera de la célula son sintetizadas por ribosomas, asociados con el retículo endoplásmico.

gobiernan a las proteínas hacia las diferentes partes de la célula han sido identificadas (Fig. 1).

Blobel también ha sugerido que las proteínas atraviesan la membrana del retículo endoplásmico (RE) a través de un canal (Fig. 2); el RE es, junto con los ribosomas, el responsable de la síntesis de proteínas. En el RE la unión de la secuencia señal con su receptor abre un canal de agua en la membrana a través del cual la proteína puede viajar.

El direccionamiento mediado por una secuencia señal y la translocación de la proteína a través de la membrana puede ocurrir por cuando menos dos mecanismos distintos. En uno —ejemplificado por la translocación de proteínas a través de la membrana del RE— la secuencia señal es primero detectada por un factor soluble de reconocimiento, el cual se une a un receptor en la membrana. Después de su liberación del complejo de direccionamiento, la secuencia señal sirve como un ligando para abrir un canal conductor de proteínas (CCP), que permite la translocación a través de la membrana. Las proteínas atraviesan los canales en una configuración desdoblada, debido al limitado diámetro del canal (~2 nm). Es de particular interés, el hecho de que los CCP son también usados para la integración de proteínas dentro de la bicapa lipídica de la membrana, a través de otro meca-

nismo que incluye la secuencia señal y una secuencia de "paro de la transferencia".

## Significado de los descubrimientos de Blobel

Los descubrimientos de Günter Blobel han tenido un impacto inmenso en las investigaciones en la biología celular moderna. Cuando una célula se divide, grandes cantidades de proteínas están siendo sintetizadas y se forman nuevos organelos. Si la célula está funcionando correctamente, las proteínas tienen que ser dirigidas a sus localizaciones apropiadas. Las investigaciones de Blobel han aumentado substancialmente nuestro entendimiento de los mecanismos moleculares que gobiernan estos procesos. Más aún, el conocimiento de las señales topogénicas han ayudado al entendimiento de muchos mecanismos médicamente importantes.

Las investigaciones de Blobel explican los mecanismos moleculares relacionados con varias enfermedades genéticas. Si una señal de selección en una proteína es cambiada, la proteína podría terminar en una localización errónea dentro de la célula. Un ejemplo es la enfermedad hereditaria hiperoxaluria, la cual causa

cálculos renales a temprana edad. Algunas formas de hipercolesterolemia —nivel alto de colesterol en la sangre— se deben a una deficiencia en señales de transporte. Otras enfermedades hereditarias, por ejemplo la fibrosis quística, son causadas por el hecho de que las proteínas no alcanzan su destino apropiado.

Por otro lado, el conocimiento generado por Blobel acerca de los procesos por los cuales las proteínas están siendo dirigidas a diferentes partes de la célula también hace posible diseñar nuevas drogas que sean dirigidas a un organelo en particular, para corregir un defecto específico. Además, las nuevas tecnologías en biología molecular para controlar células en una manera específica y los estudios de direccionamiento de las proteínas también serán importantes para la terapia génica.



## Notas

Se recomiendan las siguientes direcciones de la red web para abundar en mayor detalles sobre este tema.

1. Nobel Prize in Medicine goes to cell biologist:  
<http://www.thriveonline.com/health/news/RB/1999Oct11/4.html>

2. Physiology or Medicine 1999:  
<http://www.nobel.se/laureates/medicine-1999.html>

3. Günter Blobel lab.:  
<http://www.rockefeller.edu/labheads/blodel/blodel-lab.html>

4. Blobel biography:  
<http://www.rockefeller.edu/pubinfo/blobelbio.html>

5. Günter Blobel. Intracellular Protein Traffic:  
<http://www.hhmi.org/science/cellbio/blobel.html>

6. Blobel CV:  
<http://www.nobel.se/announcement-99/med-cv.html>

7. Press Release, Karolinska Institutet:  
<http://www.nobel.se/announcement-99/medicine99.html>

8. Online News Hour: Nobel Prize for Medicine:  
<http://www.pbs.org/newshour/nobel-1999/blobel.html>

## Gabriel López Castro y Francisco J. Flores Murrieta, premios AMC 1999

La Academia Mexicana de Ciencias (AMC) otorgó el Premio de Investigación 1999 a dos investigadores del Cinvestav: al Dr. Gabriel López Castro en el área de las ciencias exactas y al Dr. Francisco J. Flores Murrieta en el área de investigación tecnológica. Este premio es otorgado cada año por la AMC a los investigadores menores de 40 años que se han destacado por sus aportaciones al conocimiento en las áreas de las ciencias exactas, ciencias naturales, ciencias sociales y la investigación tecnológica.

Los candidatos a este premio deben haber realizado su trabajo de investigación como miembros de la planta académica o de investigadores de una institución mexicana. A partir de la presente convocatoria, este premio es indivisible en cada una de las cuatro áreas mencionadas.

El Dr. Gabriel López Castro es investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav. Realizó sus estudios de licenciatura en física en la Universidad Autónoma de Puebla, los de maestría en ciencias en el departamento de Física del Cinvestav y el doctorado en la Universidad de Lovania, Bélgica. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Autónoma de Madrid y desde 1988 se incorporó a la planta académica de este departamento.



