

AVANCE Y PERSPECTIVA

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



9 770185 141010

Volumen 19
Noviembre-diciembre de 2000
México ISSN 0185-1411
\$ 25 pesos

Constantes fundamentales
de la naturaleza

Participa en la **RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA DEL CINVESTAV**

**LA COMISIÓN ENCARGADA DE RECONSTRUIR
LA HISTORIA DE NUESTRA INSTITUCIÓN INVITA:**

* a toda la comunidad del Cinvestav:
académicos, alumnos, egresados, trabajadores
administrativos, técnicos y manuales a escribir
testimonios libres sobre cualquier tipo de
experiencia o reminiscencia significativa de su
vida en nuestra institución.

* a los colegios de profesores de las unidades,
departamentos y secciones a organizarse
internamente para producir la historia de sus
entidades.

* a los jóvenes investigadores de nuestra
institución a participar en la realización de
diálogos y entrevistas a los profesores
fundadores y eméritos.

* a todo el personal académico a preparar, a
su elección y criterio, ponencias sobre la
historia de distintas líneas o temáticas del
conocimiento aportado por el Cinvestav y a
debatirlas con especialistas externos en foros
públicos a celebrarse en el año 2001.

El material recuperado por estas diversas vías
dará origen a volúmenes impresos o materiales
audiovisuales diferenciados que consignarán
diversos enfoques sobre la historia de nuestra
institución, que se publicarán a lo largo del año
2001.



Mayor información
Dra. María de Ibarrola
Asesora de la Dirección General
mibarrola@infadm.inf.cinvestav.mx
Tels: 57 47 70 91/ 57 47 70 92;
fax: 57 47 70 93



Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados del IPN
CINVESTAV

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

AVANCE Y PERSPECTIVA

DIRECTOR EDITORIAL
Enrique Campesino Romeo
EDITORIA 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 MÉRIDA
Marcelino Cerejido
FISIOLOGÍA
María de Ibarrola Nicolín
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS
Eugenio Frixione
BIOLOGÍA CELULAR
Jesús González
UNIDAD QUERÉTARO
Luis Herrera Estrella
UNIDAD IRAPUATO
Yasuhiro Matsumoto
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Luis Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA
Ángeles Paz Sandoval
QUÍMICA
Miguel Ángel Pérez Angón
FÍSICA
Gabino Torres Vega
FÍSICA

Correo electrónico:

avance@mail.cinvestav.mx

Tel. y Fax: 5747 70 76

Consulte nuestra página de Internet:

<http://www.cinvestav.mx/web/elect/avance.html>

RESPONSABLE

Valente Espinosa

AVANCE Y PERSPECTIVA

SUMARIO

Vol. 19

noviembre-diciembre del 2000

- 327 *La estabilidad de la constante gravitacional y el experimento cósmico SEE*
Vitaly N. Melnikov y Vladimir S. Manko
- 339 *Tras la pista de la percepción al dolor:
estructura y función de los receptores purinérgicos y de vaniloide*
Gabriel Gasque y Ricardo Félix
- 347 *Control de una red eléctrica de potencia*
J.M. Ramírez, I. Coronado, P. Zúñiga, R. Dávalos, A. Valenzuela,
I. Castillo

PERSPECTIVAS

- 359 *Por una política científica integral*
Gabriel López Castro

DOCUMENTOS

- 363 *La Unidad Querétaro: un ejemplo de colaboración interinstitucional*
Adolfo Martínez Palomo
- 367 *La Unidad Querétaro del Cinvestav: un factor que detona el desarrollo*
Ernesto Zedillo

NOTICIAS DEL CINVESTAV

- 370 *Premios A. Rosenbluth 1999*

DIÁLOGOS

- 373 *El Colegio de Francia y la vocación de enseñarlo todo*
Carlos Chimal

LIBROS Y REVISTAS

- 379 *Vivencias de Don Santiago Ramón y Cajal, de M. Peláez Cebrián*
Julio Muñoz
- 383 *Índice del volumen 19*
Índice de materias
Índice de autores
Índice onomástico

Portada: La medición exacta de la constante gravitacional y su posible variación con el tiempo, al igual que de otras constantes fundamentales de la naturaleza, está asociada a la medición precisa de grandes distancias en la escala cósmica o de la aparición de nuevas interacciones que podrían modificar la ley de la gravitación universal de Newton. Foto: diseño artístico de *New Scientist* (D. Knight) sobre nuevas estructuras topológicas en el universo.

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación bimestral. El número correspondiente a noviembre-diciembre de 2000, volumen 19, se terminó de imprimir en octubre de 2000. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. *Editor responsable:* Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán, apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de Título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Grupo Printer Pack, S.A. de C.V., Av. Azcapotzalco 224, Col. Angel Zimbrón, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero del 2000 página 48. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 150.00

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

Departamento de Matemática Educativa



25 años de Investigación en Matemática Educativa en México
Fecha: 8, 9 y 10 de noviembre del 2000

Jornadas Académicas

Conferencias Plenarias

- Carolyn Kieran
Université de Quebec à Montreal, Canada
- Luis Puig
Universidad de Valencia, España
- Luis Rico
Universidad de Granada, España
- James Kaput
University of Massachusetts at Dartmouth, USA
- Eugenio Filloy
Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav
- Carlos Imaz
Departamento de Matemática Educativa, Cinvestav

- Conferencias magistrales con investigadores de prestigio internacional
- Mesas redondas
- Feria de ideas: Estudiantes del Departamento

Homenajes a:

- Jesús Alarcón †
- Eugenio Filloy
- Carlos Imaz

Sede: Auditorio José Adem, Cinvestav, Departamento de Matemática Educativa
Av. IPN No. 2508 Col. San Pedro Zacatenco, C.P. 07360, México, D.F.

Mayores informes:
Dr. Armando Cuevas,
coordinador del evento
Tel. 5747 3800 ext. 6022
Lic. Martha Cornejo,
Tel. 5747 3800 ext. 6009
e-mail: mcornejo@mail.cinvestav.mx
www.cinvestav.mx/matedu/

La estabilidad de la constante gravitacional y el experimento cósmico SEE

Vitaly N. Melnikov y Vladimir S. Manko

Constantes físicas fundamentales

Cualquier teoría física involucra constantes que caracterizan la estabilidad de diferentes tipos de procesos y formas de materia. Estas constantes son muy importantes ya que se manifiestan en distintas situaciones y siempre tienen el mismo valor, por lo menos dentro de los límites de medición alcanzados hoy en día. Es precisamente debido a este papel que han recibido el nombre de constantes físicas fundamentales (CFF). Sin embargo, no es posible darles una definición estricta ni determinar su conjunto completo porque están presentes en teorías físicas muy concretas. A lo largo del proceso científico algunas teorías van cambiando por otras más generales con sus propias constantes, dando lugar a relaciones entre las viejas y las nuevas constantes. Por eso no podemos hablar de un conjunto absoluto de CFF, sino del conjunto que corresponde al estado actual de las ciencias físicas¹.

En las últimas décadas el desarrollo de la física indica una tendencia a unificar los cuatro tipos de interacciones conocidas: gravitacionales, electromagnéticas, débiles y fuertes. Antes de la creación de la teoría de interacciones electromagnéticas y débiles por S. Glashow, S. Weinberg y A. Salam, y el desarrollo de algunas teorías de gran unificación (TGU, interacciones electromagnética, fuerte y débil), se consideraba que las CFF estaban integradas por el siguiente conjunto:

El Dr. Vitaly Melnikov, investigador visitante del Departamento de Física del Cinvestav, es director del Centro de Gravitación y de Metrología Fundamental del VNIIMS (Rusia). El Dr. Vladimir S. Manko es investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav. Correo electrónico: melnikov@fis.cinvestav.mx, vsmanko@fis.cinvestav.mx



- c : velocidad de la luz
 $\hbar$: constante de Planck
 α : constante de estructura electromagnética
 G : constante de la gravitación universal
 g_s : constante de la interacción fuerte
 G_F : constante de Fermi, interacciones débiles
 m_p (ó m_e): masa del protón (o electrón)
 H : constante de Hubble
 ρ : densidad promedio de la materia en el Universo
 Λ : constante cosmológica
 k : constante de Boltzmann
 I : equivalente mecánico del calor

Las dos últimas juegan el papel de multiplicadores de conversión entre la temperatura, por un lado, y la energía y las magnitudes mecánicas, por otro lado. Después de la aprobación en 1983 de una nueva definición del metro relacionada con una cierta longitud de onda λ de la luz, y ya no con la barra de platino e iridio como anteriormente se hacía, juega parcialmente el mismo papel multiplicador de conversión la velocidad de la luz c ($\lambda = cT$). Ahora c puede ser considerada como el multiplicador de conversión entre las unidades del tiempo (frecuencia) y de longitud debido a que está definida con un error absoluto (nulo) de su medición.

En la actualidad la teoría de interacciones electro-débiles tiene una comprobación sólida en numerosos experimentos de partículas elementales; como existen modelos bien desarrollados y básicamente confirmados de su unificación con las interacciones fuertes, el conjunto preferible de CFF es el siguiente:

$$\hbar, (c), e, m_e, \theta_w, G_F, \theta_c, \Lambda_{QCD}, G, H, \rho, \Lambda, k, I$$

donde m_e es la masa del electrón, θ_w es el llamado ángulo de mezcla electrodébil, θ_c el ángulo de Cabibbo y Λ_{QCD} es el parámetro de corte en la teoría de las interacciones fuertes (cromodinámica cuántica). Por supuesto, si se crea la teoría unificada (TU) de las cuatro interacciones, el papel disputado en la últimas décadas por diferentes esquemas tales como supergravedad, supersimetría, supercuerdas y ahora la llamada M-teoría, entonces es probable que se tendrá que considerar otro conjunto relacionado con esa teoría. En el segundo conjunto de CFF las constantes relacionadas con los fenómenos macroscópicos, es decir la gravitacional y las cosmológicas, son las mismas que en el primer conjunto, aunque en algunas TU, por ejemplo multidimensionales que utilizan las ideas de la existencia de más de cuatro dimensiones, pueden ser relacionadas unas con otras, así como con otras constantes microfísicas ($e, \hbar, m$, etc.)



La precisión en la medición de las CFF difiere considerablemente. La constante que ha sido medida con mayor precisión sigue siendo la velocidad de la luz. Cuando existían los patrones separados de las unidades del tiempo y de la longitud (hasta 1983) fue medida con un error de 10^{-10} . Hoy día se considera, por definición, que está determinada con error nulo. Las constantes microscópicas (atómicas) e , $\hbar$, m se conocen con un error de 10^{-6} - 10^{-8} , G con error de 10^{-4} (e incluso mayor como se verá más adelante), θ_w del orden de 10%. La situación más complicada todavía ocurre con las constantes cosmológicas: H se conoce con un error del orden de 10%; la densidad promedio de la materia en el Universo se ha determinado con una precisión del mismo orden de su magnitud; y para la constante cosmológica, que se pensaba tenía un valor muy pequeño o inclusive cero, las estimaciones más recientes le dan el valor de la

densidad efectiva de la energía que supera la densidad de la materia observable en el Universo.

En cuanto a la naturaleza de las CFF, se han dado varios intentos de explicación. Una de las primeras hipótesis pertenece a J.A. Wheeler: en cada nuevo ciclo del desarrollo del Universo las CFF se originan junto con las nuevas leyes físicas que determinan su evolución en cada ciclo; por lo tanto, las CFF y las leyes físicas están relacionadas con el nacimiento y la evolución del Universo.

El acercamiento menos general a la naturaleza de las CFF dimensionales supone que éstas son necesarias para hacer adimensionales algunas relaciones físicas, o que son una medida de los estados asintóticos. En efecto, en las teorías relativistas la velocidad de la luz normalmente viene como la razón v/c , donde v es la velocidad del objeto. Al mismo tiempo, las velocidades de todos los cuerpos no superan la velocidad de la luz c , por lo que c juega el papel de velocidad límite. El mismo sentido tienen algunas otras CFF; por ejemplo, $\hbar$ es el mínimo cuanto de acción en la teoría cuántica, e es la mínima carga observable (del electrón), etc. Finalmente, es posible considerar las CFF como escalas naturales que caracterizan las unidades básicas de las magnitudes físicas tales como el tiempo, la longitud y la masa. Estas escalas pueden estar determinadas, por ejemplo, por la longitud/masa/tiempo de Planck ($L = 10^{-33}$ cm, $m_L = 10^{-5}$ g, $\tau_L = 10^{-43}$ seg), las que a su vez se definen en términos de combinaciones de c , $\hbar$ y G .

Otro problema interesante y ampliamente discutido sobre las CFF es porqué sus valores se encuentran en un intervalo muy estrecho que es necesario para explicar el origen y la existencia de la vida en la Tierra: la estabilidad de los átomos, el tiempo de vida de las estrellas de la secuencia principal a la cual pertenece el Sol, la temperatura presente de la Tierra, la existencia de los océanos, etc. Hay varias explicaciones posibles pero todavía no muy convincentes. La primera establece que es puramente aleatorio que nosotros vivamos exactamente en un mundo con los valores conocidos de las CFF, aunque la probabilidad de que ocurra este suceso es despreciable tomando en cuenta todos los posibles conjuntos de las constantes; la segunda dice que la vida puede existir en otras formas y para otros



conjuntos de CFF que nosotros no conocemos todavía; la tercera, que otro conjunto de CFF puede ser realizado en otros universos distintos del nuestro. Finalmente, podría existir algún proceso cósmico de ajuste fino de las CFF que las llevara a las magnitudes actuales durante una larga evolución, posiblemente pasando por numerosos ciclos de desarrollo del Universo.

En cuanto a su clasificación, las CFF pueden ser divididas en cuatro grupos según sus características comunes:

(1) Las CFF universales tales como la constante de Planck $\hbar$ que divide todos los procesos físicos en cuánticos y no cuánticos (micro y macromundo), y en cierto grado c que divide todo movimiento en relativista (cercano a la velocidad de la luz) y no relativista (mucho menor que c).

(2) Las constantes asociadas a las interacciones físicas, por ejemplo α , θ_w , Λ_{QCD} y G .

(3) Constantes asociadas a las componentes elementales de la materia, como m_e , m_p , etc.

(4) Los multiplicadores de conversión, tales como k , I y parcialmente c .

Por supuesto, esta división no es absoluta. A lo largo del proceso del desarrollo de la ciencia muchas CFF han pasado de una clase a otra. Por ejemplo, e inicialmente era la carga del objeto unitario, del electrón (clase 3); luego pasó a la clase 2 como una característica de la interacción electromagnética, $\alpha = e^2/\hbar c$, en combinación con $\hbar c$. La velocidad de la luz ha podido estar casi en todas las clases: de la clase 3 (como la velocidad de un cierto objeto, de la luz) pasó a la clase 1, y luego parcialmente a la 4. Algunas de las constantes han dejado de ser fundamentales (por ejemplo las densidades, los momentos magnéticos, etc.) ya que pueden ser calculadas a través de otras CFF.

Respecto al número mínimo de las CFF existen dos tendencias opuestas: normalmente el número de las viejas CFF decrece cuando surgen teorías nuevas y más generales, pero al mismo tiempo surgen nuevas áreas de la ciencia, nuevos procesos y tipos de materia, lo que lleva a su vez a la aparición de nuevas constantes. No obstante, es probable que lleguemos a algún conjunto mínimo, por ejemplo relacionado con los llamados parámetros de Planck L , m_L , τ_L que están determinados por c , $\hbar$, y G . El papel que juegan estos parámetros resulta ser muy importante: m_L caracteriza la energía de la unificación de los cuatro tipos de interacciones fundamentales y L la escala con la cual las nociones clásicas del espacio y tiempo pierden su sentido.

El conocimiento exacto de las CFF y sus mediciones precisas son necesarias para la comprobación de las teorías físicas fundamentales, para la expansión de nuestro conocimiento de la naturaleza y, a final de cuentas, para las aplicaciones prácticas de estas teorías. En relación con esto surgen los siguientes problemas teóricos:

(1) Desarrollar modelos y calcular sus efectos para comparar las predicciones de las teorías fundamentales con los datos experimentales en situaciones críticas, es decir, para la comprobación de la teoría de la relatividad general o de otras teorías generalizadas de gravitación, de la electrodinámica cuántica, de la cromodinámica cuántica, de la teoría de unificación, etc.

(2) Establecer los valores más precisos y los límites de las posibles variaciones temporales y espaciales de CFF.



La constante gravitacional G

El problema de la medición exacta de la constante gravitacional y el establecimiento de su estabilidad constituyen uno de los problemas centrales relacionados con las CFF. En particular, este punto es determinante en algunas áreas de rápido desarrollo tales como la unificación de las interacciones físicas fundamentales, donde la interacción gravitacional juega ahora un papel muy importante, y la metrología gravitacional relativista relacionada con las mediciones precisas espacio-temporales². Esta última surgió gracias al incremento en la precisión de las mediciones, la extensión de las mediciones

precisas a grandes distancias (al cosmos) y las tendencias de la física moderna hacia la unificación de las interacciones. Los tres problemas básicos relacionados con la constante gravitacional G son:

- (1) la medición del valor absoluto de G;
- (2) las posibles variaciones de G con el tiempo (lentas, del orden de la velocidad de la expansión del Universo);
- (3) las posibles variaciones de G con la distancia, o la aparición de nuevas interacciones adicionales de carácter no newtoniano.

Mediciones del valor absoluto de la constante gravitacional G. Existe una multitud de mediciones de laboratorio del valor de G basadas en la balanza de Cavendish con un error de 10^{-3} y sólo en cuatro mediciones realizadas en Francia, URSS, EUA y Rusia el error fue del orden de 10^{-4} . Pero incluso estas cuatro mediciones están en contradicción unas con otras ya que los valores obtenidos no se intersectan. El valor oficial de G que da la comisión internacional de constantes CODATA a partir de 1986 es:

$$G = (6.67259 \pm 0.00085) 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$$

Este valor está basado en la medición hecha por Luther y Fowler en los EUA en 1982. En los últimos años la situación ha empeorado aún más. Más de una decena de mediciones de G realizadas en diferentes países difieren tanto del valor de CODATA que se puede decir solamente que G está definida dentro de un error de 10^{-3} y no de 10^{-4} , que es la versión recomendada por CODATA a partir de 1999. Eso significa en realidad que o los límites de la precisión de la medición de G en condiciones terrestres ya están alcanzados, es decir no es posible apartar o tomar en cuenta la influencia de los objetos ambientales, la inestabilidad del material de los hilos, etc., o bien en el proceso de medición se manifiesta algún efecto de nueva física. Lo primero significa que es imperativo llevar las mediciones al cosmos con un ambiente más tranquilo, y lo segundo sugiere que hay que investigar cuidadosamente las teorías que generalizan la teoría gravitacional de Einstein, o las teorías unificadas de las interacciones.

También existen métodos para medir el producto $G M_T$, siendo M_T la masa de la Tierra, con ayuda de satélites

(con un error del orden de 10^{-9}) o experimentos menos precisos de la medición de G en minas utilizando modelos de la Tierra. Pero estas mediciones no permiten mejorar la precisión en la medición de G por falta de un modelo bastante realista de la Tierra.

Existen varias razones por las cuales es necesario conocer el valor de G . Primero, porque es una constante fundamental; segundo, para conocer los valores precisos de la Tierra, de planetas, de sus densidades promedio y al fin de cuentas para mejorar sus modelos. Es también necesaria para la transición de las cantidades mecánicas a las electromagnéticas y viceversa; para la medición de unas constantes a través de otras con la ayuda de las relaciones que proporcionan las teorías unificadas; para la búsqueda de nuevas interacciones físicas y efectos geofísicos, etc.

El conocimiento de las CFF tiene no solamente el significado fundamental, sino también el metrológico. El sistema moderno de los patrones de las cantidades físicas está basado generalmente en fenómenos físicos estables cuánticos. Por eso la estabilidad de las CFF juega un papel cardinal. No obstante, las leyes físicas han sido establecidas y comprobadas en el transcurso de dos o tres siglos en experimentos en la Tierra y en el cosmos cercano, es decir, a lo largo de intervalos relativamente cortos de tiempo y espacio comparados con la edad y las dimensiones del Universo. En relación con esto, la posibilidad de que existan variaciones lentas temporales y espaciales de las constantes (del orden de la velocidad de la evolución del Universo o menor) no puede ser excluida *a priori*, y tiene que ser comprobada constantemente con una precisión cada vez mayor. Se puede decir que la suposición de la constancia absoluta de las CFF es la misma extrapolación que la afirmación contraria de sus variaciones lentas.

Posibles variaciones temporales de G . Este problema ha surgido debido a los intentos de explicación de la relación entre los fenómenos del micro y macro mundos. P. Dirac fue el primero que introdujo la llamada "hipótesis de los números grandes" (HNG) según la cual números muy grandes no pueden surgir de forma natural en las teorías físicas, sino que deben ser relacionados unos con otros y con la edad del Universo ($T = 10^{17}$ seg) expresada en unidades del tiempo característico nuclear de 10^{-23} seg ($T = 10^{40}$). Dirac supuso que la razón de la fuerza de la



interacción gravitacional a la de la interacción fuerte, $Gm^2p/\hbar c \sim 10^{-40}$, es inversamente proporcional a la edad del Universo: $G \sim T^{-1}$. Entonces, debido a que la edad del Universo cambia constantemente, la combinación de las constantes también tiene que cambiar. A Dirac le parecían inquebrantables las constantes atómicas y por eso después de Miln (1935) escogió la versión $G \sim T^{-1}$. Ya que la edad del Universo se estima ahora como 2×10^{10} años, entonces la velocidad de la variación es $\dot{G}/G = 5 \times 10^{-11}$ al año.

Después de la hipótesis original de Dirac ha surgido una multitud de hipótesis y teorías que admiten la variación de algunas CFF (G , α , G_F y otras), de G. Gamov y F. Teller en particular. Una serie de esquemas originales de las teorías unificadas de gravitación fue propuesta por K.P. Staniukovich y sus colaboradores. Por supuesto, las propuestas sobre posibles variaciones de las constantes

pueden llevar a consecuencias importantes (astrofísicas, cosmológicas, geofísicas, etc.) y a nuevos efectos. Tales efectos han sido calculados y se han comparado con los datos de observaciones y experimentos.

Los datos astrofísicos obtenidos como resultado de observaciones de cuasares, los objetos más lejanos en el cosmos, han permitido concluir³ que la constante de estructura fina α no puede cambiar más de 10^{-14} al año. Los datos geofísicos sobre la velocidad de decaimiento de los elementos pesados restringen el cambio de α en el nivel de 10^{-15} al año, mientras que los datos de un reactor antiguo natural⁴ lo ponen en el nivel de 10^{-17} al año. Estos datos excluyen todas las hipótesis y teorías conocidas al presente sobre la posibilidad de la variación de α con el tiempo, aunque no se excluye la aparición de nuevas teorías que predican las variaciones de α menores a 10^{-17} al año. Los datos sobre la posible variación de las constantes de interacciones débiles y fuertes permiten concluir⁴ que no cambian en el nivel de 10^{-11} y 10^{-18} al año, respectivamente.

Todavía no contamos con un modelo satisfactorio de la unificación de los cuatro tipos de interacciones fundamentales y como resultado no hay relaciones seguras entre las CFF. Por eso se pueden elegir los sistemas de medición basados en cualquiera de las interacciones. En la práctica esto se realiza en el contexto de la teoría de interacciones electromagnéticas más desarrollada, que es la electrodinámica cuántica (EDC). Por supuesto, también podría hacerse con base en la interacción gravitacional, como hacían antes de 1955. En este caso las diferentes unidades de las cantidades físicas básicas surgen de la dinámica de la interacción escogida; por ejemplo, el segundo atómico (electromagnético) está definido por la frecuencia de transiciones atómicas, el segundo gravitacional está definido por el movimiento promedio de la Tierra alrededor del Sol (el tiempo efemérico). No es posible deducir que los dos segundos definidos de esta manera en un momento dado seguirán sincronizados posteriormente en el espacio y en el tiempo. En principio, pueden cambiarse uno respecto del otro, por ejemplo con la velocidad de la evolución del Universo.

Es por eso que es admisible en general la variación de la constante gravitacional en el transcurso del tiempo en el sistema atómico de unidades ($c, \hbar, m$ constantes), o de las masas de todas las partículas en el sistema

gravitacional de unidades ($c, \hbar, G$ constantes). En la práctica sólo podemos verificar la primera posibilidad con gran exactitud ya que el sistema moderno de patrones está basado en el sistema atómico (electromagnético) de mediciones. Las posibles variaciones de CFF tienen que ser verificadas experimentalmente, pero para ello deben existir las teorías que admitan esas variaciones.

Ya hemos mencionado a la HNG de Dirac. Después de ella han surgido numerosas teorías escalar-tensoriales de gravitación donde junto con el campo gravitacional se introduce uno o varios campos escalares con la ayuda de los cuales se explican las posibles variaciones de la constante efectiva gravitacional en el tiempo. Una variante de las teorías que involucran el llamado campo escalar conforme fue desarrollada en VNIIMS (Rusia). Esta teoría ha permitido predecir las variaciones de la constante gravitacional efectiva en el nivel de 10^{-12} - 10^{-13} al año y construir un escenario del origen y desarrollo del Universo. En cuanto a los datos experimentales sobre las restricciones de la variación de la constante gravitacional con el tiempo, existen los siguientes resultados básicos:

(1) Los datos bastante imprecisos del crecimiento de corales y los datos más seguros sobre la velocidad de retraso del período de pulsares del orden de 10^{-11} - 10^{-12} al año.

(2) Los únicos datos positivos, pero no comprobados por nadie más, fueron obtenidos por van Flandem (1981, EUA) a partir del análisis del movimiento promedio de la Luna y de los datos sobre los eclipses antiguos que dan el nivel de 10^{-11} al año.

(3) Las cotas superiores sobre las variaciones de G que establecieron en 1992 los especialistas estado-unidenses con base en los datos del movimiento de los módulos orbitales y de aterrizaje del satélite de Marte *Mariner* en el nivel de 10^{-11} - 10^{-12} al año.

(4) Los datos más confiables del sondeo de la Luna con láseres del nivel de 10^{-12} al año.

De aquí se puede ver que las variaciones de la constante gravitacional son factibles dentro de un margen de 10^{-12} al año y que existe necesidad en futuras investigaciones, tanto teóricas como experimentales, de profundizar en este problema. Las futuras misiones de los aparatos cósmicos hacia Marte y Venus sin duda serán

capaces de resolver este problema ya que entre más grandes sean los intervalos temporales entre las mediciones, y por supuesto más precisas sean estas últimas, más rigurosos serán los resultados obtenidos.

Si se habla de los esquemas teóricos que generan variaciones de la constante efectiva gravitacional, cabe mencionar que, junto con la hipótesis de Dirac arriba mencionada y las teorías escalar-tensoriales de gravitación, en las últimas décadas se han desarrollado modelos unificados de las interacciones físicas entre los cuales dominan los modelos multidimensionales gravitacionales, que involucran un rasgo común: el uso de más de cuatro dimensiones (tres espaciales y una temporal). En estas teorías surgen de manera natural campos adicionales escalares relacionados con el comportamiento de dimensiones adicionales y con otras interacciones además de la gravitacional. Estos campos también permiten resolver de manera exitosa los problemas básicos de la cosmología moderna tales como el origen del Universo a partir de "nada" (vacío) y su evolución, el problema del estado singular inicial, del origen de la materia en el Universo, de la constante cosmológica, etc. Además, los modelos multidimensionales establecen una relación entre las variaciones de la constante gravitacional y los parámetros (constantes) cosmológicos fundamentales ρ , H , Λ y el parámetro de retraso q . Este parámetro caracteriza el retraso o la aceleración de la expansión del Universo. Por otro lado, puesto que las posibles variaciones de las CFF están relacionadas con las propiedades de las dimensiones adicionales, se abre una posibilidad de sondear y al mismo tiempo verificar las teorías de la unificación de interacciones. Cabe mencionar que si las teorías multidimensionales de unificación son correctas entonces ellas inevitablemente llevan a la predicción de las variaciones de las CFF. El caso de ausencia de variaciones sería muy poco probable, o como dicen los matemáticos tiene "medida cero". Para ello se necesitaría una sintonización especial de todas las constantes, que requiere una explicación muy particular.

Las nuevas interacciones no newtonianas o las variaciones espaciales de G . Casi todas las teorías generalizadas de gravitación y las teorías unificadas predicen no solamente posibles variaciones temporales, sino también variaciones espaciales de la constante

gravitacional. Estas pueden manifestarse como una interacción suplementaria a la ley de Newton (la violación del principio de equivalencia) que puede ser idéntica para todos los cuerpos, o bien dependiente de la composición de los cuerpos (aparición de partículas portadoras de nuevas interacciones).

Los datos de observaciones, tanto experimentales como astronómicos sobre el movimiento de los satélites y planetas, excluyen con una gran exactitud la existencia de nuevas partículas masivas – portadoras de nuevas interacciones – prácticamente en todas las escalas de la nueva interacción, salvo en la escala de milímetros y de unos metros a unos cientos de metros. En general, esta posible desviación de la ley de Newton está definida por la contribución complementaria del tipo de potencial de Yukawa – la interacción exponencial que decrece rápidamente con la distancia – y que está caracterizada por la fuerza de interacción y la escala relacionada con la masa del transmisor de la interacción. Por ahora existe el único resultado positivo de una posible violación de la ley de cuadrados inversos que fue obtenido por un grupo italiano en la escala de 20-500m con una fuerza de interacción 0.13 - 0.25. Se utilizaron gravímetros y una estación de acumulación de energía donde de noche el agua entra a un depósito y después, durante el día, se utiliza para la producción de energía complementaria debido a la elevación de su nivel. Por supuesto, es necesaria la comprobación independiente de este resultado, posiblemente con el uso de otros esquemas, cósmicos en particular. En cuanto a los modelos teóricos, desde el punto de vista relativista la posibilidad de variaciones temporales de las constantes nos lleva naturalmente a la consideración de las variaciones espaciales.

En la teoría de la relatividad general de Einstein los gravitones de masa nula son los portadores de la interacción gravitacional que están descritos por ecuaciones diferenciales del segundo orden, e interactúan con la materia con una fuerza constante G . Si por lo menos una de estas características no se cumple, entonces en general llegamos a una cierta desviación de la ley de Newton con la distancia, es decir, a la generalización de la teoría de Einstein. Se pueden destacar las siguientes clases de teorías generalizadas que se conocen en la literatura científica:



(1) Teorías con gravitones masivos, por ejemplo bimétricas o teorías con la constante cosmológica no nula.

(2) Teorías con la constante cosmológica efectiva que surgen en las teorías escalar-tensoriales arriba mencionadas.

(3) Teorías donde junto con el campo gravitacional estándar está presente la torsión del espacio-tiempo.

(4) Teorías cuyas ecuaciones involucran derivadas de orden mayor que dos (como consecuencia de los efectos cuánticos o generalización de la relatividad general).

(5) Teorías unificadas que tienen, junto con los gravitones, a otros portadores de interacciones (los llamados compañeros): supergravedad, supercuerdas, la M-teoría que supuestamente debe unirlos pero que no está terminada todavía.

(6) Teorías no lineales inducidas por cualquier tipo de interacción conocida (aquí también surgen las masas efectivas no nulas).

(7) Diferentes teorías fenomenológicas en las cuales no se conoce el mecanismo detallado de violación de la ley de Newton (la quinta fuerza, etc.).

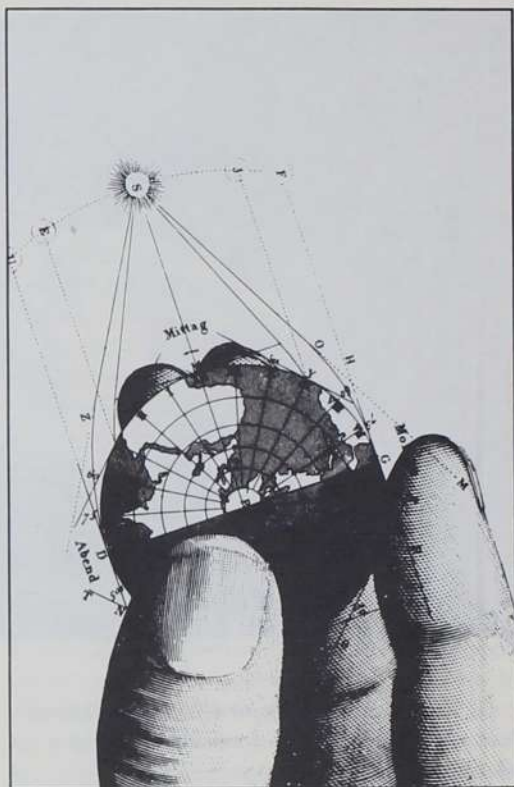
En todas estas teorías aparecen masas efectivas o reales que llevan a la interacción suplementaria del tipo de Yukawa respecto a la ley de Newton. Existe una serie de estimaciones de estas fuerzas dependientes de modelo. Las estimaciones más conocidas pertenecen a Scherk⁵ obtenidas con base en la teoría de supergravedad donde el gravitón viene acompañado por un compañero de espín 1 (un gravifotón) que conduce a una repulsión adicional. Otro modelo fue propuesto por Moody y Wilczek en 1984; se trata de la introducción a la teoría de una partícula pseudo-escalar que da lugar a la atracción suplementaria entre los macro-objetos en una escala de 2×10^{-4} cm a 20cm con una fuerza de 1 a 10^{-10} . Un modelo supersimétrico fue desarrollado por Fayet (1986, 1990) en el cual el compañero del gravitón masivo de espín 1 lleva a una repulsión adicional en la escala de 10km y a una fuerza de 10^{-13} . Un modelo con campo escalar fue propuesto por S. Weinberg para la explicación de la generación de la constante cosmológica. Este modelo predice una interacción suplementaria en una escala

menor a 0.1mm. Otras teorías multidimensionales desarrolladas en VNIIMS también predicen una desviación de la ley de Newton. Como podemos ver, en ausencia de una teoría unificada de todas las interacciones, bien desarrollada, las predicciones de la variaciones, tanto temporales como espaciales son bastante diferentes. Esta situación proporciona una gran motivación para las investigaciones futuras teóricas y prácticas.

El proyecto del experimento cósmico SEE

Es precisamente a la resolución de todos aquellos problemas relacionados con la constante gravitacional que está dedicado el llamado proyecto SEE (*Satellite Energy Exchange*)⁶. Es un proyecto internacional y está siendo desarrollado por científicos rusos del VNIIMS y la sociedad Gravitacional Rusa junto con especialistas estadounidenses de las universidades de Tennessee y Virginia, del Laboratorio Nacional de Oakridge y del Centro de Vuelos Cósmicos de Marshall. Los especialistas rusos han realizado un gran trabajo en la justificación teórica del proyecto, el modelado numérico de las trayectorias, el modelado del proceso de medición tomando en cuenta los posibles ruidos, en particular la inhomogeneidad del campo gravitacional, la aparición de las cargas, etc.