Gabriel López Castro

El trabajo de investigación del Dr. López Castro se ha centrado en analizar y desarrollar resultados que son de interés inmediato para los grupos experimentales que trabajan en los grandes laboratorios de partículas elementales. No es frecuente encontrar esta actitud en nuestro país, donde sólo de manera reciente se han integrado grupos experimentales en esta área del conocimiento. Entre las principales aportaciones realizadas por el Dr. López Castro, sobresalen sus análisis independientes de modelo del fenómeno de resonancias en física de partículas elementales, los análisis de precisión de los ángulos de mezcla involucrados en la matriz de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa (CKM), y el estudio de las propiedades físicas del sector de sabores pesados de las partículas elementales (leptón  $\tau$ , quark  $b$ , y hadrones de espín 1 y 3/2).



Francisco J. Flores Murrieta

El trabajo de investigación realizado por el Dr. López Castro ha tenido una repercusión importante en el medio internacional. En especial sobresalen las citas a su trabajo sobre las masas y anchuras de decaimiento de las partículas y que fueron incluidas en la "biblia" de la física de partículas elementales, *Review of Particle Properties*, dentro del grupo de trabajos más importantes realizadas sobre el tema, y las citas de la colaboración experimental CLEO sobre su determinación del elemento  $V_{ub}$  de la matriz CKM. Además, un porcentaje relativamente alto (25%) de las citas a sus artículos de investigación ha sido hecho en artículos de revisión o en contribuciones presentadas en reuniones científicas internacionales. Sus artículos de investigación han recibido más de 210 citas en la literatura científica, 170 de ellas hechas por otros autores.

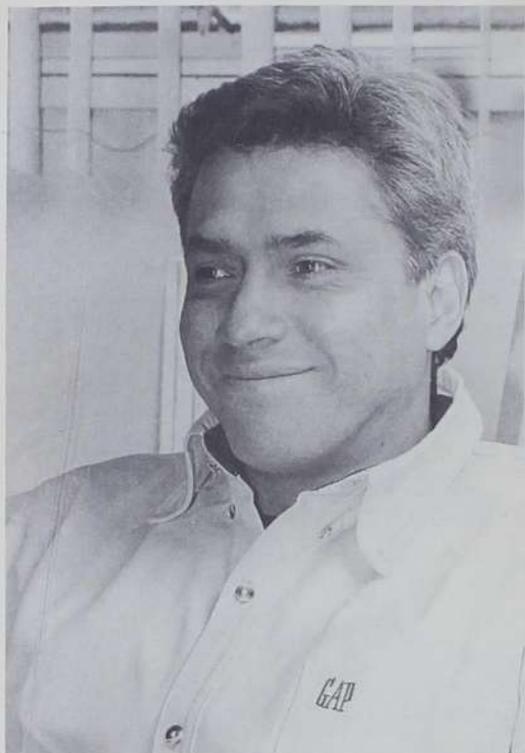
A la fecha ha publicado 36 artículos originales de investigación y 8 artículos en memorias de reuniones académicas. El Dr. G. López Castro se ha destacado también como un excelente formador de nuevos investigadores. Ha dirigido tres tesis de doctorado y cinco de maestría. En particular, el año pasado el Dr. José Herman Muñoz recibió el Premio Weizmann de la AMC por la tesis de doctorado que realizó bajo la dirección del Dr. López Castro.

El Dr. Francisco J. Flores Murrieta es investigador titular del Departamento de Farmacología y Toxicología del Cinvestav. Es químico farmacéutico biólogo de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Realizó sus estudios de maestría y doctorado en el Departamento de Farmacología y Toxicología del Cinvestav y se incorporó a la planta académica de este departamento en 1992. Su campo de investigación es la farmacocinética. Ha publicado 44 artículos originales de investigación en esta área del conocimiento y 13 artículos en memorias de reuniones académicas. En el aspecto de formación de recursos humanos, el Dr. Flores Murrieta ha dirigido una tesis de licenciatura, 8 de maestría y una de doctorado.

La investigación tecnológica que realizó el Dr. Flores Murrieta y que fue resaltada al otorgarle el Premio de Investigación 1999 de la AMC cubre algunos aspectos fundamentales de la farmacocinética que permitieron optimizar la terapia de algunas enfermedades. En particular, diseñó métodos analíticos para cuantificar fármacos en fluidos biológicos que permiten caracterizar la farmacocinética de estos agentes. Observó que la farmacocinética de varios fármacos que se metabolizan por medio del compuesto CYP3A4 resulta ser diferente en enfermos mexicanos que los registrados en países desarrollados. En consecuencia, estos fármacos deben administrarse en dosis inferiores en nuestro medio. El Dr. Flores Murrieta comparó además la biodisponibilidad de los diferentes medicamentos con el fin de establecer si correspondían a compuestos genéricos intercambiables.



A raíz de esta experiencia, la Secretaría de Salud invitó al Dr. Flores Murrieta a integrarse a los comités encargados de elaborar la norma NOM-177-SSAI-1988, y que fue publicada en 1999, para aplicar estudios de biodisponibilidad y bioequivalencia en laboratorios del sector público y privado. Finalmente, la AMC resaltó las evaluaciones que ha realizado el Dr. Flores Murrieta para determinar la relación entre la farmacocinética y el efecto farmacológico de diferentes sustancias. Estos estudios son indispensables para desarrollar y optimizar el uso de fármacos y establecer regímenes de dosificación que permitan obtener un mejor efecto terapéutico con la mínima incidencia de efectos colaterales.



Jorge A. Torres Muñoz

## Jorge A. Torres Muñoz, jefe del Departamento de Control Automático.

La Dirección General del Cinvestav designó al Dr. Jorge A. Torres Muñoz como primer jefe del Departamento de Control Automático, de reciente creación en el Cinvestav. Este nombramiento es por un periodo de cuatro años efectivo a partir del 21 de septiembre de 1999.

El Dr. J. A. Torres Muñoz obtuvo su doctorado en Ingeniería en el Instituto Politécnico de Grenoble, Francia. Su campo de investigación es el análisis de sistemas lineales bajo los enfoques algebraicos y geométricos y las aplicaciones de la teoría de control robusto.

El Departamento de Control Automático cuenta con una planta académica de 14 investigadores, 4 titulares y 10 adjuntos. Ofrece los programas de maestría y doctorado en ciencias en la especialidad de Control Automático.

En la actualidad, estos programas de posgrado tienen inscritos a 44 y 17 estudiantes de maestría y doctorado, respectivamente.

### Notas Breves

El **Dr. Pedro Joseph-Nathan**, investigador emérito del Departamento de Química del Cinvestav, ingresó como miembro correspondiente de la Academia Nacional de Ciencias de Bolivia. En el pasado había recibido una distinción similar por la Academia de Artes y Ciencias de Puerto Rico (1983), la Academia Argentina de Farmacia y Bioquímica (1991), la Academia Peruana de Farmacia (1995) y la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1997).

La Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería realizó en 1999 el primer certamen para premiar a las mejores tesis de licenciatura y posgrado en esta área del

conocimiento. Los primeros lugares para tesis de maestría y doctorado correspondieron a estudiantes de la Unidad Irapuato: **Juan Manuel de la Fuente Martínez** (doctorado) y **Ana Tztzqui Chávez** (maestría); ambas tesis fueron dirigidas por el **Dr. Luis Herrera Estrella**. Además, se otorgó una mención honorífica en tesis de doctorado a **Eugenio Martín Pérez Molphe**, con una tesis dirigida por el **Dr. Neftalí Ochoa Alejo**.

El **Dr. Octavio Paredes López**, director de la Unidad Irapuato del Cinvestav, fue admitido como miembro de la Academia de Ciencias y Tecnología de Alimentos, recientemente creada por la International Union of Food Science and Technology.

## ¿Quién es Martinus Veltman?

**Lorenzo Díaz Cruz**

Si hubiéramos planteado esta pregunta hace tan solo unas pocas semanas, muy pocas personas en todo México habrían conocido la respuesta. En cambio ahora, cualquiera que haya visto las noticias nos podría responder que Martinus Veltman, junto con Gerard 't Hooft, son los ganadores del Premio Nobel de Física 1999; incluso alguno más nos podría decir, repitiendo la cita de la Academia Sueca de Ciencias que se les dio “por haber elucidado la naturaleza cuántica de las interacciones electrodébiles”. Este premio Nobel, el último de la presente centuria, es un premio que muchos consideraban obligatorio, justo y merecido, pero también se consideraba, por algunas torceduras sociológicas de las que ni la física puede escapar, un premio que difícilmente llegaría a los presentes destinatarios. Enhorabuena que la Academia Sueca haya rectificado, y haya agregado un poco de justicia poética a una historia donde M. Veltman jugó un papel central, y que merece ser contada.

A principios de los años 60 se conocían tres aspectos de la física de partículas elementales asociados a cada una de las fuerzas conocidas que juegan un papel en el mundo microscópico: electromagnéticas, débiles y fuertes. Las interacciones electromagnéticas eran descritas por una teoría consistente (o renormalizable), la electrodinámica cuántica, por cuya fundamentación se otorgó el Nobel en 1966 a R. Feynman, J. Schwinger y S. Tomonaga. Estos autores lograron establecer un método para tratar todos los infinitos que invariablemente están asociados a las teorías cuánticas del campo,

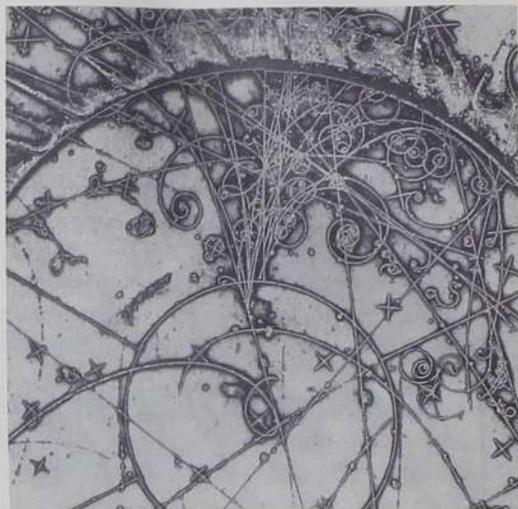
---

El Dr. Lorenzo Díaz Cruz es investigador titular del Instituto de Física de la Universidad Autónoma de Puebla. Dirección electrónica: [ldiaz@sirio.ifuap.buap.mx](mailto:ldiaz@sirio.ifuap.buap.mx)

que surgen al combinar los dos pilares de la física del siglo XX: la relatividad especial y la mecánica cuántica. Durante los años 50 se detectaron muchas partículas y se midieron propiedades asociadas a las fuerzas débiles y fuertes. Un ejemplo de la fuerza débil lo constituye el decaimiento beta del neutrón: un neutrón se convierte en un protón, un electrón y un neutrino; este último es en realidad una especie de fantasma que se requiere para respetar la conservación de la energía. El tiempo de vida del neutrón es de aproximadamente 8 segundos. También se midieron tiempos de vida de otras partículas que eran más pequeños, típicamente del orden de  $10^{-12}$  segundos, y otros aún más pequeños de  $10^{-16}$  segundos. La existencia de estas tres escalas de tiempo nos dice que hay una jerarquía de intensidad de las fuerzas. Mientras mayor sea la energía ( $\Delta E$ ) asociada a una interacción menor será el tiempo de vida ( $\Delta \tau$ ), lo cual resulta de la aplicación del principio de incertidumbre:  $\Delta E \Delta \tau \geq h$ . Todos los intentos por obtener una teoría para las interacciones débiles y fuertes, al menos tan buena como la electrodinámica cuántica, resultaron infructuosos. Incluso muchos grupos de investigadores se plantearon seriamente la idea de que había llegado a su fin la teoría cuántica de campo.