El experimento involucra el lanzamiento de un satélite libre de desplazamiento lateral a la altura de aproximadamente 1500km sobre la superficie de la Tierra. El satélite tiene la forma de una cápsula de longitud 10—20m y de un metro de diámetro, con dos cilindros coaxiales, dentro de la cual se mueven libremente dos cuerpos: uno grande ("pastor") de masa $\sim 500\text{kg}$ y otro pequeño ("partícula") de masa $\sim 100\text{g}$. El objetivo del experimento es medir la distancia relativa entre estos dos cuerpos con una alta precisión. La trayectoria del cuerpo pequeño respecto al grande representa una parte de la herradura y en esencia es unidimensional. Más aún, el cuerpo pequeño se acerca al cuerpo grande y después empieza a moverse hacia atrás como si fuera repelido por el "pastor". En realidad no hay repulsión alguna, y los dos cuerpos se mueven como satélites a lo largo de órbitas próximas. El cuerpo pequeño, que se mueve con un radio menor, obtiene una energía suplementaria por la atracción gravitacional con el cuerpo grande, sube a la



órbita del radio mayor y empieza a alejarse del "pastor". Este efecto, para el movimiento de los satélites del Saturno, fue predicho en el siglo pasado por George Darwin (el hijo de Charles Darwin) pero ha sido probado de manera experimental sólo muy recientemente. El objetivo del experimento es medir el valor absoluto de la constante gravitacional G con un error de 10^{-6} , así como la ley de los cuadrados inversos y el principio de equivalencia en la escala de metros, el radio de la Tierra en dos o tres órdenes de magnitud mejor que en el presente, la verificación de las variaciones temporales de G en el nivel de $10^{-13} - 10^{-14}$ al año. Los cálculos realizados y la simulación del experimento han mostrado que es posible lograr estos objetivos con un nivel moderno de precisión. El proyecto permitirá no solamente aclarar las cuestiones principales sobre la interacción gravitacional, sino que también ayudará a resolver algunos problemas asociados a la unificación de las interacciones físicas fundamentales. ☼

Notas

1. V.N. Melnikov, *Int. J. Theor. Phys.* **33**, 1569 (1994).
2. V.N. Melnikov, *Gravity as a Key Problem of the Millenium*, Proc. NASA/JPL Investigators Workshop (Solvang, EUA, 2000).
3. D.A. Varshalovich y A. Yu. Potekhin, *Space Sci. Rev.* **74**, 259 (1995).
4. A. Shlyakhter, *Nature* **264**, 340 (1976)
5. Scherk, *Phys. Lett. B* **76**, 409 (1978).
6. A.J. Saunders y W.E. Deeds, *Phys. Rev. D* **46**, 489 (1992).
7. A.D. Alexeyev et al., *Izmerit. Technika* **8**, 6 (1993).
8. A.D. Alexeyev et al., *Gravitation and Cosmology* **5**, 67 (1999).



Verano Científico en Laboratorios Extranjeros

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

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

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

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

Laboratorios en el área de óptica cuántica:

- Universidad Estatal de Nueva York en Stonybrook, NY, EUA

Los interesados deberán presentar antes del viernes 15 de diciembre del 2000

- 1 Una solicitud por escrito manifestando su interés en participar en este programa científico de verano e indicando explícitamente su preferencia hacia óptica cuántica o altas energías,
- 2 una copia de su certificado de calificaciones,
- 3 una carta de recomendación de un profesor, y
- 4 una dirección electrónica y un teléfono donde puedan ser contactados.

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

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

Marco A. Reyes Santos

IFM-UMSNH

Ed. C3/C.U., Apdo. Postal 2-82
58040, Morelia, Mich.

Tel./Fax: (43) 27 19 97, 16 73 74
marco@ifm1.ifm.umich.mx

Para mayores informes y entrega de las solicitudes dirigirse a:

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

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

Tras la pista de la percepción al dolor: estructura y función de los receptores purinérgicos y de vaniloide

Gabriel Gasque y Ricardo Félix

El dolor es una experiencia sensorial y emocional desagradable asociada a un daño tisular real o potencial que podemos experimentar de manera cotidiana. Aunque el dolor es integrado en el cerebro, existe una intrincada red de mecanismos neurales periféricos que median localmente la respuesta al daño real o percibido¹. Los receptores sensoriales especializados, que se activan por estímulos nocivos térmicos, químicos o mecánicos, reciben el nombre genérico de nociceptores. Ellos transmiten la información relativa al daño tisular hacia los centros de procesamiento del dolor ubicados en la médula espinal y en el cerebro².

Estudios recientes han mostrado que la especificidad funcional de los nociceptores está dada por una expresión diferencial, tanto cualitativa como cuantitativa, de diversas moléculas como canales iónicos, neuropéptidos y factores de crecimiento. En particular, existe evidencia experimental que sugiere una expresión específica de un subconjunto de canales iónicos en los nociceptores, hecho que los diferencia en gran medida de las neuronas sensoriales no nociceptivas²⁻⁸. Dentro de este subconjunto de canales destacan los receptores purinérgicos y el receptor de vaniloide (también conocido como receptor de capsaicina). Ambos representan familias de canales catiónicos cuya función es traducir los estímulos nocivos a señales eléctricas en las neuronas sensoriales⁹ a través de la generación de minúsculas corrientes iónicas que modifican su excitabilidad y metabolismo. En este artículo se revisan brevemente las propiedades estructurales y funcionales básicas de dichos canales y se resume

El Dr. Ricardo Félix es investigador titular del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav. El biólogo Gabriel Gasque realiza su doctorado en ciencias bioquímicas en el Instituto de Biotecnología de la UNAM.

Dirección electrónica: rfelix@fisio.cinvestav.mx

información reciente que ha permitido relacionarlos con la percepción del dolor.

Receptores purinérgicos

Clasificación. Los receptores purinérgicos pertenecen a dos familias de proteínas, poco vinculadas estructuralmente, conocidas como P2Y y P2X, cuya única relación radica en su capacidad de activarse mediante la unión de adenosina trifosfato (ATP) extracelular. Además de ser una molécula fundamental para la vida, pues constituye la principal fuente de energía libre en los sistemas biológicos, el ATP es un importante neurotransmisor tanto en el sistema nervioso central como en las sinapsis neuromusculares¹⁰.

Los receptores P2Y son miembros de la familia de receptores de siete hélices transmembranales acoplados a proteínas G. Por tratarse de receptores metabotrópicos (no acoplados a una vía de transporte iónico) no serán considerados en este artículo. Por su parte, los receptores purinérgicos ionotrópicos P2X (acoplados a un poro conductor de iones), son proteínas transmembranales de entre 379 y 595 aminoácidos que comparten un alto grado de identidad (35-48%) en su estructura primaria^{6,10}. En la actualidad se sabe que estas proteínas se encuentran codificadas por al menos siete genes distintos denominados P2X₁, P2X₂,..., P2X₇. En respuesta a concentraciones micromolares de ATP, los receptores P2X activan una conductancia catiónica^{10,11} igualmente selectiva para Na⁺ que para K⁺. Los diferentes tipos de receptores P2X muestran variaciones en su permeabilidad a los iones de Ca²⁺, pero en general son más permeables al catión divalente que a los monovalentes¹¹. Esta observación tiene importantes implicaciones fisiológicas: además de contribuir *per se* a la polarización de la membrana plasmática, una vez dentro de las células el Ca²⁺ actúa como un segundo mensajero que gobierna una gran variedad de eventos funcionales que incluyen, entre muchos otros, la liberación de neurotransmisores, la activación de enzimas y la expresión génica.

Estructura y función de los receptores P2X. Los estudios bioquímicos en general, y el análisis de hidrofobicidad en particular, sugieren que los receptores P2X contienen dos segmentos transmembranales y que los dominios amino (N) y carboxilo (C) terminales de la pro-

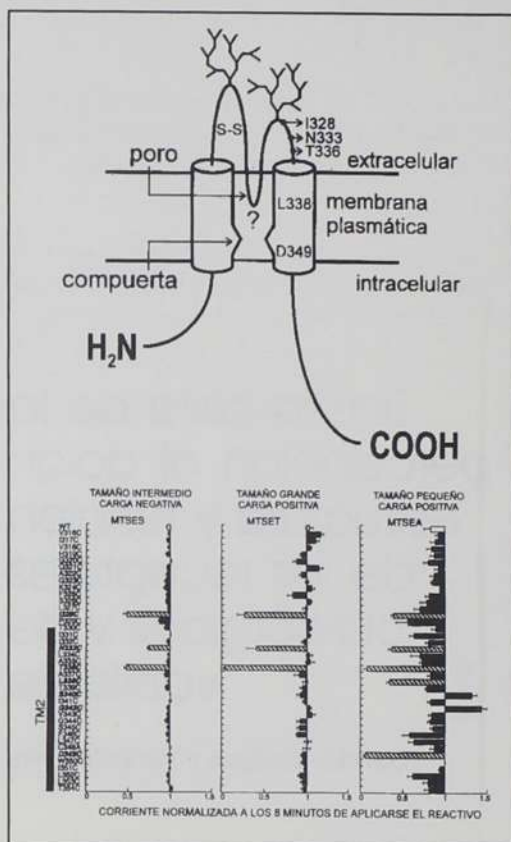


Figura 1. Estructura molecular de los receptores purinérgicos. (A) Representación esquemática de la topología de los receptores P2X. Los cilindros representan los dos segmentos transmembranales de la proteína y las flechas apuntan distintos dominios funcionales del receptor. (B) Resumen de los efectos del tratamiento con metanotiosulfonato (MTS) sobre la amplitud de la corriente a través de los receptores P2X de tipo silvestre y aquellos en que diversos aminoácidos del segundo segmento transmembranal (TM2) y la región pre-TM2 fueron substituidos por cisteínas. Las barras achuradas identifican los residuos en los cuales el MTS ocasionó una inhibición significativa de la corriente (ver panel A)¹⁶.

teína residen en el citoplasma^{12,13} (figura 1A). El extremo N es siempre corto, mientras que la longitud del extremo C varía entre 25 y 240 aminoácidos. El asa extracelular que une a los dos dominios transmembranales comprende alrededor de 270 residuos y posee de 2 a 7 sitios potenciales de glucosilación. De igual manera, todos los receptores P2X poseen en su asa extracelular 10 residuos conservados de cisteína, que posiblemente estabilizan la

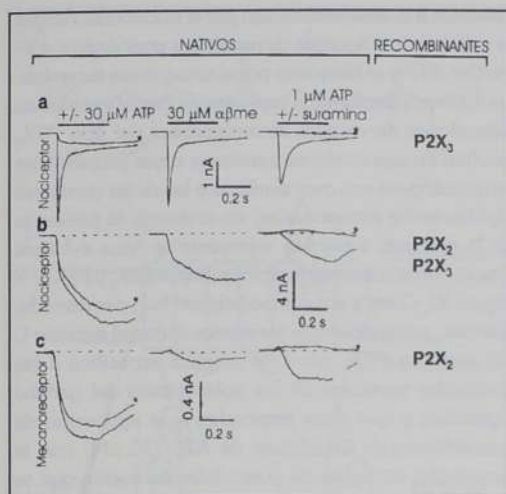


Figura 2. Comparación farmacológica de las corrientes activadas por ATP en nociceptores y neuronas sensoriales no nociceptivas (MeN5). Los nociceptores expresan dos tipos de corrientes: transitoria (a) y sostenida (b); mientras que las neuronas MeN5 de los mecanoreceptores sólo una (c). Además de ser activadas por el ATP, las corrientes pueden ser evocadas por α, β -metilen ATP (á.á.me) y se bloquean por el antagonista de los receptores P2X suramina. Las propiedades biofísicas y farmacológicas fundamentales de estas corrientes nativas pueden ser reproducidas en sistemas heterólogos expresando canales recombinantes, tal y como se indica a la derecha de los trazos⁷.

estructura de la proteína mediante puentes disulfuro^{10,14}. Esta topología general de los receptores P2X difiere notoriamente de la establecida para otras importantes familias de canales activados por ligandos como la familia del receptor de glutamato y la del receptor nicotínico de acetilcolina. Ambos son pentámeros en los que cada subunidad tiene tres o cuatro segmentos transmembranales¹⁵.

La estructura que compone el sitio de unión extracelular al nucleótido aún no se ha identificado y no existe ninguna similitud obvia con proteínas conocidas que unan ATP⁶ que permita predecirlo. Sin embargo, la identificación de los aminoácidos que podrían formar el poro acuoso del receptor P2X (del subtipo 2) ha sido posible a través del empleo de una estrategia experimental conocida como método de accesibilidad de cisteínas sustituidas; este método consiste en substituir de manera individual varios aminoácidos de la proteína de interés

por cisteínas y estudiar la accesibilidad de sus cadenas laterales empleando un reactivo hidrosoluble que contiene grupos sulfidrilos. Rassendren *et al.*¹⁶ generaron mutaciones individuales en 38 aminoácidos localizados hacia el extremo distal del asa extracelular y a lo largo de todo el segundo dominio transmembranal (figura 1B). Estos autores encontraron que tres de estas sustituciones (I328C, N333C y T336C) fueron capaces de ocasionar un bloqueo en la corriente a través de los canales, inducida por el ATP cuando a la solución extracelular de registro se le añadió un metanotiosulfonato soluble con carga negativa¹⁶. Estos resultados sugieren que los aminoácidos sustituidos residen en el vestíbulo exterior del poro y no forman parte del filtro de selectividad. Otro par de sustituciones, L338C y D349C, permitieron el bloqueo de la corriente sólo cuando el reactivo empleado fue de carga positiva y su diámetro pequeño (<5 Å), de tal suerte que pudiera pasar a través de los canales. L338C fue accesible al reactivo oxidante independientemente de la presencia de ATP. En contraste, D349C permitió el bloqueo sólo cuando el canal estaba abierto. Estos resultados sugirieron que parte del poro del receptor P2X está formado por el segundo dominio hidrofóbico, y que la compuerta que lo abre se localiza entre los residuos L338 y D349¹⁶.

Los sistemas heterólogos de expresión *in vitro* han sido muy útiles para el estudio de los receptores P2X pues en ellos es posible obtener corrientes activadas por ATP, tanto de receptores homoméricos como heteroméricos, pese a que la composición y estequiometría exacta del receptor no se conozcan con exactitud⁶. Sin embargo, es posible que ambas combinaciones existan *in vivo*, ya que las propiedades de los canales homoméricos recombinantes P2X₁ son muy similares a las corrientes nativas activadas por ATP de células de músculo liso¹¹, en tanto que las de las células sensoriales se reproducen mediante la coexpresión de los subtipos P2X₂ y P2X₃³.

Participación de los receptores P2X en la nocicepción. Diversos estudios sugieren que el dolor inicial que resulta de un daño tisular podría ser ocasionado por la liberación de ciertos componentes citoplasmáticos que activarían los nociceptores. Se ha propuesto que el ATP liberado es uno de los indicadores de dicho daño, pues su inyección hipodérmica en forma de compuesto aislado, o como componente principal en una fracción celular, produce dolor¹⁴.



Aunque la expresión de los receptores P2X es ubicua, diversos subtipos muestran una distribución diferencial y definida en algunos tejidos. De manera sorprendente, los ganglios sensoriales que conjuntan mecanorreceptores (estructuras especializadas enriquecidas en canales iónicos que se activan en respuesta a estímulos físicos como el estiramiento de la membrana plasmática) y nociceptores, expresan sólo dos de los siete tipos de receptores purinérgicos: P2X₂ y P2X₃^{3,10,17}. La expresión del subtipo P2X₂ parece no ser exclusiva de los nociceptores, pues además de compartirla con los mecanorreceptores, este tipo de canales también se encuentra presente en las neuronas de los ganglios autónomos y en el cerebro. Sin embargo, la expresión de P2X₃ al parecer sí es específica de la neuronas sensoriales nociceptivas^{3,7,17}.

Los nociceptores del ganglio trigémino (que inervan entre otras estructuras la raíz de los dientes) expresan dos tipos de corriente activadas por ATP que son cinética y farmacológicamente diferentes⁷. Una de las corrientes es transitoria y se desensibiliza por la exposición repetida a ATP, mientras que la otra es sostenida y relativamente

resistente a la desensibilización por el nucleótido. Ambas se activan por el agonista de receptores purinérgicos α, β -metilen ATP y se bloquean por el antagonista suramina. De manera interesante, la expresión funcional en sistemas heterólogos de canales recombinantes del tipo P2X₃ resultan en una corriente transitoria cuyas propiedades farmacológicas son muy similares a las de las corrientes rápidas arriba mencionadas; sin embargo, la presencia de la corriente sostenida solamente se hace evidente después de la coexpresión de los subtipos P2X₂ y P2X₃^{3,7,17} (figura 2). Cook y sus colaboradores⁷ han demostrado, además, que anticuerpos generados contra el extremo C del receptor P2X₃ tiñen de manera específica a las terminales nerviosas de los nociceptores del ganglio trigémino, y que éstas responden a la aplicación de concentraciones fisiológicas de ATP (10 μ M) con la generación de trenes de potenciales de acción que se propagan a toda la célula⁷. Consistente con la presencia de dos tipos diferentes de corrientes activadas por ATP en los nociceptores, unas que se desensibilizan y otras que no, los trenes de potenciales de acción inducidos por el nucleótido son también de dos tipos: adaptativos y tónicos.

De esta manera, la evidencia experimental existente apoya fuertemente la idea de que el ATP, actuando a través de los receptores P2X₃, activa a los nociceptores como consecuencia de un daño tisular local. En virtud de que el canal se abre en respuesta a concentraciones micromolares de ATP, una dilución producto del daño celular del propio contenido citosólico (que posee milimoles de ATP) en el espacio extracelular podría activar al receptor.