Uno de los pocos físicos que mantuvieron la creencia de que las interacciones débiles podrían ser descritas por una teoría cuántica de campo fue precisamente Veltman, quien se preparó durante toda una década para atacar el problema. Para esto se concentró primero en un modelo matemático con poco contacto con la realidad, que contenía una simetría que habría de resultar la clave para llegar a la respuesta correcta: la llamada simetría de norma (las teorías con esta simetría se les conoce como teorías de norma o de Yang - Mills, que fueron quienes primero las propusieron). Este punto de vista ha tenido un gran impacto en la física teórica, tanto así que muchas de las ideas nuevas se describen en términos de las teorías de norma, con una estructura matemática que puede ser más complicada, pero está ubicada en este marco.

Durante la década de los años 60 Veltman trabajó los aspectos básicos tanto de las teorías de norma sin masa, como también las masivas. Para poder realizar estos cálculos Veltman dedicó una parte considerable de esfuerzo a la creación de uno de los primeros lenguajes de computación, diseñado para manipular expresiones algebraicas (llamado *schoonship*). En esta etapa trabajó



con algunos estudiantes que años después habrían de alcanzar prestigio propio, notablemente B. de Witt y P. van Nieuwenhuisen. Sin embargo, todavía estaba por aparecer otro estudiante aún más brillante, el mejor físico del último tercio del siglo, en opinión de quien esto escribe: G. 't Hooft. Después de sugerirle un primer problema que poco agradó a ambos, 't Hooft convenció a Veltman de que le asignara un verdadero reto, el problema de los infinitos en teorías de norma.

El grado de avance fue sumamente deslumbrante, en menos de dos años 't Hooft, con la asesoría de Veltman, logró afinar la demostración de que las teorías no-abelianas sin masa eran renormalizables, posteriormente identificó una clase de teorías con masa que también eran renormalizables: las llamadas teorías con rompimiento espontáneo de la simetría. Cuando Tini Veltman comunicó a varios expertos que un estudiante de 22 años había encontrado estos resultados no podían creerlo; quienes le habían dicho que "estaba perdido en una de las esquinas olvidadas de la física", tuvieron que reconocer el mérito del grupo de Utrecht. Cuando 't Hooft y Veltman decidieron aplicar sus técnicas en un modelo más realista, encontraron que había algunos modelos propuestos por S. Weinberg y A. Salam, que a su vez se habían basado en el de S.L. Glashow, y donde conjeturaban que tales teorías eran consistentes sin dar una demostración, puesto que ellos mismos no tenían idea de cómo hacerlo. Esos trabajos habían permanecido

sin recibir la atención de la comunidad precisamente porque no daban esa demostración.

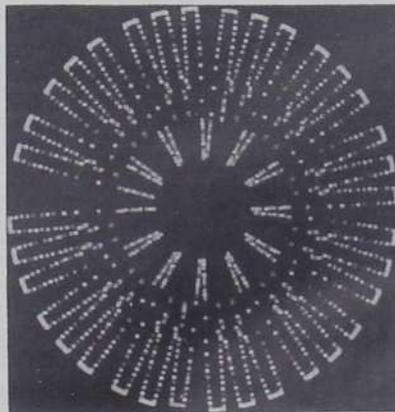
A la luz de los nuevos descubrimientos de 't Hooft y Veltman, se encuentra que aquellos modelos de Weinberg y Salam son inconsistentes, pues sólo incluyen a los leptones, y es necesario incorporar a los quarks para eliminar “la cabeza de la Hydra” (las anomalías triangulares).

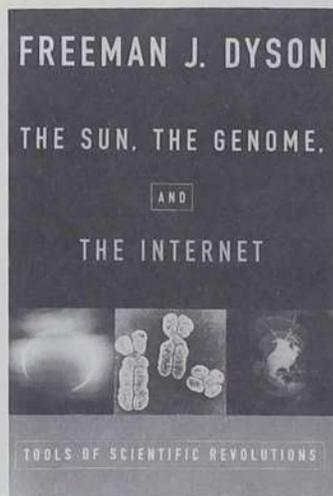
Si alguien hubiera dicho en ese entonces a 't Hooft y Veltman que el premio Nobel de 1979 correspondería a Glashow, Weinberg y Salam, “por haber establecido la unificación electrodébil por unos trabajos, ique formalmente no son correctos!, lo hubieran tomado como broma. Pero la broma se hizo realidad.

En los años 70 't Hooft y Veltman tuvieron una colaboración muy fructífera: en 1972 propusieron un nuevo método para el tratamiento de infinitos que también fue propuesto por los argentinos Bollini y Giambiagi; en 1976 desarrollaron un método para el cálculo de integrales multidimensionales que aparecen en las aplicaciones de la renormalizabilidad en el cálculo de propiedades de las partículas. También lograron un avance en el tratamiento de una teoría cuántica de la gravedad, aunque sin lograr el éxito deseado.