Dada la importancia terapéutica que tiene la identificación de un blanco unimolecular para el tratamiento del dolor (analgesia), el desarrollo genético de animales carentes del receptor P2X₃ es la empresa en que se han embarcado recientemente varios de los laboratorios que van a la vanguardia de la investigación en el campo. Tales modelos animales permitirán la identificación inequívoca de las funciones del receptor P2X₃ en la percepción del dolor. Según la expresión localizada del receptor P2X₃, y dado que su función aparentemente no compromete el desarrollo, se predice que dichos animales deberán ser viables y estar disponibles para su estudio en el corto plazo.

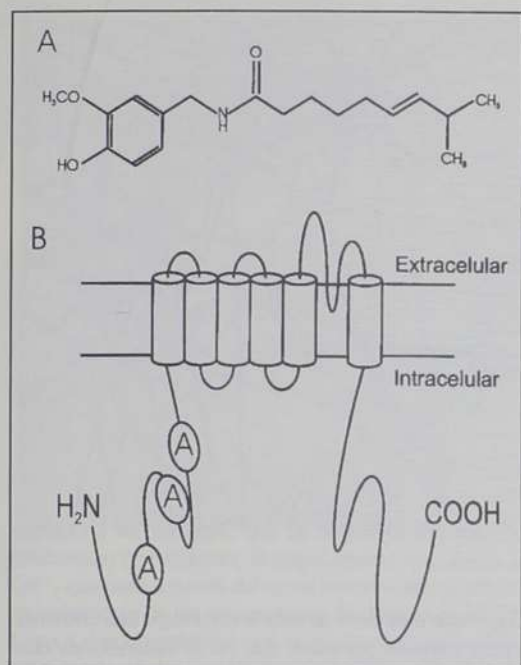


Figura 3. La capsaicina y su receptor. (A) La capsaicina, trans-8-metil-N-vanilil-6 nonenamida, es una amida bioactiva derivada de los vegetales de género *Capsicum* spp que se caracteriza por producir una sensación de ardor intenso. La capsaicina y sus análogos (como la resiniferatoxina), conocidos colectivamente como vaniloides, interactúan con sitios específicos (VR1) localizados en la membrana de las neuronas sensoriales que se piensa podrían constituir importantes eslabones moleculares en la cadena de mecanismos moleculares involucrados en la nocicepción. (B) Representación esquemática de la estructura molecular y la topología membranar del receptor de capsaicina (VR1). Los cilindros indican los seis segmentos transmembranales de la proteína. El extremo amino terminal contiene una secuencia rica en prolina seguida de tres repetidos de anquirina (A), una molécula encargada de enlazar proteínas transmembranales al esqueleto celular. Se ha propuesto que dichos repetidos podrían estar involucrados en determinar la localización del receptor en las terminales nerviosas.

Receptor de vaniloide

Estructura y función. En 1997, Caterina y sus colaboradores clonaron a partir de una biblioteca de neuronas sensoriales, mediante una estrategia de expresión funcional, una proteína de seis segmentos transmembranales que activa una conductancia catiónica no selectiva en respuesta a la aplicación de un compuesto muy

irritante conocido como capsaicina y que es la sustancia que les confiere su sabor picante a una gran variedad de chiles⁴. Dado que el grupo químico vaniloide constituye un componente esencial de la molécula de capsaicina (figura 3A), así como de la resiniferatoxina, otro potente activador del receptor, la proteína recibió el nombre de receptor de vaniloide tipo 1 (VR1 por sus siglas en inglés).

El VR1 posee 838 aminoácidos arreglados, según su patrón de hidrofobicidad, en seis segmentos transmembranales: un asa que define el poro acuoso conductor de iones comprendido entre los segmentos transmembranales 5 y 6 (de manera semejante a lo que ocurre en otro tipo de canales iónicos que se activan en respuesta a cambios en el voltaje transmembranar y que se conocen como canales sensibles a voltaje), y extremos C y N localizados intracelularmente⁴ (figura 3B). Pese a que el sitio de unión a la capsaicina se desconoce, dada la hidrofobicidad de la molécula no se descarta que ésta podría actuar a ambos lados de la membrana plasmática. Asimismo, el análisis de la curva dosis-respuesta del receptor recombinante VR1 ha revelado que la activación completa del receptor involucra la unión de más de una molécula de capsaicina (coeficiente de Hill ≥ 2). Una posible explicación para esta cooperatividad es que la estructura del canal funcional sea multimérica (presumiblemente tetramérica), como se ha registrado para otros canales de seis segmentos transmembranales¹⁸. De manera notable, la topología del VR1 es muy similar a la de una familia de canales iónicos definidos por el receptor de potencial transitorio (*trp*, por sus siglas en inglés) de la vía de fototransducción en *Drosophila*. El VR1, al igual que los canales *trp*, es altamente permeable a Ca^{2+} lo que le confiere importantes propiedades fisiológicas tal y como se analiza más adelante^{4,19}.

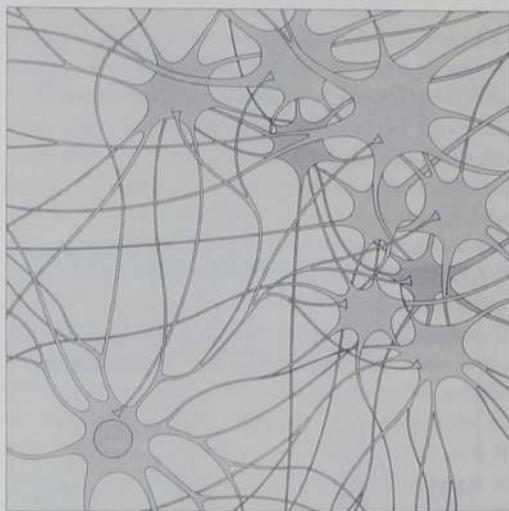
Participación del receptor de vaniloide en la nocicepción. Estudios recientes han mostrado que el VR1 no sólo se activa por capsaicina, sino que responde además a temperaturas superiores a los 43 °C, suficientes para causar dolor en los mamíferos. Se ha propuesto que es el calor el estímulo fisiológico para la apertura del canal. Diversas propiedades de la corriente activada por capsaicina y temperatura elevada a través de VR1 recombinantes, incluyendo el perfil de la respuesta y la farmacología, coinciden notoriamente con aquellas registradas para las corrientes nativas evocadas por calor en neuronas sensoriales en cultivo^{4,6,20,21}. La capacidad que tiene el receptor para responder tanto a la capsaicina

como a los incrementos nocivos de temperatura podría explicar la sensación de ardor cuando se consumen alimentos con alto contenido de capsaicina como el chile, ingrediente indispensable de la muy nuestra y, dicho sea de paso, succulenta cocina mexicana.

Por otro lado, la activación de VR1 en respuesta a un incremento de la temperatura no excluye la existencia de mecanismos endógenos adicionales de modulación. Los trabajos del grupo de Caterina han mostrado que el receptor recombinante es susceptible de modulación por $\text{pH}^{4,21}$. Así, al aumentar la concentración extracelular de protones se disminuye el umbral térmico de activación. A un pH de 5.9, por ejemplo, el canal se activa a temperatura ambiente²¹. De esta manera ha resultado razonable proponer que la hiperalgesia (el incremento en la respuesta a estímulos nocivos) que acompaña a la inflamación y a la isquemia sea el resultado, al menos en parte, de una potenciación de las funciones de VR1 por la acidificación que tales procesos provocan en los tejidos dañados²¹. En este sentido, los ratones en que se ha eliminado VR1 carecen completamente de la capacidad de desarrollar la hiperalgesia inducida por agentes químicos^{4,8}.

La activación de VR1, dada su alta permeabilidad a Ca^{2+} , no sólo produce excitabilidad neuronal sino que además incrementa los niveles intracelulares de este importante ión, y da inicio a diversas cascadas de señalización intracelular. Esto pudiera explicar los efectos excitotóxicos de la exposición prolongada a capsaicina. Las personas que regularmente consumen alimentos ricos en picante se desensibilizan a sus efectos irritantes, así como a otros estímulos nocivos. La destrucción selectiva de las neuronas nociceptivas podría ser una razón de la desensibilización por capsaicina. En forma alternativa, VR1 podría estar regulado de tal manera que disminuya su expresión funcional al exponerlo de manera prolongada al agonista. Independientemente del mecanismo por el cual la capsaicina desensibiliza a los nociceptores, tal propiedad explica sus efectos como analgésico en el tratamiento de la artritis reumatoide y las neuropatías virales y de origen diabético⁶.

A pesar de la evidencia experimental que relaciona la corriente a través de VR1 con aquella de las neuronas sensoriales inducida por temperaturas nocivas, no todas las características de la respuesta endógena a calor se asemejan a aquella mediada por el receptor recombinante.



El ejemplo más claro de esto lo constituye una corriente nativa activada por calor, que no se desensibiliza con pretratamiento con capsaicina. Estos resultados indican que los estímulos térmicos nocivos deben ser traducidos a través de diversas vías moleculares, sólo en algunas de las cuales podría estar involucrado VR1. Consistente con esto, recientemente se ha registrado la existencia de otra proteína capaz de traducir estímulos térmicos⁹. Usando una estrategia de clonación *in silico*, Caterina y sus colaboradores⁹ identificaron una proteína, denominada VRL-1, que comparte una alta homología estructural con VR1. Además de compartir un 49% de identidad en sus secuencias de aminoácidos, VR1 y VRL-1 poseen la misma topología membranar. Sin embargo, a diferencia del receptor de vaniloide, VRL-1 no responde a capsaicina, y requiere de temperaturas más elevadas ($\sim 52^\circ\text{C}$) para ser activado. Como se expresa abundantemente en un subconjunto de neuronas sensoriales, se ha sugerido que VRL-1 podría estar encargado de la percepción de alto umbral de estímulos térmicos nocivos. Sin embargo, el transcrito para VRL-1 no está restringido a las neuronas sensoriales, por lo que es probable que el canal se active también por estímulos diferentes al térmico y desempeñe otra función además de la nocicepción⁹.

Aunque es claro que tanto VR1 como VRL-1 participan en la traducción sensorial de los estímulos térmicos nocivos, existen aún numerosas preguntas

respecto a su fisiología, que es necesario resolver. Se desconoce, por ejemplo, el papel preciso que juega el Ca^{2+} , que pasa a través del canal cuando éste se activa, en la fisiología de los nociceptores. Sin lugar a duda, los nuevos descubrimientos que se realicen en torno a las propiedades de los receptores de vaniloide contribuirán al desarrollo de nuevas y mejores estrategias terapéuticas contra la hiperalgesia.

Agradecimientos. Deseamos agradecer a los doctores A. Darszon y L. Possani por las estimulantes discusiones en torno al tema.



Notas

1. A.I. Basbaum, T.M. Jessell, en *Principles of Neural Science*, E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessell, ed. (McGraw-Hill, Nueva York, 2000).
2. E.W. McCleskey, M.S. Gold. *Annu. Rev. Physiol.* **61**, 835 (1999).
3. C.Lewis *et al.*, *Nature* **377**, 432 (1995).
4. M.J. Caterina *et al.*, *Nature* **389**, 816 (1997).
5. M.J. Caterina *et al.*, *Science* **288**, 306 (2000).
6. F.M. Ashcroft, *Ion channels and disease* (Academic Press, San Diego, 2000).
7. S.P. Cook *et al.*, *Nature* **387**, 505 (1997).
8. J.B. Davis *et al.*, *Nature* **405**, 183 (2000).
9. M.J. Caterina *et al.*, *Nature* **398**, 436 (1999).
10. R.A. North, E.A. Barnard, *Curr. Op. Neurobiol.* **7**, 346 (1997).
11. R.J. Evans *et al.*, *Mol. Pharmacol.* **48**, 178 (1995).
12. S. Valera *et al.*, *Nature* **371**, 516 (1994).
13. A.J. Brake, M.J. Wagenbach, D. Julius, *Nature* **371**, 519 (1994).
14. C. Kennedy, P. Leff, *Nature* **371**, 385 (1995).
15. G.L. Westbrook, en *Cell Physiology. Source book*, N. Sperelakis, ed. (Academic Press, San Diego, 1998).
16. F. Rassendren *et al.*, *EMBO J* **16**, 3446 (1997).
17. C.C. Chen *et al.*, *Nature* **377**, 428 (1995).
18. B. Hille, *Ionic channels of excitable membranes*, 2 (Sinauer, Sunderland, 1992).
19. X. Zhu *et al.*, *Cell* **85**, 661 (1996).
20. P. Cesare, P. McNaughton, *Proc. Na. Acad. Sci. USA* **93**, 15435 (1996).
21. M. Tominaga *et al.*, *Neuron* **21**, 531 (1998).

VII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar



Campeche, Camp.
13 al 15 de noviembre del 2000

El programa técnico del congreso cubre los siguientes aspectos:

 **Recursos y medio ambiente**

 **Acuacultura**

 **Pesquerías**

 **Tecnología de alimentos**

 **Ordenamiento costero**



Informes:

Comité Organizador
Departamento de eventos especiales
Dirección General de Educación en Ciencia y Tecnología del Mar
Dr. Jiménez No. 47 Col. Doctores.
Delegación Cuauhtémoc
06720, México, D.F.
Tels: 5578 5721/3065/2633/1751/5747 Ext. 138
Directo y Fax: 5578 5617
E-mail: uecytm@sep.gob.mx
E-mail: opuecytm@sep.gob.mx

Control de una red eléctrica de potencia

J.M. Ramírez, I. Coronado, P. Zúñiga, R. Dávalos, A. Valenzuela, I. Castillo

Interconexiones

Desde que a finales del siglo XIX T. A. Edison comenzó a operar la primera red eléctrica en corriente directa, hasta hoy en día los sistemas eléctricos han evolucionado en todos sentidos. El desarrollo de los transformadores y del motor de inducción, así como el mejoramiento en el diseño del generador hizo más redituable operar en corriente alterna, originalmente de 50 ciclos. El crecimiento poblacional y el desarrollo industrial diversificaron el uso de la energía eléctrica, de modo que la iluminación dejó de ser la carga principal de una red eléctrica, y en la actualidad no se puede realizar prácticamente ninguna actividad sin este tipo de energía.

A mediados del siglo pasado se crearon las primeras interconexiones entre pequeños sistemas eléctricos aislados, supervisados desde centros de control situados en puntos geográficos apropiados para abarcar la totalidad de una extensión territorial, y con los consecuentes beneficios de trabajar interconectados: (a) la posibilidad de compartir la carga entre los diferentes miembros y tener asistencia mutua en emergencias; (b) la coordinación de la operación de todas las unidades generadoras participantes. Todo ello con el fin de tener un sistema confiable y económicamente más conveniente. Así por ejemplo, el Sistema Interconectado Nacional se ha dividido en varias áreas de control con el fin de supervisar y abastecer de energía a la totalidad del territorio con una capacidad instalada de alrededor de 28 GW. Esta tendencia a la interconexión sigue manifestándose, ahora incluso uniéndose eléctricamente diferentes países.

Los autores son miembros de la Unidad Guadalajara del Cinvestav.
Correo electrónico: jramirez@gdl.cinvestav.mx

Pese a las ventajas de las interconexiones, éstas traen aparejados serios problemas de operación y de control, que son un gran reto para el ingeniero de sistemas de potencia. Por ejemplo, dado que en la actualidad la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades, cuando ocurre un disturbio en cualquier parte del sistema, éste se hace sentir en todo el sistema, en mayor o menor grado dependiendo de la distancia eléctrica. Cuando esa contingencia se aísla apropiadamente todo vuelve a la normalidad en cuestión de segundos; de lo contrario, es posible que se pueda desencadenar una cascada de eventos que provocan los grandes apagones como los que hemos sufrido.

Así pues, con el discurrir del tiempo se han construido sistemas interconectados cada vez más grandes. La extensión de estos grandes sistemas los hace extremadamente difíciles de operar y controlar. En este artículo plantearemos algunos de los problemas de control de los sistemas de potencia y propondremos algunas estrategias para solucionar determinados aspectos del problema.

Modelos matemáticos

Los estudios dinámicos que se llevan a cabo en redes eléctricas pueden clasificarse en (a) fenómenos electromagnéticos y (b) fenómenos electromecánicos. Los primeros están asociados principalmente a descargas atmosféricas que inciden sobre o cerca de las instalaciones de la red, o a la conmutación de equipos en operación. En estos casos es muy importante el adecuado análisis de sobrevoltajes y la exacta coordinación de aislamientos. La escala de tiempo de estos fenómenos es del orden de microsegundos.

Para el caso de los fenómenos electromecánicos el balance de potencias suministradas y consumidas es fundamental; aquí interviene principalmente la dinámica de las masas rotatorias de las unidades generadoras, dando lugar al problema de oscilaciones de potencia. La escala de tiempo en que se analizan estos fenómenos es del orden de segundos.

Existen algunos fenómenos intermedios que dejamos a un lado y en adelante nos centraremos en el problema de carácter electromecánico, íntimamente relacionado con la operación cotidiana de una red eléctrica de potencia.



En ese contexto es común modelar las unidades generadoras mediante un conjunto de 4 a 8 ecuaciones diferenciales ordinarias no-lineales. Este número depende de la precisión con la que se representen los devanados del rotor y del estator que constituyen la máquina. Las variables empleadas en su descripción pueden ser corrientes eléctricas, encadenamientos de flujos magnéticos, voltajes internos o una combinación de ellos.

Cada unidad generadora requiere al menos de dos controles para cumplir con las dos medidas elementales de la calidad de la energía eléctrica: (a) el control del voltaje, y (b) el control de la frecuencia. Al primero le denominaremos aquí el regulador de voltaje o sistema de excitación, y al segundo el sistema de regulación de la velocidad. Cada uno de estos controles puede modelarse, en promedio, con tres o cuatro ecuaciones diferenciales ordinarias no-lineales y son del tipo descentralizado, lo que implica que son controles que retroalimentan sólo

señales locales, como la magnitud del voltaje en las terminales de la unidad y la velocidad del rotor.

Para llevar a cabo estudios en el tiempo que involucran la dinámica de las unidades generadoras se requiere en promedio alrededor de ocho ecuaciones diferenciales ordinarias; si consideramos que el Sistema Interconectado Nacional tiene en operación alrededor de 250 unidades generadoras, esto significa que un modelo de la red para un estudio de fenómenos electromecánicos implica resolver en forma simultánea unas idos mil ecuaciones diferenciales ordinarias! Este es un reto enorme que requiere de muchas herramientas de análisis y estrategias de cómputo para tener éxito en los procesos de planeación tales como manejo eficiente de matrices dispersas, técnicas de reducción de modelos y métodos eficientes de integración para sistemas con rigidez numérica.

Problemas de control

Resulta evidente que no todas las estrategias del control moderno son aplicables a los sistemas eléctricos de potencia cuando intervienen todos los elementos que conforman la red. Es posible aplicar algunas estrategias si nos enfocamos en un elemento particular, como podría ser un motor de inducción, para el que se han propuesto múltiples maneras de controlar su velocidad o par.

En los problemas de carácter electromecánico, cuando el sistema eléctrico está integrado por algunas centenas de unidades generadoras y se desea diseñar un controlador que debe actuar coordinado con todos los demás, es muy complicado aplicar algunas de las técnicas de control no-lineal. En este caso se involucran cálculos difíciles de realizar, tales como la derivación de funciones, ya que derivar dos o tres funciones para diseñar un control para un motor de inducción o de corriente directa no tiene ninguna comparación con tratar de hacerlo para centenas de ellas cuando se requiere el control para un sistema de potencia. Es decir, desde un punto de vista pragmático, para analizar un problema de grandes dimensiones es común emplear aproximaciones lineales, que conducen al diseño de controladores convencionales del tipo PID o adelanto-atraso. Algunas técnicas modernas lineales que incluyen consideraciones de robustez conducen a controladores de las mismas dimensiones de la planta, lo cual requiere adicionalmente la aplicación de técnicas de reducción de modelos, en el mejor de los casos.

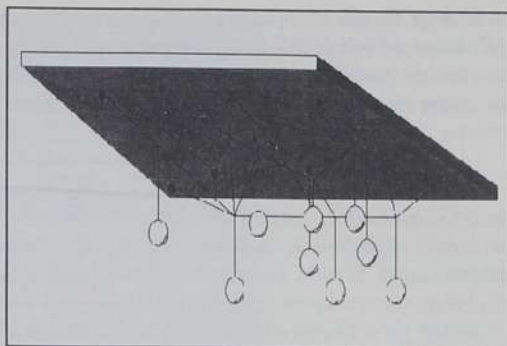


Figura 1. Analogía para ilustrar el problema de estabilidad en redes eléctricas.

Estabilidad

La estabilidad del sistema de potencia es aquella propiedad del sistema que le permite permanecer en un estado de equilibrio operativo bajo condiciones de operación normal y recobrar un estado aceptable de equilibrio después de verse sujeto a un disturbio¹. La estabilidad es una condición de equilibrio entre fuerzas opuestas. La figura 1 es una analogía clara del tipo de oscilaciones que experimentan los generadores (representados por las esferas) alrededor de su punto de equilibrio al presentarse un disturbio en la red de transmisión (representada por las ligas). Si el disturbio es demasiado grande o el sistema es débil, puede producirse un colapso.

En el sistema de potencia, la inestabilidad puede manifestarse de muchas maneras dependiendo de la configuración del sistema, el modo de operación y el tipo de disturbio. Ya que los sistemas de potencia dependen de los generadores síncronos para la generación de potencia eléctrica, una condición necesaria es que todos ellos permanezcan en sincronismo, es decir, operando a la misma frecuencia. Este aspecto de la estabilidad está determinado por la dinámica de las posiciones angulares de los rotores, de los generadores y la relación potencia-ángulo.

La inestabilidad puede también darse sin la pérdida de sincronismo. Por ejemplo, un sistema consistente de un generador que alimenta a un motor de inducción puede llegar a ser inestable debido al colapso del voltaje

en la carga. En este ejemplo, el objetivo es la estabilidad y el control del voltaje más que mantener el sincronismo. Este tipo de inestabilidad también puede ocurrir cuando las cargas están distribuidas en un área extensa de un sistema.

En el caso de un desbalance grande de carga/generación, el generador y los controles de los primomotores, así como los sistemas de control y sus protecciones, son determinantes. Si no se coordinan apropiadamente, es posible que la frecuencia llegue a ser inestable y pueden dispararse las unidades o las cargas, conduciendo a un apagón. Este es otro caso donde las unidades pueden permanecer en sincronismo (hasta que sean disparadas por las protecciones de baja frecuencia), pero aún así el sistema puede llegar a ser inestable.

La estabilidad en sistemas de potencia se reconoció como un problema importante en los años 20. Los problemas se relacionaban principalmente con el sistema de transmisión. Con excitadores lentos y reguladores de voltaje de acción no continua, la insuficiencia del par de sincronización provocaba inestabilidades. Para analizar la estabilidad del sistema se desarrollaron técnicas gráficas como el criterio de áreas iguales y diagramas de círculo de potencias. Estos métodos fueron exitosos en sistemas pequeños representados como sistemas de dos unidades generadoras.

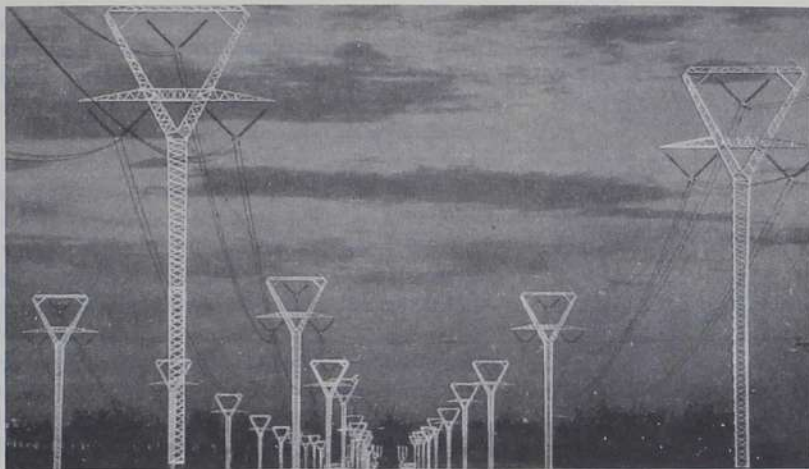
Con el crecimiento de los sistemas y los atractivos de la interconexión, la complejidad de los problemas de estabilidad también se incrementó y los sistemas ya no pudieron tratarse con el caso gráfico de dos unidades. Esto condujo en 1930 al desarrollo del analizador de redes, que es capaz de analizar flujos de potencia multimáquinas. La dinámica del sistema, sin embargo, tuvo que ser analizada mediante la solución de las ecuaciones de oscilación (tipo armónico) usando integración numérica paso a paso. Luego se dieron mejoras en la estabilidad del sistema al liberar las fallas rápidamente por la acción de interruptores más veloces, y con la acción de sistemas de excitación más rápidos. La inestabilidad aperiódica del estado estable fue virtualmente eliminada por la instrumentación de reguladores de voltaje de acción continua. Al mejorar la dependencia de los controles, el énfasis en los estudios de estabilidad cambió de los problemas de la red a los del generador, y se requirieron simulaciones con representaciones más detalladas de la máquina síncrona y los sistemas de excitación.

Los años 50 vieron el desarrollo de la computadora analógica, con la que podían llevarse a cabo simulaciones que estudiaban en detalle las características dinámicas de un generador y sus controles, más que el comportamiento dinámico multimáquina. A finales de los 50 emergió la computadora digital como el medio ideal para estudiar los problemas de estabilidad asociados con grandes sistemas interconectados.

Mientras que las interconexiones resultan en una operación económica y en una confiabilidad superior a través de la asistencia mutua, sin embargo incrementan la complejidad de los problemas de estabilidad. Hasta hace unos pocos años, el interés y esfuerzo se habían concentrado en el área de la inestabilidad de la posición angular del rotor conocida como estabilidad transitoria. No obstante, la evolución de los sistemas de potencia ha resultado en la aparición de otros fenómenos de estabilidad que pueden limitar la operación del sistema y que no son adecuadamente capturados usando las técnicas de análisis de estabilidad transitoria convencionales.

El uso creciente de excitadores de respuesta rápida, junto con la disminución en la fortaleza de los sistemas de transmisión, ha dirigido la atención hacia la estabilidad de señales pequeñas. Este tipo de inestabilidad angular a menudo es vista como modos locales de oscilación, o en el caso de grupos de generadores interconectados por enlaces débiles, como modos de oscilación interárea. Los problemas de estabilidad de pequeñas señales han conducido al desarrollo de técnicas especiales de estudio, tales como el análisis de valores y vectores propios.

Por razones económicas y de medio ambiente, la carga eléctrica se suministra desde grandes centros de generación, a través de largas líneas de transmisión. Los problemas asociados con requerimientos de potencia reactiva y control de voltaje han conducido a un interés creciente por la estabilidad del voltaje. Muchos de los factores que influyen en la estabilidad de voltaje no se modelan en los programas de cómputo convencionales de estabilidad transitoria, o bien, la inestabilidad de voltaje puede ocurrir muy lentamente como para simularse de manera apropiada con el modelado existente². A mediados de los años 70, los problemas asociados con la respuesta dinámica de los sistemas de potencia ante disturbios severos condujeron a la identificación de dos clases adicionales de estabilidad: de mediano y de largo



plazo. Estos conceptos tratan con disturbios severos en el sistema, que resultan en grandes variaciones del voltaje, frecuencia, flujos de potencia, etc., y requieren la acción de procesos lentos, controles y protecciones que no son modelados en simulaciones convencionales de estabilidad transitoria.

La evolución de los sistemas de potencia ha resultado en modos de inestabilidad más complejos; en particular, la estabilidad de voltaje, la estabilidad de largo plazo y las oscilaciones interárea de baja frecuencia son motivo de mucho interés. La estabilidad en sistemas de potencia es un problema integral; sin embargo, es impráctico tratarlo como tal. La inestabilidad en el sistema de potencia puede tomar diversas formas y puede ser determinada por muchos factores. El análisis de problemas de estabilidad, incluyendo la identificación de los factores esenciales que contribuyen a la inestabilidad y la búsqueda de métodos del mejoramiento de la operación estable, se facilita mediante la clasificación de la estabilidad en categorías apropiadas:

- la naturaleza física de la inestabilidad resultante,
- el principal parámetro del sistema en el que se observa la inestabilidad,
- el tamaño del disturbio considerado,
- el método más apropiado de cálculo y predicción de la estabilidad,

- los dispositivos, procesos, y el tiempo que debe tomarse en consideración para determinar la estabilidad.

Oscilaciones de potencia

A finales de los años 50 y principios de los 60, la mayoría de las nuevas unidades generadoras fueron equipadas con reguladores de voltaje de acción continua. Conforme estas unidades crecieron en número al interconectar sistemas, la acción de los reguladores tuvo un impacto en detrimento de la estabilidad del sistema de potencia. Aparecieron oscilaciones de baja frecuencia y magnitud pequeña que pueden persistir por largos periodos de tiempo; esto imponía limitaciones en la transferencia de potencia. Por lo tanto, se reconoció que se requería amortiguamiento para esas oscilaciones. El primer controlador desarrollado para tales efectos, vía la modulación de la excitación del generador, fue el estabilizador de sistemas de potencia (PSS, por sus siglas en inglés)³.

Con el paso del tiempo, no sólo los PSS sino también los compensadores estáticos de reactivos⁴ (SVC) y la modulación de enlaces de alto voltaje en corriente directa⁵ (HVDC), se han utilizado como medio para proporcionar amortiguamiento adicional a los modos de oscilación electromecánicos. Recientemente, con el advenimiento de la tecnología de la electrónica de potencia, se han introducido los sistemas de transmisión flexibles⁶ (FACTS).



Estos últimos han superado las limitaciones asociadas a los sistemas de transmisión controlados en forma mecánica. Mediante el uso de controladores confiables y de alta velocidad, la tecnología de FACTS ofrece las siguientes mejoras en la operación de los sistemas de potencia:

- mayor control de la potencia, de modo que pueda fluir en rutas prescritas de transmisión;
- carga de las líneas de transmisión en niveles más cercanos a sus límites térmicos;
- mayor facilidad para transferir potencia entre áreas controladas, de modo que puedan reducirse los márgenes de reserva de generación;
- incremento del amortiguamiento de las oscilaciones de potencia, dañinas para los equipos;
- capacidad para incrementar los límites de transferencia de potencia, debido al aumento del amortiguamiento.

Así pues, la mejora del amortiguamiento de las oscilaciones representa un área de investigación de actualidad. Coordinar los estabilizadores para lograr este propósito es un tema abierto al mundo de las ideas.

Los sistemas de potencia experimentan diariamente variaciones amplias en sus condiciones operativas; por lo tanto, el diseño de los controladores debe tomar en cuenta esta característica. Conforme los sistemas de potencia

son más grandes y complejos de operar, el uso de controladores robustos es crucial para su funcionamiento; la robustez implica la operación con márgenes adecuados de estabilidad y niveles de desempeño, a pesar de las incertidumbres del modelo y sus suposiciones.

El diseño de los PSS tradicionales está basado en la combinación de análisis modal, la posición de las raíces y sus sensibilidades. En general, la estructura del controlador es simple y consiste en una cascada de componentes PID y filtros del tipo adelanto-atraso. Los resultados del diseño normalmente son conservativos. Al igual que los PSS, los dispositivos FACTS también pueden afectar simultáneamente varios modos de oscilación. La naturaleza de estos modos puede cambiar dependiendo de las condiciones de operación, tal como la cantidad de potencia de transferencia entre áreas y la conmutación de líneas de transmisión. Un dispositivo FACTS puede afectar los modos dominantes de manera diferente según las condiciones operativas, lo que resulta en un mayor control. El atributo de robustez está asociado al desempeño de un controlador de amortiguamiento y debe preservarse aun en sistemas con modos que tienen requerimientos de compensación conflictivos.

A diferencia de los PSS, los dispositivos FACTS no están, en general, localizados cerca de máquinas síncronas; como resultado, las mediciones de la velocidad de la máquina y la potencia, que son críticas en el diseño de PSS, normalmente no están disponibles para los dispositivos FACTS, a menos que se instalen lazos de comunicación. Así que estos dispositivos dependen de mediciones locales para retroalimentar las señales que sean útiles para el amortiguamiento de los modos deseados. Las mediciones locales pueden tener observabilidades modales bajas, implicando que no puedan usarse directamente. Sin embargo, varias señales locales pueden utilizarse para sintetizar señales remotas que tengan amplitudes modales mayores. Una señal remota que tiene significado físico y se ha utilizado ampliamente es el centro angular de un grupo de máquinas que oscilan de manera coherente.

Electrónica de potencia

El gran auge de la electrónica de potencia ha permitido el desarrollo e instrumentación de dispositivos que han

ayudado a mitigar algunos de los problemas a los que se enfrenta el sector eléctrico, tales como los FACTS^{7,8}. Según el IEEE, la definición de estos dispositivos es la siguiente: sistema de transmisión de corriente alterna que incorpora controladores estáticos basados en electrónica de potencia para mejorar el control e incrementar la capacidad de transferencia de potencia.

Los controladores FACTS se componen de arreglos de convertidores ac/dc, dc/ac o conmutadores de ca de alta potencia. Un convertidor se compone de varios conmutadores, cada conmutador es en sí un arreglo de dispositivos de potencia junto con redes *snubber* (circuitos de amortiguamiento), si es necesario, y circuitos manejadores de compuerta⁹. En un dispositivo semiconductor de potencia se encuentran valores nominales de corriente y de voltaje dentro del intervalo de 1 - 5 kA y 5 - 10 kV, respectivamente, por dispositivo; los valores usuales de corriente y voltaje del dispositivo pueden ser del 25 al 50% de su valor nominal. Esto obliga a que los convertidores y conmutadores de ca sean arreglos de un gran número de dispositivos de potencia conectados en serie o en paralelo para alcanzar el desempeño deseado del controlador FACTS. Los dispositivos semiconductores de potencia consisten de diodos, transistores y tiristores. A continuación se menciona brevemente la característica de operación de estos dispositivos.

Diodos. Los diodos son una familia de dispositivos de dos capas con conducción unidireccional. El diodo conduce en polarización directa cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo y bloquea la conducción cuando el cátodo es positivo con respecto al ánodo; este dispositivo no tiene la capacidad de controlar la conducción en polarización directa.

Transistores. Los transistores son una familia de dispositivos de tres capas. El transistor es una válvula electrónica que conduce cuando se le aplica una señal de control adecuada a uno de sus electrodos (*base*). Este dispositivo tiene la propiedad de controlar el flujo de corriente a través de él, dependiendo de la magnitud de la señal de control.