En 1980 Veltman se mudó a la Universidad de Michigan, donde se dedicó al estudio de las correcciones radiactivas y del sector de Higgs (escalar); toda una

generación de estudiantes tuvimos la fortuna de tomar sus cursos y consejos y de palpar algunos aspectos de su amargura, por la manera mezquina como —según él mismo— actuó la comunidad y el Comité de Premiación Nobel. Era todo un espectáculo verlo en acción cuando literalmente trituraba los argumentos de los conferencistas, por muy famosos que éstos fueran, o cuando retaba a que alguien apostara su salario si realmente estaba seguro de alguna idea. En mi opinión, al margen de todo, lo mejor era su actitud totalmente apasionada y a la vez honesta con la que defendía sus ideas. ¿Y 't Hooft?, esa mente prodigiosa es todavía otra historia, o varias más (instantones, QCD, renormalizaciones, hoyos negros cuánticos), y quién sabe si el año menos pensado nos da la sorpresa de un segundo premio Nobel.





**The sun, the genome and the internet**, Freeman J. Dyson, Oxford Univ. Press, 1999

Miguel Angel Pérez Angón

El subtítulo que seleccionó Freeman J. Dyson para este libro, *Tools of scientific revolutions*, resulta de lo más apropiado en el conjunto de ensayos y reflexiones sobre la ciencia y la tecnología que se ha generado

en el actual ambiente finisecular. Freeman J. Dyson es uno de los pocos sobrevivientes del grupo pionero que creó entre 1950 y 1960 la Teoría Cuántica del Campo como una versión matemáticamente consistente de la unificación de la mecánica cuántica y de la relatividad especial<sup>1</sup>. A pesar de su formación profesional como físico teórico, Dyson se precia de haber contribuido de manera importante a la generación de tres proyectos en "física aplicada": (1) el diseño de los sistemas de seguridad de los reactores nucleares TRIGA (1956); (2) el diseño de la tecnología de óptica adaptativa que se ha utilizado en los espejos flexibles de los grandes telescopios para compensar la distorsión de imágenes ópticas producida por la turbulencia de la atmósfera; y (3) el diseño de detectores de minas, tan ligeros y sencillos como para ser utilizados por civiles en Camboya, Bosnia, Angola y Afganistán. Este último proyecto fue determinante para salvar un gran número de vidas humanas a un costo realmente bajo.

Con estos antecedentes, Freeman J. Dyson nos ofrece una amena reflexión sobre las herramientas que generaron las grandes revoluciones científicas y técnicas del siglo XX. En este contexto, prefiere el esquema conceptual promovido por Peter Galison<sup>2</sup> para definir los descubrimientos científicos a partir de la invención de nuevas herra-

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

mientas y no de la generación de nuevos conceptos (paradigmas) como propone Thomas Kuhn<sup>3</sup>. Dyson sostiene que la diferencia principal entre la ciencia galisoniana y la ciencia kuhniana es sólo una cuestión de énfasis: mientras que Kuhn enfatiza las ideas, Galison prefiere las herramientas utilizadas para realizar los grandes descubrimientos científicos y técnicos. Kuhn percibe a la ciencia desde el punto de vista del físico teórico, dando por sentada la obtención de los datos experimentales y concentrándose en los grandes momentos de imaginación teórica que permitieron entender y sistematizar esos datos experimentales. En cambio, Galison ve a la ciencia como un físico experimental, concentrándose en los grandes momentos asociados al ingenio práctico y organizativo que permitió obtener nuevos datos experimentales.

## La ciencia: ¿física o biología?

Recientemente, Marcelino Ce-rejido<sup>4</sup> propuso en estas mismas páginas que el desarrollo producido en el Siglo XX en la biología la sitúa como el paradigma de las disciplinas científicas y que en consecuencia desplaza a la física de esta posición. En cambio, Dyson en este libro plantea la situación opuesta: el actual desarrollo de

la biología todavía no puede equipararse al alcanzado por la física esencialmente por dos razones. En primer lugar, el entrenamiento y la actitud científica de los biólogos hasta ahora no contempla la construcción de sus propias herramientas para realizar sus experimentos. En segundo lugar, los biólogos tampoco se han preocupado por generar sus propios modelos matemáticos para describir el comportamiento de los sistemas biológicos.

Estas dos limitaciones quedan ilustradas de manera rotunda al comparar dos proyectos científicos de grandes dimensiones (*big-science projects*) que se están desarrollando actualmente y que son de importancia fundamental para la biología y la astronomía. Ambos proyectos son de carácter similar y tiene sentido compararlos tanto en sus objetivos como en su metodología desde las perspectivas de la biología y la astronomía. Se trata del proyecto de genoma humano y del proyecto Sloan de exploración celeste por medios digitales (SDSS por sus siglas en inglés). El primero se propone descodificar (*sequencing*) el genoma humano completo, esto es, identificar la cadena completa de tres mil millones de letras en el ADN del ser humano. Este proyecto se inició en 1990 con un gran número de laboratorios e investigadores distribuidos en todo el mundo y se espera que termine en el año