Tiristores. Los tiristores son una familia de dispositivos de cuatro capas. Un tiristor es un válvula electrónica de encendido-apagado que, al igual que el diodo, se encuentra en polarización directa cuando uno de sus electrodos (ánodo) es positivo respecto a su otro electrodo

(cátodo). El tiristor conduce cuando está en polarización directa y se le aplica una señal adecuada de control a la compuerta; el nivel de conducción en este dispositivo no puede regularse.

Comparados con los tiristores, los transistores tienen generalmente un desempeño de conmutación superior en términos de mayor velocidad y menores pérdidas; por otro lado los tiristores tienen menores pérdidas en estado de conducción y mayor capacidad de potencia. Debido a éstas y otras características, los tiristores son los dispositivos más importantes en los controladores FACTS.

Existen dos tipos principales de tiristores: el rectificador controlado de silicio (SCR, por su siglas en inglés, conocido también como tiristor convencional) que tiene la capacidad de encendido mediante una señal adecuada, y el tiristor de apagado de compuerta (GTO) que cuenta con capacidad de encendido y de apagado mediante señales adecuadas. A continuación se describen brevemente ambos dispositivos.

El tiristor inicia su conducción en polarización directa cuando se aplica a la compuerta un pulso de corriente de disparo, entrando rápidamente en conducción total con una caída de voltaje baja. El tiristor convencional no puede forzar su corriente a cero, así es que depende del circuito mismo para que ésta llegue a cero. Cuando la corriente del circuito llega a ese valor, el tiristor se recupera del voltaje de bloqueo inverso en unas cuantas decenas de microsegundos; de esta manera puede bloquear el voltaje directo hasta que se aplique el siguiente pulso de encendido.

El GTO, al igual que un tiristor convencional, se enciende en un modo de conducción completa con una caída de voltaje baja cuando se aplica a la compuerta un pulso de corriente; de igual forma se apaga cuando la corriente llega a cero a causa del circuito mismo. Este dispositivo, a diferencia del tiristor convencional, cuenta además con la capacidad de apagado cuando un pulso se aplica a la compuerta en dirección inversa forzando su corriente a cero.

En la actualidad existe un fuerte desarrollo para mejorar este tipo de dispositivos para incorporar en uno solo las ventajas presentadas por transistores y tiristores tales como bajas pérdidas de conmutación y en estado

de conducción, así como la velocidad de conmutación y gran capacidad de potencia. El sorprendente desarrollo que presenta la electrónica de potencia sugiere que este tipo de dispositivos se encontrará en poco tiempo en el mercado a bajo costo y con características suficientes para satisfacer los requerimientos de los controladores FACTS.

Dispositivos FACTS

En la actualidad las compañías eléctricas tratan de suministrar energía eléctrica a los centros de carga con mínimo costo y con la confiabilidad requerida. Sin embargo, las líneas de transmisión de ca están cada vez más cerca de su límite de transmisión de energía, y por el momento no parece posible detener el aumento en la demanda de energía eléctrica. Aunado a esto, el costo de las líneas de transmisión, así como las dificultades que representan su construcción, limitan la disponibilidad y el crecimiento de la capacidad de generación. Además, en un sistema de transmisión complejo la potencia entre una estación generadora y los centros de carga fluye a través de numerosas líneas; este fenómeno se conoce como flujo en anillo o flujo por rutas paralelas. En un mercado de servicio eléctrico desregulado, este fenómeno causa problemas en las empresas eléctricas ya que la energía eléctrica no fluye basada en leyes económicas; por lo tanto, la transmisión es el principal motivo para establecer una competencia real en el mercado eléctrico.

El flujo en anillo también presenta dificultades en sistemas eléctricos con mercado regulado, ya que existen líneas que son subutilizadas, mientras que hay otras que están sobrecargadas. Aunado a esto, los grandes sistemas de potencia son difíciles de controlar y pueden tomarse menos seguros, conducir grandes flujos de potencia con control inadecuado, tener exceso de potencia reactiva en varias zonas del sistema, sufrir grandes oscilaciones dinámicas entre diferentes partes del sistema y con ello el potencial de transmisión no se puede utilizar al ciento por ciento.

Los sistemas de potencia actuales están en gran parte controlados mecánicamente. Hay una gran utilización de dispositivos microelectrónicos, computadoras y comunicaciones de alta velocidad para el control y protección de los sistemas de transmisión; sin embargo,



cuando las señales de operación se envían a los circuitos de potencia, y se toma la acción de control final, los dispositivos de conmutación son mecánicos y de respuesta lenta. Otro problema con los dispositivos mecánicos es que el control puede fallar, ya que éstos tienden a desgastarse con rapidez comparados con los dispositivos estáticos. Así, desde un punto de vista de operación dinámica y de estado estacionario, el sistema puede tomarse incontrolable.

La cualidad fundamental de los FACTS es que pueden controlar las principales características de los sistemas de potencia: perfiles de voltaje, flujos en las líneas, impedancia en serie, impedancia en paralelo y la topología de la red. Esto permite operar el sistema en una forma más eficiente debido a que las líneas de transmisión funcionan cerca de sus límites térmicos. Una propiedad única de los FACTS es la gran flexibilidad que presentan en los tres estados operativos del sistema de potencia: prefalla, falla y postfalla. La capacidad para controlar estados transitorios y para impactar rápida y significativamente el estado de postfalla, los hace sumamente atractivos.

Desde un punto de vista económico, la principal motivación para el uso acelerado de FACTS es el actual ambiente competitivo (desregulación) en las empresas eléctricas¹⁰. El potencial de esta tecnología se basa en la posibilidad de controlar la ruta del flujo de potencia y la habilidad de conectar redes que no estén adecuadamente interconectadas, dando la posibilidad de comerciar energía entre agentes distantes, lo que antes no era posible. Los dispositivos FACTS pueden dividirse en cuatro grandes categorías:

Dispositivos en serie. El objetivo principal de estos dispositivos es inyectar un voltaje en serie con la línea, el cual puede provenir de una fuente variable basada en electrónica de potencia, de una impedancia variable que puede ser un capacitor, de un reactor, etc.

Dispositivos en paralelo. Su objetivo principal es inyectar una corriente a la red en el punto de conexión; al igual que los dispositivos en serie, en paralelo pueden tener una impedancia variable, una fuente variable o una combinación de ambas.

Dispositivos serie-serie. En estos dispositivos pueden presentarse dos diferentes configuraciones: en la primera se tienen dispositivos serie separados en un sistema de transmisión multilínea que se controlan de manera coordinada, y en la segunda, puede ser un dispositivo unificado en el que existe además intercambio de potencia real entre líneas.

Dispositivos serie-paralelo. Este tipo de dispositivo puede ser la combinación serie y paralelo, controlados de una manera coordinada inyectando voltaje y corriente, respectivamente, o un controlador unificado de flujo de

potencia (UPFC, por sus siglas en inglés) con elementos en serie y en paralelo en el que existe además intercambio de potencia real entre ambos.

Algunos beneficios de la tecnología de FACTS son:

- incremento de la capacidad de carga de la línea hasta su límite térmico,
- incremento en la seguridad del sistema a través del aumento de la estabilidad transitoria,
- reducción de flujos de potencia reactiva para permitir un mayor flujo de potencia activa,
- incremento en la utilización de fuentes de generación de más bajo costo,
- limitar los efectos de fallas en el sistema y fallas en equipos previniendo salidas en cascada.

La tecnología de FACTS ha funcionado en forma confiable en diversas instalaciones en países desarrollados, por lo que esperamos que pronto se amplíe su aplicación a países menos desarrollados, ayudando a mejorar la operación de sus redes eléctricas. Hay que hacer notar que los dispositivos FACTS cambian la distribución de la potencia transferida en un sistema eléctrico determinado, pero no pueden suministrar o remover potencia al sistema; además, los dispositivos FACTS pueden tener diferentes impactos en el sistema de potencia, por lo que es importante maximizar su uso; para ello se debe considerar cuidadosamente la localización geográfica junto con su impacto económico con el fin de obtener los mejores resultados.

Coordinación de controladores

En la Unidad Guadalajara del Cinvestav hemos propuesto^{11, 12} una metodología para coordinar los estabilizadores $h_i(s)$ que se aplican en los generadores síncronos, y que actúan a través de los sistemas de excitación, con aquellos estabilizadores que se pueden aplicar en los dispositivos FACTS con el propósito de incrementar el amortiguamiento de las oscilaciones de carácter electromecánico en un sistema de potencia. Para modificar el esquema modal se emplean compensadores dinámicos del tipo adelanto-atraso. Esta metodología se ha simulado en la red nacional.

Se asume que los estabilizadores empleados retroalimentan señales locales accesibles en los m

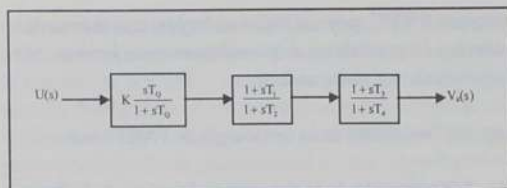


Figura 2: Estabilizador empleado en generadores y FACTS.

elementos donde se han de instalar. Por ejemplo, las señales $y_j(s)$ que se han empleado en la retroalimentación son la velocidad angular del rotor y el flujo de potencia activa en las líneas donde se instala el dispositivo FACTS. El problema consiste en determinar los parámetros $h_i(s)$, $i = 1, \dots, m$, de modo que el sistema en lazo cerrado asigne un conjunto de valores propios λ_j , $j = 1, \dots, k$. Se supone que el conjunto $\{\lambda_j\}$ no incluye ningún valor propio de lazo abierto. Los parámetros de este estabilizador son: K (ganancia), T (constante del bloque wash-out), T_1 , T_2 (constantes relacionadas con los bloques de atraso-adelanto de fase, figura 2).

La metodología se ha planteado como un problema de optimización, que trata de calcular los parámetros óptimos de los estabilizadores para lograr una dinámica deseada y toma en cuenta la diversidad operativa de una red de potencia; con esto se logra que los estabilizadores resultantes sean robustos.

Conclusiones

La operación y control de los actuales sistemas eléctricos de potencia constituyen un reto que requiere de todo un conjunto multidisciplinario de técnicas para funcionar satisfactoriamente; entre ellas se pueden destacar: la teoría de control moderno, la electrónica digital y de potencia, la ingeniería de telecomunicaciones y la computación. El advenimiento de los dispositivos FACTS trae consigo un uso más eficiente de los recursos de transmisión de la energía eléctrica y permiten poner en práctica estrategias operativas que anteriormente eran casi imposibles de lograr; además, incrementan la eficiencia del sistema, pero es necesario actualizar los algoritmos tradicionales de análisis de redes para tomarlos en cuenta de manera apropiada. Es sumamente importante utilizar técnicas adecua-



das para lograr un diseño robusto de estabilizadores y que puedan coordinarse para obtener su máximo beneficio, evitando posibles conflictos de control entre ellos.



Notas

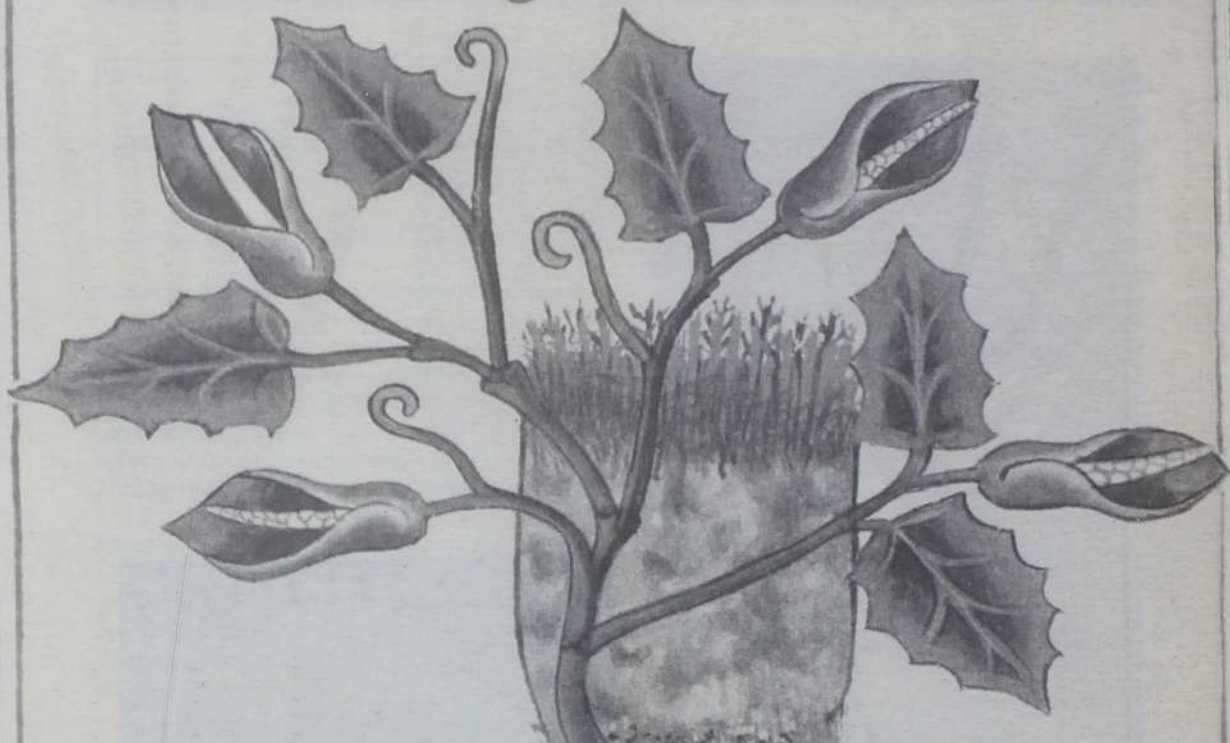
1. M.K. Pal, "On power system stability and definitions", presentado en la sesión panel sobre Stability Terms and Definitions, Nueva York (1997).
2. P. Kundur, G.K. Morison, "A review of definitions and classification of stability problems in today's power systems", *ibid*.

3. F.P. DeMello, C. Concordia, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-88, 316 (1969).
4. E.V. Larsen, J.H. Chow, *Application of static VAR systems for system dynamic performance*, paper 87 TH01875-5-PWR, 36 (1987).
5. K.R. Padiyar, *HVDC Power Transmission Systems* (1990).
6. N.G. Hingorani, Laszlo Gyugyi, *Understanding FACTS* (IEEE Press, 2000).
7. E.J. Oliveira, J.W. Marangon Lima, J.L.R. Pereira, "Flexible a.c. transmission system devices: allocation and transmission pricing", *Electrical Power and Energy Systems* (1999).
8. B. Avramovic, L.H. Fink, *Electrical Power and Energy Systems* **17**, 195 (1995).
9. J.G. Kassakian, M. Schlecht, G.C. Verghese, *Principles of power electronics* (Addison Wesley, 1991).
10. H. Rudnick, *Notas sobre la operación de sistemas eléctricos de potencia* (Universidad Católica de Chile, 1999).
11. A. Valenzuela, *Tesis de maestría*, Unidad Guadalajara, Cinvestav (2000).
12. R.J. Dávalos, *Tesis de maestría*, Unidad Guadalajara, Cinvestav. (2000)



Huacalxochitl.

Trepiteton Feanoxth.



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,
03020 México City Mexico

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

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

Por una política científica integral

Gabriel López Castro

En nombre de mis colegas María Elena Álvarez-Buylla Roces, Francisco Javier Flores Murrieta, Carlos Illades Aguiar y el mío propio, deseo expresar nuestro profundo agradecimiento al Consejo Directivo de la Academia Mexicana de Ciencias por la doble distinción que hoy nos otorga con la entrega de este importante premio y por la oportunidad de dirigir un breve mensaje ante ustedes.

Este reconocimiento representa para nosotros un motivo de gran satisfacción personal y también la renovación de un grato compromiso con las instituciones donde laboramos y con nuestro país. Este premio, que reconoce diversas facetas de nuestra labor como son la investigación, la docencia y la formación de recursos humanos como miembros de una institución mexicana, tiene además un especial significado por ser otorgado por nuestros propios colegas. Es también un estímulo muy importante a nuestro trabajo y el de nuestros colaboradores, y nos brinda grandes oportunidades para su difusión y promoción entre las nuevas generaciones.

Permítanme salir del formato tradicional del discurso en este tipo de ceremonias y empezar por relatar cómo fue mi contacto personal con la investigación y cómo se sigue dando, en general, la captación y formación de nuevos investigadores en México. Nací en un pueblo del estado de Oaxaca, en un punto bastante aislado de la geografía de este país, en el seno de una familia de muy modestos recursos como muchas en esa zona. En el lugar

El Dr. Gabriel López Castro es investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav. Este texto fue leído en la ceremonia de entrega de los Premios de Investigación 1999 de la Academia Mexicana de Ciencias, residencia oficial de Los Pinos, 11 de septiembre del 2000. Correo electrónico: glopez@fis.cinvestav.mx.



había una sola escuela primaria pública que era la única y, en muchas ocasiones, la última alternativa educativa al alcance de los niños y jóvenes de la zona. En 1972 se construyó en el lugar la primera escuela secundaria del sistema público de escuelas técnicas, hecho que amplió profundamente los horizontes para muchos jóvenes como yo. Al término de este ciclo, tuve la oportunidad de emigrar

y continuar mis estudios en la Universidad Autónoma de Puebla y fue ahí donde me enteré que era posible continuar una carrera en la investigación. Posteriormente ingresé a un programa de maestría en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN y a partir de ese momento pude vislumbrar un camino relativamente fácil y seguro para dedicarme a la investigación.

De este relato quisiera resaltar cómo la existencia de un sistema de educación pública en todos los niveles, aunada a una serie de circunstancias particulares, posibilitaron que un joven, con el ánimo y la curiosidad natural con la que nacen millones en este país, pudiera convertirse en investigador y dedicarse a la ciencia. Como mi caso, muchos investigadores somos hoy producto de circunstancias, más que de la existencia de una política científica que capte y encauce la vocación de los jóvenes por las carreras científicas.

Existe un consenso en el ámbito académico de que la inserción de nuestro país a la modernidad requiere del apoyo en la ciencia y la tecnología. Una primera interrogante que enfrentamos es saber si contamos con una comunidad científica lo suficientemente fuerte para atender los diferentes retos que esta tarea implica. Aunque en México hemos aprendido a hacer ciencia al más alto nivel, todavía seguimos discutiendo sobre a quién corresponde la tarea de hacer uso del conocimiento científico para resolver problemas concretos. Quiero referirme a estos temas y hacer la conexión con la historia personal con la que inicié mi intervención.

El primer gran reto que debemos enfrentar es la necesidad de la masificación de la comunidad científica. De acuerdo con el Sistema Nacional de Investigadores, en el país hay alrededor de 7,300 personas desarrollando actividades de investigación en las más diversas disciplinas del conocimiento. Este y otros indicadores de la ciencia mexicana, claramente nos ubican en una situación muy desventajosa con respecto a los países de mediano y alto desarrollo económico. En particular, y pensando en elementos básicos para un desarrollo tecnológico, la proporción de doctores en ingeniería respecto al resto de las disciplinas es insignificante cuando se le compara con la de países más desarrollados.

Sin embargo, no son éstos los únicos motivos por los cuales necesitamos que se incremente nuestra actual planta de investigadores. El número reducido de perso-



nas dedicadas a la investigación científica y tecnológica en el país, escasamente permite atender las necesidades de mantenerse al día en la adquisición y generación de nuevos conocimientos y en la formación de nuevos investigadores. La comunidad científica del país es pequeña comparada con el tamaño de los retos a los que se le pretende enfrentar. Si no multiplicamos el número de miembros de la comunidad científica no sólo corremos el riesgo de no poder contribuir eficazmente a la modernización que todos deseamos, sino que también corremos el riesgo de desequilibrar la labor que desarrolla la incipiente planta de investigadores existente.

Es necesario que nuestra comunidad crezca para que existan profesores con una sólida formación científica que atiendan la población estudiantil desde el nivel medio superior, que es el último nivel donde se puede encauzar la vocación de los jóvenes por la ciencia. Necesitamos crecer para crear y consolidar disciplinas que requieren la colaboración en grandes grupos dedicados a resolver problemas específicos. Necesitamos crecer para atender las nuevas disciplinas del conocimiento científico que se van generando y de las cuales, en algunos casos, nos vamos quedando rezagados. Necesitamos crecer para que

la existencia de una gran masa de investigadores produzca un flujo natural de éstos hacia los sectores productivo y educativo en sus diversos niveles. Finalmente, necesitamos crecer para seguir creando una tradición donde la ciencia y sus beneficios sean visibles como elementos importantes de la cultura de este país.

A 30 años de la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, este organismo ha financiado los estudios de posgrado de casi 100,000 jóvenes mexicanos. Lo ha hecho además de manera eficiente, contando para ello tan solo con el 15% de toda la inversión que destinamos a ciencia y tecnología. Comparados con los 7,300 investigadores activos con que contamos, debemos concluir que no existe un sistema que acoja y permita que los egresados de los programas de posgrado desarrollen los conocimientos adquiridos durante su formación. Esto nos lleva a la necesidad de diseñar una política científica que atienda el ciclo completo que va desde la captación hasta la consolidación de los nuevos investigadores. Aunque se ha avanzado considerablemente al reconocer la importancia de la estancia posdoctoral como mecanismo para consolidar la independencia de los jóvenes investigadores, es necesario que



la incorporación de éstos al sistema de investigación encuentre las condiciones para que se consoliden y desarrollen su potencial.

Para aspirar a lograr este objetivo se requiere que las instituciones de educación superior, principalmente de los estados, creen condiciones para acoger investigadores y permitir que éstos se mantengan activos. Hoy en día, más de la mitad de los investigadores activos del país están concentrados en las instituciones públicas del Distrito Federal. Este desequilibrio es en parte responsable de que muchos jóvenes de la provincia vean la posibilidad de encauzar su potencial interés por los estudios científicos como una mera ilusión. Necesitamos que las universidades de los estados reconozcan la necesidad de apoyar el desarrollo científico y de que se les dote de la infraestructura necesaria para este fin. Estos nichos de investigación, además de permitir la captación regional de jóvenes para la investigación, muy seguramente crearán vínculos con los problemas del sector productivo local y regional como se ha podido constatar en algunos casos concretos.

Dadas las condiciones en que se ha dado el desarrollo del sector productivo nacional, acostumbrado a importar el conocimiento para hacer las cosas propias del mundo

moderno, la única opción de desarrollar la ciencia para hacer uso de ella a largo plazo sigue siendo el apoyo gubernamental a las instituciones de investigación y las universidades públicas.

Para que la comunidad científica crezca necesitamos que se incrementen los recursos destinados para ello. Pensando solamente en cerrar la brecha con la densidad de científicos y tecnólogos de los países desarrollados, necesitamos multiplicar nuestra comunidad por lo menos en un factor de cinco. Necesitamos que los recursos que se destinan al CONACyT se incrementen proporcionalmente, al igual que el desarrollo de la infraestructura necesaria y el número de las plazas para nuevos investigadores, en especial para realizar estancias posdoctorales. Para lograr el objetivo de crecer contamos con el enorme potencial de nuestra juventud, la cual espera tener al alcance la posibilidad, la información y los incentivos que determinen su vocación. Ellos deben ser el producto de una política científica dirigida y no sólo el producto de las circunstancias que guiaron el camino de muchos de nosotros.

Sólo nos resta agradecerles a ustedes por su compañía en este acto y por su atención.



La Unidad Querétaro: un ejemplo de colaboración interinstitucional

Adolfo Martínez Palomo

Esta unidad que usted inaugura hoy, señor Presidente, consolida el triángulo académico Universidad Autónoma de Querétaro - UNAM - Cinvestav, sin duda llamado a ser ejemplo de colaboración interinstitucional en el sector de la educación superior.

La Unidad Querétaro continúa la labor descentralizadora del Cinvestav. En la actualidad son ya un tercio del total de nuestro investigadores y estudiantes de maestría y doctorado los que trabajan fuera de la sede central de Zacatenco. Como reversión del fenómeno centrípeto habitual, año con año son más los estudiantes del Distrito Federal que se desplazan a las unidades del Cinvestav en Querétaro, Irapuato, Mérida, Saltillo y Guadalajara para recibir su entrenamiento.

La creación de esta unidad se suma a los logros obtenidos por el Centro en la actual administración. De 1994 a 1999 el número de investigadores aumentó de 450 a 550. En este periodo se duplicó el número de artículos publicados, así como el total de alumnos atendidos y graduados en los programas de maestría. A su vez, el número de alumnos atendidos en los programas de doctorado se cuadruplicó y el de graduados del doctorado se triplicó, en comparación con 1994. Sobre la base de estos indicadores, nuestro diagnóstico es que el Centro goza de cabal salud.

El Dr. Adolfo Martínez Palomo es director general del Cinvestav. Texto leído en la ceremonia de inauguración de la Unidad Querétaro del Cinvestav, 10 de agosto del 2000.



Decía Aristóteles que el agradecimiento envejece rápidamente. No es éste el caso del Cinvestav. Usted recordará, señor Presidente, las reiteradas invitaciones que le habíamos formulado personalmente para tener la satisfacción de expresarle nuestra profunda gratitud por el apoyo excepcional que ha permitido el establecimiento de esta Unidad Querétaro.

¿Cómo podría explicarse, si no es por el interés personal del licenciado Miguel Limón y de sus colaboradores, que en el transcurso de esta administración se hubiera ideado, planificado y consolidado un grupo de investigación integrado exclusivamente por profesores con grado de doctor, todos miembros del Sistema Nacional de Investigadores?

¿Cómo hubiéramos logrado, sin el apoyo reiterado del gobernador Ignacio Loyola y del anterior titular del Gobierno del Estado, la donación de un terreno de 15 hectáreas, la terminación de la construcción y el establecimiento de vialidades en tan corto término?

¿Cómo, sin la guía y los valiosos consejos de los miembros de la Junta Directiva del Cinvestav, presidida por el ingeniero Diódoro Guerra, y sin el trabajo eficiente de los investigadores y los trabajadores de esta unidad, hubiéramos podido integrar objetivos académicos ambiciosos, establecer vínculos robustos con varias empresas del sector productivo y desarrollar programas de maestría y doctorado ya registrados en el padrón de posgrados de excelencia del Conacyt?

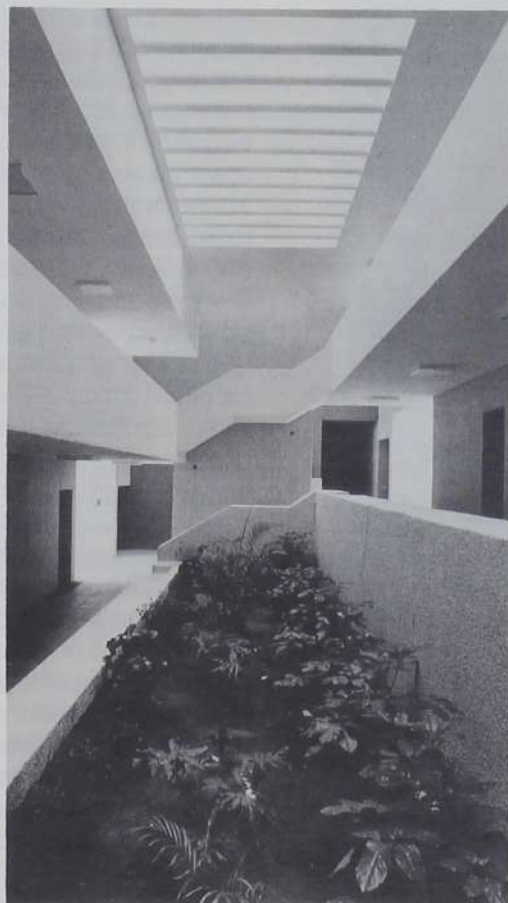
¿Cómo no apreciar hoy la generosa hospitalidad de la Universidad Autónoma de Querétaro, gracias a la cual nuestros investigadores iniciaron sus labores académicas mucho antes de completar estas edificaciones?

¿Cómo no recordar que durante este proceso el titular de esta unidad haya recibido de usted, señor Presidente, el Premio Nacional de Tecnología y Diseño?

La frase de Aristóteles no tiene cabida en el Cinvestav. Preferimos decir con el Duque de Rivas:

"Porque el ser agradecido
es la obligación mayor
para el hombre bien nacido".

Gracias a todos los que han hecho realidad lo que sólo era un sueño hace cinco años.





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

Director Editorial, Avance y Perspectiva
CINVESTAV

Apdo. Postal 14-740

07000 México, D.F.

Tel. 5747 3800 ext. 6737, 6738 y 6739

Fax: 5747 7076

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

La Unidad Querétaro del Cinvestav: un factor que detona el desarrollo

Ernesto Zedillo Ponce de León

Es para mí motivo de gran alegría venir hoy aquí, en compañía del señor gobernador Ignacio Loyola, y poder constatar que algo que se antojaba como un sueño, como un proyecto de muy difícil realización, hoy sea una plena, concreta y muy promisorio realidad.

Hace algunos años se empezó a hablar de crear en este punto del estado de Querétaro un nuevo agrupamiento, un nuevo centro de generación de conocimiento científico básico y aplicado, conjuntando los esfuerzos de nuestra Máxima Casa de Estudio, la Universidad Nacional Autónoma de México, del Cinvestav y, por supuesto, de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Eran entonces apenas trazos muy vagos, era ilusiones de un grupo de investigadores y directivos de estas casas de estudios y, sin embargo, hoy podemos ver, a pocos años de aquellos trazos vagos aún borrosos, que este proyecto se ha convertido en una realidad, y en una realidad que ofrece extraordinarias perspectivas.

Hace algún tiempo tuve la oportunidad de venir a inaugurar en dos ocasiones instalaciones de centros de nuestra Universidad Nacional. Hacía falta contar con este espléndido edificio del Cinvestav. Sé que se trabajó muy fuerte, a veces con recursos escasos. Hubo que transitar por varios episodios de problemas, incluso de carácter financiero, pero hoy todo eso está superado y el Cinvestav cuenta con una unidad más, desconcentrada.

Versión estenográfica de las palabras del presidente Ernesto Zedillo al inaugurar las instalaciones de la Unidad Querétaro del Cinvestav, 10 de agosto del 2000.



Ya el doctor Martínez Palomo nos ha descrito, breve pero lúcidamente como es su costumbre, no obstante ser médico, cómo en los últimos años, en congruencia con una política nacional de fomento a la investigación, en congruencia con una política nacional de descentralización, el Cinvestav ha asumido ese reto y no solamente ha crecido en el número de investigadores, en la calidad de sus investigaciones, sino que también ha podido sumarse a esta política de desconcentración, que permite que un tercio de sus investigadores esté ya fuera de su sede original en Zacatenco.

Por eso celebro esta ocasión, creo que es un gran evento para nuestro país y para el estado de Querétaro; éste va a ser un factor no solamente para alentar algo que por sí mismo vale mucho, que es la generación de conocimiento básico, sino además éste va a ser un factor de desarrollo económico y social en Querétaro; porque está visto, no solamente en nuestro país, sino en la experiencia de los países más avanzados del mundo, que

estos conglomerados donde existe el talento científico y técnico que ahora se da en este punto, en Juriquilla, constituyen un factor que detona el desarrollo, que detona la atracción de otros factores de desarrollo económico y social.

De ahora en adelante, el señor Gobernador cuando haga sus giras de promoción económica del estado tendrá que considerar, muy arriba en su lista de factores, para presumir de Querétaro que aquí en Juriquilla existe este agrupamiento, que aquí existe todo este talento en las tres instituciones académicas que han abordado esta gran empresa, y seguramente muchas inversiones habrán de llegar a Querétaro con la expectativa de aprovechar en alguna medida la influencia de este centro generador de conocimiento y de investigación.

El Cinvestav, como siempre, estará a la altura del reto. El Cinvestav es uno de los grandes centro de nuestro

país, quizás debo decirlo con cierto cuidado, porque por aquí hay gente de la Universidad Nacional que me puede denunciar si hago comparaciones odiosas, pero creo que la productividad científica, la productividad en términos de publicaciones, trascendencia de conocimientos, del Cinvestav es extraordinaria. Es algo que a los politécnicos nos enorgullece mucho, y estoy seguro que estas nuevas instalaciones habrán de ser un incentivo más para que el Cinvestav se siga desarrollando y siga contribuyendo al desarrollo del país.

Afortunadamente, ésta es sólo una muestra de los muchos casos que hemos dado aquí en Querétaro y en nuestro país para honrar lo que el Gobernador llamaba la prioridad de las prioridades: la educación. Este es el factor fundamental del desarrollo de los pueblos.

Si alguna vez hubo alguna duda, hoy no puede haberla. Es cierto, en algunas épocas anteriores del desarrollo de la humanidad, el territorio, los recursos naturales, ciertas circunstancias de acumulación de capital físico o financiero pudieron haberse considerado como los factores esenciales para el desarrollo. Hoy eso ya no es cierto. El factor esencial para el crecimiento, para el desarrollo, para el progreso es el conocimiento, y el conocimiento parte de la educación básica, no se puede detener ahí, tiene que avanzar hacia la educación superior y, ciertamente, tiene como su factor crucial y decisivo lo que podamos hacer en el nivel de posgrado, en el nivel de investigación.

Y aquí en el estado de Querétaro, como en todo México, nos hemos abocado, dentro de las limitaciones económicas que siempre existen y siempre existirán, a darle un gran impulso a la educación, a la investigación en nuestro país.

El Gobierno de la República ha tenido en el gobernador Loyola un compañero de lujo en esta empresa, en esta tarea educativa. Durante su mandato hemos trabajado hombro con hombro para impulsar la educación en todos sus niveles y los resultados han sido realmente satisfactorios, y por eso yo puedo afirmar que el señor Gobernador ha cumplido, ha honrado su compromiso en el sentido de que la educación es la prioridad de las prioridades.

Y qué bueno que en esa tarea, que es tan importante para los queretanos y para todos los mexicanos, el Gobierno de la República haya sabido sumarse con acciones, proyectos, como esta nueva, espléndida unidad del Cinvestav.

Felicito a quienes constituyen esta comunidad. Felicito al pueblo de Querétaro por este activo tan valioso que será tan importante para su desarrollo futuro. Felicito al Gobernador por el apoyo que le ha dado a esta idea y celebro que estemos hoy aquí congregados para declarar formalmente inauguradas estas nuevas instalaciones. ¡Que sea para el bien de México!



Premios A. Rosenblueth 1999

El pasado 20 de septiembre se entregaron los Premios Arturo Rosenblueth a las mejores tesis de doctorado presentadas en el Cinvestav en 1999. En el área de ciencias exactas el premio correspondió al Dr. Ulises Nucamendi Gómez por la tesis presentada en el Departamento de Física con el título "Campos escalares y el problema de la materia oscura en galaxias espirales". Esta tesis estuvo codirigida por los doctores Tonatiuh Matos, investigador titular del mismo Departamento de Física, y Daniel E. Sudarsky, investigador titular del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM. En el área de las ciencias biológicas y de la salud, el premio se otorgó a la Dra. Haydeé Rosas Vargas, del Departamento de Genética y Biología Molecular, con la tesis "Expresión de la utrofina durante la diferenciación de las células PC12". En este caso la tesis estuvo codirigida por la Dra. Cecilia Montañez Ojeda y el Dr. Bulmaro Cisneros Vega, investigadores titulares del mismo Departamento de Genética y Biología Molecular. En el área de la tecnología y la ingeniería, el Dr. Marco Iván Ramírez Sosa recibió el premio con la tesis "Enfoques analítico y computacional para el análisis de estabilidad de sistemas multidimensionales inciertos". Esta tesis fue presentada en el Departamento de Ingeniería Eléctrica bajo la dirección del Dr. Vladimir Leonidovich, investigador titular del mismo departamento.