2005. No obstante, en la actualidad sólo se ha logrado secuenciar un décimo del genoma, de modo que se ve difícil cumplir con la meta en el 2005 a menos que, en opinión Dyson, este proyecto se proponga mejorar las actuales técnicas bioquímicas de secuenciación de genes (reacciones en cadena de polimerasas), ya que su fundamento sigue siendo todavía la química tradicional. El costo estimado del proyecto del genoma humano es de tres mil millones de dólares. En cambio, el costo del proyecto SDSS es de sólo ochenta millones de dólares. Este proyecto también es una empresa colectiva, en la que participan los astrónomos de siete universidades norteamericanas para realizar el mapeo electrónico del hemisferio norte de la bóveda celeste. Su meta es observar el hemisferio norte completo con cámaras electrónicas y registrar las imágenes en memoria digital. Se espera que tome cinco años en terminarse este proyecto. La primera pregunta que surge, ¿por qué existe tanta diferencia entre ambos proyectos? Según Dyson, porque el proyecto DLSS es sustentable y el del genoma humano no. Para Dyson, un proyecto científico es sustentable si es lo suficientemente barato para que sea el primero de una serie de experimentos que puedan continuar de manera indefinida en el futuro. Un proyecto no es sustentable si es tan costoso que no

puede ser repetido a menos que se ganen batallas políticas de consideración. En este último caso entran proyectos como el programa Apolo norteamericano para realizar expediciones humanas a la luna, el cual está prácticamente suspendido a menos que surja una motivación política para renovarlo. El proyecto del genoma humano puede entrar en esta categoría no sustentable a menos que se proponga generar una nueva tecnología para secuenciar genes de manera rápida y más barata que los procedimientos actuales. Según Dyson, esta posibilidad debió ser considerada precisamente desde el inicio del proyecto del genoma humano de modo que lograra encajar en la categoría de proyectos sustentables.

## ¿Predicciones en biología?

Como observa Cerejido en su artículo reciente<sup>4</sup>, los sistemas biológicos son sistemas complejos, termodinámicamente abiertos, que son emporios de la no-linealidad. No obstante, todavía no conocemos las leyes microscópicas que gobiernan sus múltiples componentes o las ecuaciones (dinámicas) que determinan su comportamiento como un todo. Por lo menos esto no sucede en el mismo nivel de modelación matemática que nos permite entender y hacer predicciones sobre el compor-



tamiento de un fluido o un conjunto de cristales a pesar de que sean sistemas físicos complejos y sujetos a ecuaciones matemáticas no lineales.

Es en este punto donde Dyson ve una diferencia profunda entre el enfoque de un físico y un biólogo por entender la naturaleza: ¿recuerda alguno de nuestros lectores algún premio Nobel otorgado en Medicina o Fisiología por una predicción teórica que luego haya sido confirmada experimentalmente? De mi parte no logré recordarlo, pero en cambio en Física abundan los premios Nobel asociados a predicciones que en su momento fueron verificadas: Dirac (existencia de antimateria), Lee y Yang (violación de la paridad como simetría de la naturaleza), Gellmann (existencia de partículas pesadas en multipletes de  $SU(3)$ , *the eightfold way*), Fisher y Wilson (comportamiento crítico

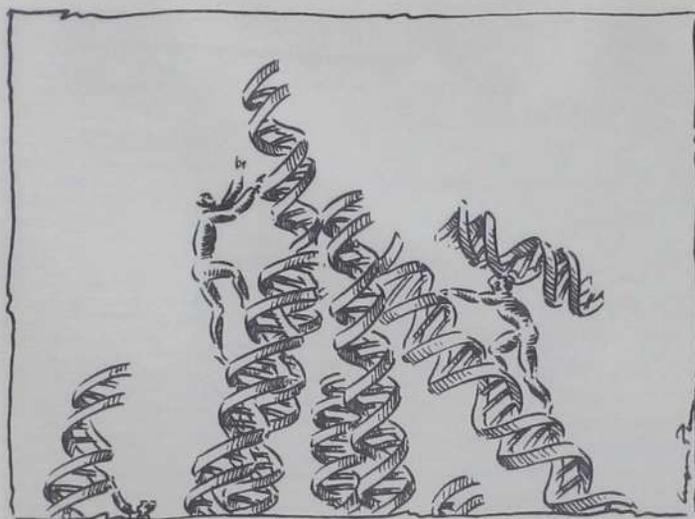
de la materia en las transiciones de fase), Glashow, Salam y Weinberg (existencia de corrientes débiles neutras y nuevos tipos de bosones vectoriales).

En esta línea de pensamiento, Dyson sugiere diseñar una nueva herramienta biológica que permitiría explorar de manera "microscópica" a los sistemas biológicos y de ahí entender sus funciones biológicas a partir de primeros principios y no sólo por sus efectos. Dyson vislumbra una futura revolución científica a partir de la tecnología de virus artificiales. Los virus son las estructuras biológicas más sencillas que ha creado la naturaleza, cuya función principal es invadir, subvertir o destruir estructuras biológicas mucho más grandes que ellos. Constituyen la herramienta perfecta que existe en la naturaleza para hacer intervenciones de cirugía mayor en las células e infectarlas. Aun cuando los biólogos conocen muy bien la estructura molecular de los virus, no tienen un entendimiento claro de cuáles son sus principales funciones (la dinámica del sistema, diríamos los físicos). Por ello, Dyson propone sintetizar un virus completo a partir de sus componentes químicos y la secuencia básica de sus genes. Lo ideal sería aislar las funciones básicas que realiza un virus sintético para de ahí obtener un conocimiento de las funciones de las células que podría invadir.

En el lenguaje de los físicos: se tendría la capacidad de estudiar un sistema complejo a partir de su interacción con "cargas de prueba," con sistemas lo suficientemente inocuos como para no alterar las propiedades del sistema que deseamos caracterizar.

## Prospectiva tecnológica

Por supuesto, la ingeniería genética de los virus tendría consecuencias profundas en el conocimiento que tenemos de los sistemas biológicos y de la vida humana. Con la curiosidad natural asociada a un científico y con el cálculo educado de un físico que ha sido protagonista de los grandes desarrollos de la ciencia y la técnica en el siglo XX, Freeman Dyson se atreve a vislumbrar una serie de proyectos tecnológicos que se podrían desarrollar en el siglo XXI. Para él, la principal lección que podemos obtener a partir de la historia de las actividades científicas y técnicas del pasado es que debemos separar con claridad los proyectos de corto alcance de los de largo alcance. Entre estos últimos sitúa la biotecnología de virus sintéticos, de plantas de "sangre caliente" (para ser utilizadas en la exploración y conquista de espacio exterior), la tomografía gravitacional (o micro enfoque gravitacional para identificar la materia oscura del universo, cuyo cono-

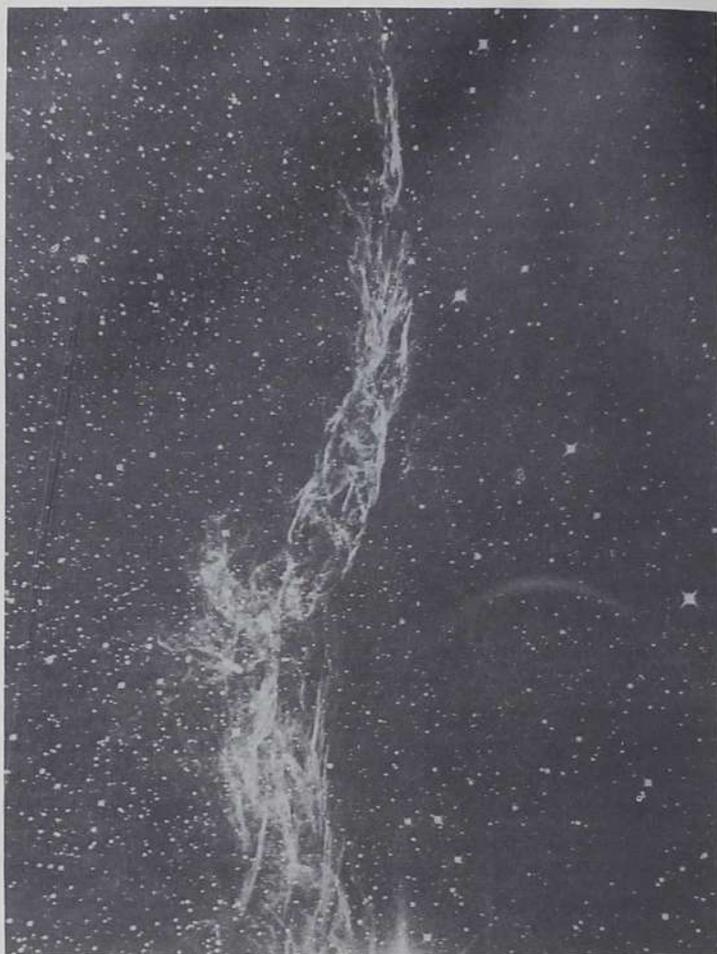


cimiento nos permitiría conocer la estructura real del universo), los sistemas de propulsión por láser o por aceleración ram (para lograr el lanzamiento barato de naves espaciales) o la tecnología reprogenética (para remover los genes de un bebé que tenga susceptibilidad a alguna enfermedad o para insertar genes que tengan asociada alguna ventaja física o mental).

## Sol, genoma e internet

En su libro, Freeman Dyson despliega un agudo talento para establecer acertadas conexiones entre disciplinas científicas tan dispares como son las ciencias físicas y biológicas. Con una amena erudicción, que sólo he visto en nuestro medio en Marcelino Cerejido<sup>5</sup>, Dyson

transmite en su libro el entusiasmo para lograr una sociedad ideal en el siglo XXI. Para Dyson las bases tecnológicas para lograr este fin están asociadas al Sol, el genoma y el internet y su conjunción podría mejorar el estándar de vida de la población de todo el mundo y no sólo la de los países desarrollados. Al mejorar la tecnología involucrada en la generación de energía por celdas solares, la humanidad podría desarrollar en pequeñas comunidades las comodidades de la vida moderna que están asociadas a las grandes ciudades. La energía proveniente del Sol podría ser aprovechada entonces de manera más democrática y a costos reducidos. Esto a su vez podría ser la base para desarrollar un sistema de internet a partir de una red de telecomunicaciones barata y accesible, que sirviera para mantener una micro economía



sustentable a partir de un sistema de ventas y distribución vía internet.

Finalmente, el desarrollo de la biotecnología del genoma de plantas y animales podría hacer factible la colonización de cuerpos celestes que permitieran el desarrollo y continuidad de la vida humana como la tenemos actualmente en nuestro planeta. En particular, como un proyecto

realmente sustentable a largo plazo, Dyson analiza los pros y los contras para realizar un proceso de colonización en el cinturón de cometas de Kniper que se localiza en una región en forma de anillo más allá de Neptuno. Al igual que Marte o el satélite Europa de Júpiter, donde se tiene evidencia de que existe agua, el cinturón de Kniper es un enjambre de cuerpos celestes, con una superficie

total unas mil veces mayor que la de la Tierra y que están formados por hielo y muchos de los componentes químicos que son esenciales para el desarrollo de los sistemas biológicos.

Para concluir, sólo me queda recomendar este excelente libro para aquéllos a quienes les motive realizar un viaje prospectivo sobre la tecnología y la ciencia que se puede realizar en el siglo que apenas comienza.

## Notas

1. Véase M.A. Pérez Angón, *Avance y Perspectiva* **18**, 275 (1999).

2. P. Galison, *Image and logic: a material culture of microphysics* (Univ. Chicago Press, Chicago, 1997).

3. T. Kuhn, *The structure of scientific revolutions* (Univ. Chicago Press, Chicago, 2ª. edición, 1970).

4. M. Cerejido, *Avance y Perspectiva* **18**, 379 (1999).

5. Véanse, por ejemplo, sus libros *Ciencia sin seso locura doble* (Siglo XXI, México, 1997) y *La muerte y sus ventajas* (FCE, México, 1997).



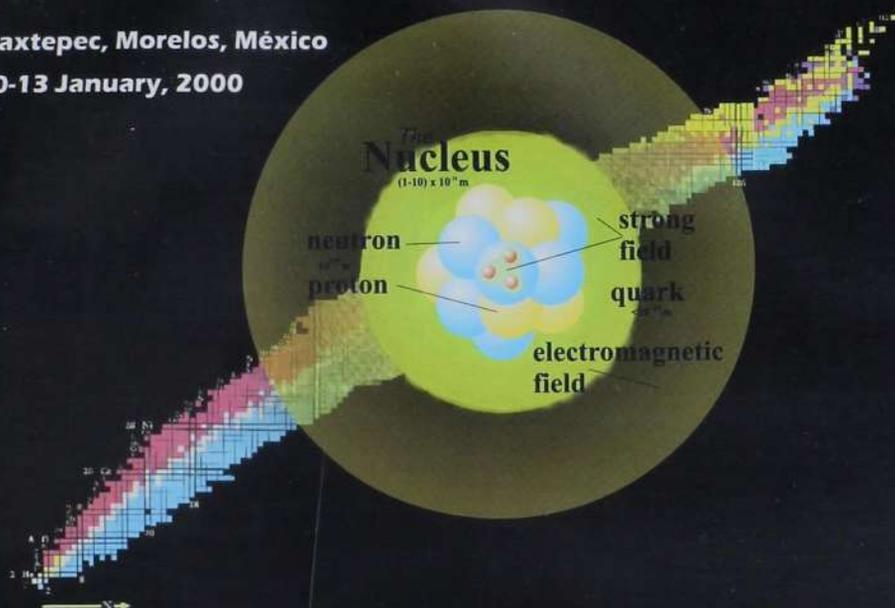
# XXIII SYMPOSIUM ON NUCLEAR PHYSICS

Main topics: Nuclear Structure, Subnuclear Physics, Heavy Ions,  
Radioactive Beams, Nuclear Astrophysics



Oaxtepec, Morelos, México

10-13 January, 2000



## International Advisory Committee

A.B. Balantekin (U. Wisconsin)  
N. Benczer-Koller (Rutgers U.)  
R.F. Casten (Yale U.)  
J.P. Draayer (Louisiana State U.)  
J. Gómez del Campo (ORNL)  
W. Greiner (Frankfurt)  
J.J. Kolata (U. of Notre Dame)  
A.J. Kreiner (TANDAR)  
M. Moshinsky (IFUNAM)  
M.E. Orfiz (IFUNAM)  
S. Pittel (Bartol, U. of Delaware)  
G.R. Satchler (ORNL)  
M. Wiescher (U. of Notre Dame)

## Local Organizing Committee

Roelof Bijker (ICN-UNAM)  
Alejandro Frank (ICN-UNAM)  
Jorge G. Hirsch (ICN-UNAM)

## Sponsors

CINVESTAV, CLAF, CONACYT, ICN-UNAM,  
IF-UNAM, ININ, SMF

## Among the speakers

E. Aguilera (ININ)  
R. Bijker (ICN-UNAM)  
M.E. Brandan (IF-UNAM)  
R.F. Casten (Yale U.)  
O. Civitarese (U. La Plata)  
J. Cizewski (Rutgers U.)  
J.P. Draayer (Louisiana State U.)  
C.J. Gross (ORNL)  
G. Herrera (CINVESTAV)  
P.O. Hess (ICN-UNAM)  
J.G. Hirsch (ICN-UNAM)  
F. Iachello (Yale U.)  
J. Kolata (U. of Notre Dame)  
G. Lévai (Debrecen)  
A. Mondragón (IF-UNAM)  
M. Moshinsky (IF-UNAM)  
J. Natowitz (Texas A&M)  
L. Riccati (INFN Torino)  
M. Scadron (U. Arizona)  
S. Pittel (Bartol, U. of Delaware)  
P. Van Isacker (GANIL)  
P. Vogel (Cal Tech)  
M. Wiescher (U. of Notre Dame)

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

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

Del 17 de enero al 31 de mayo del 2000



Exámenes de admisión  
Del 26 de junio al 5 de julio del 2000

Este programa de doctorado  
pertenece al Padrón de Excelencia  
del Conacyt

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

Informes:  
Coordinación Académica,  
Departamento de Química del Cinvestav  
Av. I.P.N. 2508 Esq. Ticomán  
Apdo. Postal 14740, 07000, México, D.F.  
Tel. 5747 3800 ext. 4090, 4043 y 4028 Fax. 5747 7113  
Correo electrónico: mrosales@mail.cinvestav.mx  
<http://www.chem.cinvestav.mx/quimica/quim.html>