El trabajo desarrollado por el Dr. U. Nucamendi Gómez consideró una nueva propuesta para explicar la naturaleza de la llamada materia oscura que podría generar el movimiento de las estrellas y de la materia gaseosa alrededor del centro de las galaxias espirales. La existencia de materia oscura (no luminosa) en estas galaxias es necesaria para explicar la atracción gravitacional adicional que se requiere para generar la velocidad tangencial observada de las órbitas espirales. En su tesis, Ulises estudió los dos únicos mecanismos conocidos para estabilizar los campos escalares que podrían explicar las características genéricas de las curvas de rotación galáctica. Sus resultados fueron publicados en tres artículos en las mejores revistas la especialidad: *Physical Review Letters*, *Physical Review D* y *Classical and Quantum Gravity*.

La Dra. Haydeé Rosas Vargas se enfocó a estudiar la expresión de la utrofina en las células PC12, las cuales han sido ampliamente utilizadas como modelo para analizar fenómenos neuronales y de diferenciación celular. La superfamilia de las distrofinas está compuesta por una serie de proteínas, entre ellas la distrofina/Dp427 y su homóloga autosomal la utrofina/DRP1. Ambas proteínas son multi-

funcionales y participan en procesos de estabilidad membranar, de adhesión y diferenciación celular, así como en el agrupamiento de receptores membranales y en vías de transducción de señales. Mediante ensayos de RT-PCR, la Dra. Rosas Vargas determinó que la utrofina es la única proteína de longitud completa, dentro de la superfamilia de distrofinas mencionada, y que se expresa en las células PC12.

El Dr. M.I. Ramírez Sosa Morán demostró que la estabilidad en sentido estricto de un conjunto finito de familias de polinomios uniparamétricos de varias variables implica la estabilidad de un diamante de polinomios de varias variables. Demostró también que este resultado es válido para el caso de polinomios de varias variables estables en el sentido definido por Kharitonov *et al.*, así como para los intervalos de polinomios multivariados. Las pruebas detalladas de estos resultados fueron publicadas en dos artículos en la revista *Multi-dimensional systems and signal processing*. Además, el Dr. Ramírez Sosa Morán presentó sus resultados en los congresos de la Sociedad Matemática Mexicana y de Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE).

Fe de erratas

Correspondiente al artículo Sobre $1 + 1 = 0$: grupos y simetría, por M. Socolovsky; *Avance y Perspectiva* Vol. 19, julio-agosto de 2000, páginas 211-218.

Pg.	Col.	Reng.	Donde dice	Debe decir
212	izq.	24	... ya que $n^{-1} = -n$	... ya que $n + (-n) = 0$
214	izq.	11	... $z_{11} = z_{22}$	... $z_{11} = \bar{z}_{22}$
214	izq.	12	... $z_{12} = -z_{21}$	... $z_{12} = -\bar{z}_{21}$
214	izq.	34	... composición de f con r	... composición de ϕ con ρ
215	der.	33	... ecuaciones diferenciales parciales	... ecuaciones diferenciales ordinarios
216	izq.	15	$p_k = \frac{\partial L}{\partial r_k}$	$p_k = \frac{\partial L}{\partial \dot{r}_k}$
216	izq.	27	Los generadores de las rotaciones son las componentes de esta cantidad física con $p_k = \frac{\partial L}{\partial r_k}$	$r_k \times \frac{\partial}{\partial r_k}$ es el generador de las rotaciones de la partícula k.
217	izq.	3	... (ver abajo). Sea	... (ver abajo), las transformaciones de Moebius están dadas como sigue: sea
217	izq.	12	... $z \rightarrow az/c + b/d$	... $z \rightarrow az/d + b/d$
217	izq.	19	... $\tau(l) = m$	... $\tau(\ell) = m$

El Colegio de Francia y la vocación de enseñarlo todo

Carlos Chimal

Docet omnia

No podríamos completar un panorama, si bien somero, de las neurociencias francesas¹ hoy en día sin antes realizar una visita a una antigua e ilustre institución académica de este país, El Colegio de Francia. Fundada en 1530 por Francisco I, desde entonces ha promovido la libertad de cátedra y la innovación. En efecto, como nos dice el profesor Yves Laporte, titular de la cátedra de neurofisiología, por aquel entonces la Universidad de París ejercía el monopolio total de la enseñanza y se hallaba estancada en un lago de escolástica decadente.

Aunque el espíritu renacentista ya se respiraba en muchos sitios de Europa, los parisinos se resistían a admitir los estudios humanistas. Sólo se impartía el latín, mientras que los filólogos franceses deseaban que se inaugurara en París un colegio donde se enseñaran dos lenguas más: hebreo y griego. Querían, de esta manera, acceder por su propios ojos a los textos originales de la Biblia y a sus diferentes versiones, así como a la patristica latina y griega, sin olvidar a toda esa literatura profana de la antigüedad grecolatina, que pasó largo tiempo en el mundo letrado como un ejército oculto e impedido por la niebla en su propósito de conquistar nuevas tierras pobladas de fantasías vanas.

De hecho, tiempo atrás Guillaume Budé, "maestro de la Librería del Rey", había buscado afanosamente convencer a su señor para que nombrase lectores reales, cuya misión sería sacudir el polvo del anquilosado

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

pensamiento nacional. Pero al primero que se le ofreció tal puesto, el ilustre Erasmo, se mostró indeciso y acabó por rechazarlo. No fue hasta 1530 cuando Francisco I nombró seis lectores reales: dos de griego, tres de hebreo y uno de matemáticas. Quizá en un gesto conciliador con la Sorbona y para no herir susceptibilidades, el rey esperó cuatro años más para nombrar al primer lector real de latín. Pronto se nombraron lectores en medicina y lenguas orientales aparte del hebreo. A través de los años, el número de lectores que dependía de los *grands aumoniés* reales fue aumentando. Como nos asegura el profesor Laporte, lector de neurofisiología quien ha sido administrador de El Colegio de Francia y presidente de su asamblea de profesores, la institución creció hasta formar un verdadero cuerpo.

En 1793 recibió el nombre que lleva ahora, después de que la Convención eliminara de su título el epíteto que lo ligaba a la realeza. Luego fue, en forma alternada, "imperial" y otra vez real, para convertirse de nueva cuenta, en 1870, simplemente en El Colegio de Francia, nombre que mantiene hasta nuestros días. Como un signo de los tiempos, y antes del final del reinado de Luis XV, en 1773, se renovó el reparto de las cátedras. Junto a las tradicionales (lengua griega, filosofía griega, matemáticas, elocuencia latina, derecho canónico, anatomía, etc.) aparecieron otras nuevas: física, mecánica, historial natural, turco y persa, literatura francesa, derecho natural y de gentes.

A fines del siglo XIX, el número de cátedras alcanzó las cuarenta, al acoger El Colegio no sólo las nuevas disciplinas que aparecieron en medio de la euforia científico-tecnológica, sino también las nuevas ramas de las disciplinas clásicas. Como nos dice el profesor Laporte, "ése es el sentido razonable que Marcel Bataillon supo descubrir en el lema de El Colegio: *Docet omnia*, la vocación de enseñarlo todo".

En la actualidad los lectores reales se han convertido en 52 profesores que trabajan con varios centenares de colaboradores: investigadores, ingenieros, técnicos y administradores, muchos de ellos dependientes de organismos externos a El Colegio, sobre todo del CNRS. Personajes distinguidos de la cultura humanística y científica de Francia ocupan sus cátedras, como son el biólogo molecular François Jacob, el músico Pierre Boulez, el neurólogo Jean-Pierre Changeaux y el químico Jean-Marie Lehn.



Cátedras

Carlos Chimal (CC): Profesor Laporte, entiendo que existe una cátedra quincuagésimo tercera. ¿En qué consiste?

Yves Laporte (YL): No es nueva. Es una cátedra europea, reservada a eminentes figuras de la Comunidad Económica Europea y que ocupan durante un año académico completo. Además, dos cátedras están reservadas a extranjeros de todas las nacionalidades, invitados por El Colegio a impartir un curso durante periodos de uno o dos meses. Aquí debo mencionar el enorme apoyo recibido por la Fundación Hugot, que ha contribuido en esta y en otras actividades tan importantes para nuestra institución.

CC: Una cátedra se revisa sólo hasta que queda vacante, ¿no es así?

YL: En efecto. Corresponde a la asamblea de profesores la decisión de mantener o transformar las cátedras vacantes, lo que permite a El Colegio adaptarse a los avances recientes en los distintos campos del conocimiento. Desde que el propio Colegio tiene la

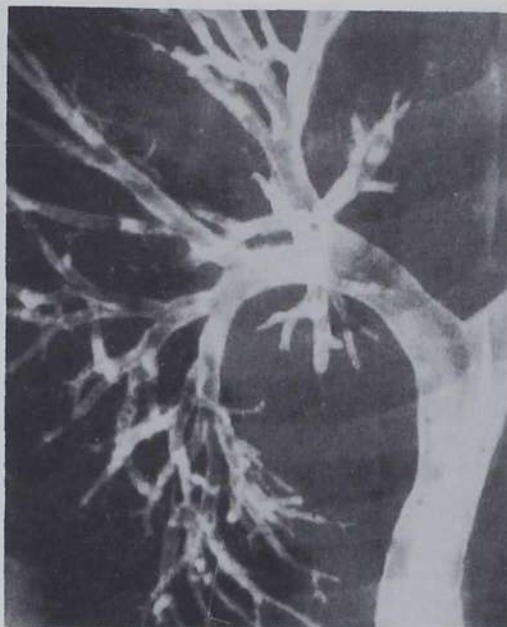
responsabilidad de elegir la denominación de las cátedras y proponer sus titulares, se conviene en reconocer que se han elegido las disciplinas más interesantes y que su enseñanza se ha confiado a los más destacados especialistas. Tal es, sin duda, la razón de la situación actual, que permite a El Colegio mantener una verdadera autonomía en este campo.

CC: ¿De dónde proceden los profesores de El Colegio y cómo se distingue su manera de enseñar?

YL: La mayoría proviene de las universidades, de la Escuela Práctica de Estudios Superiores (EPHE), o bien del CNRS, del Instituto Nacional de la Salud y la Investigación Médica (INSERM), del Comisariado para la Energía Atómica (CEA) y del Instituto Pasteur. Ahora bien, la asamblea de El Colegio no toma en consideración títulos ni diplomas, sino solamente los trabajos realizados y la perspectiva de una actividad fructífera. La docencia impartida por cada uno de los miembros de El Colegio es consecuencia de su actividad como investigadores. Sólo deben cumplir con el requisito de que sea accesibles a todo el público. Los cursos, además, son gratuitos y no requieren de inscripción previa. No se imparten conocimientos ya establecidos, lo cual es una norma desde hace mucho tiempo.

Le voy a dar un ejemplo. En 1970 la Asamblea constituyente quiso organizar una escuela general de medicina en París, desentendiéndose del entrenamiento de algunos profesores. Para ello pretendía trasladar al Jardín del Rey (lo que sería más tarde el Museo de Historia Natural) las cátedras de medicina práctica, de historia natural, de química y de anatomía del Real Colegio de Francia para reunir las con las que existían allí del mismo tipo. Los profesores de El Colegio, oponiéndose a este proyecto, presentaron un documento donde hacían una serie de puntualizaciones.

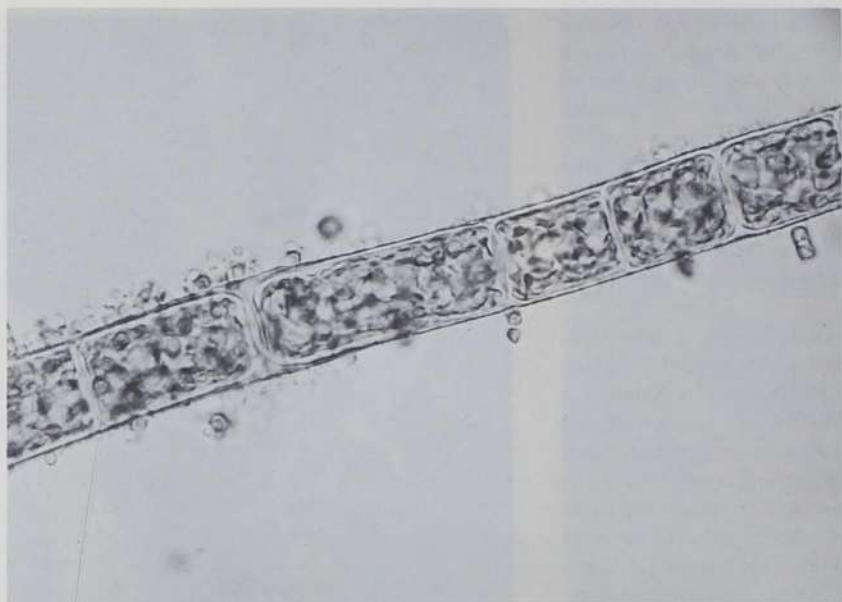
Según ellos, las clases de la escuela de medicina están destinadas a los principiantes, a quienes deben aprender los rudimentos y, sobre todo, lo que no cabe ignorar. En cambio las cátedras de El Colegio se dirigen a los iniciados, a los que pueden esperar que se les explique lo que ésta tiene de más elevado y abstruso. Como decía Ernest Renan, El Colegio aspira a enseñar "la ciencia en proceso de hacerse a sí misma", o como aseguraba Fernand Braudel, hay que enseñar aquí "no de lo que se sabe sino de lo que se busca". La particularidad de esta



enseñanza se debe al hecho de que El Colegio, ajeno al ámbito universitario, no aplica exámenes ni otorga diploma alguno. El Colegio no tiene estudiantes sino "oyentes". ¿Cómo mantener el interés intrínseco de los cursos? La preparación de estas clases originales y constantemente renovadas exige un tiempo y un trabajo considerables.

CC: Entiendo que la mayoría de los cursos se imparten aquí, en el edificio de la plaza Marcelin Berthelot. ¿Hay otros más?

YL: En la sede de la calle Ulm, terminada en 1985, se encuentran, por ejemplo, el laboratorio de medicina experimental, locales para las cátedras de matemáticas, física teórica y economía. En la sede de la calle Cardenal Lemoine (en una parte de la antigua Escuela Politécnica) se encuentran centros de documentación del oriente cristiano y del mundo musulmán, la biblioteca de los institutos de Asia, India, Tibet, Asia central, China y locales para las cátedras de sociología, filosofía e historia de las sociedades medievales. Los laboratorios de ciencias, así como las secciones de egiptología y estudios semíticos se hallan en este edificio de la plaza Berthelot. Vale la pena anotar que algunos de estos edificios fueron construidos por (Jean-François) Chalgrin en 1774.²



Además, una parte de los cursos puede impartirse en provincias de Francia o en el extranjero, como ha sido el caso de la Casa de Velázquez de Madrid, la École Française de Roma, la École Française de Atenas y la Maison Descartes de Amsterdam. Asimismo, los profesores de El Colegio imparten otros cursos en universidades y centros de investigación de los países miembros de la Comunidad Europea. Esto no quiere decir que la enseñanza en El Colegio se limite a los cursos magistrales y seminarios. Aquí se acepta un buen número de personas que desean entrenamiento en la experimentación científica y en la investigación de las humanidades. Esto ha dado espléndidos resultados, ya que esta tarea la cumplen no sólo los profesores sino sus colaboradores de mayor experiencia, quienes a su vez se han formado con ellos.

Un acuerdo establecido con un editor parisino permite también la difusión de una colección de libros destinados a un público amplio. Como usted ve, aún seguimos en construcción y pronto esperamos tener dentro de nuestras instalaciones, de lo más modernas y eficientes, a la mayoría de los laboratorios vinculados a las cátedras, cosa que no había sido posible hasta ahora. Esto se hace gracias al apoyo importante y sostenido del Ministerio de Educación, desde hace más de 10 años.

Organos sensoriales

CC: Profesor Laporte, en cuanto a su trayectoria personal, sabemos que usted colaboró con personajes clave en el desarrollo de esta ciencia durante los años de 1930 a 1950, personajes algunos excéntricos y polémicos, como Llorente de Nó.

YL: En efecto, tuve el privilegio de trabajar muy joven en los Estados Unidos, en lo que aún era el Instituto Rockefeller, junto con Llorente de Nó, alumno de Ramón y Cajal. Llorente hizo contribuciones importantes en el estudio del funcionamiento del sistema nervioso. Ciertamente, tuvo una personalidad excepcional, fue un hombre apasionado que realizó un admirable trabajo sobre el sistema vestibular y más tarde se volcó sobre la fisiología neuronal. Aunque sus hipótesis no han sido confirmadas y cometió algunos errores, poseía enormes conocimientos anatómicos y fue un notable histólogo. A la distancia, Llorente de Nó es una figura notable.

CC: Usted ha dedicado su vida a estudiar las formaciones sensoriales en el músculo estriado.

YL: He pasado más de 20 años estudiando los órganos sensoriales que, en efecto, se encuentran dentro

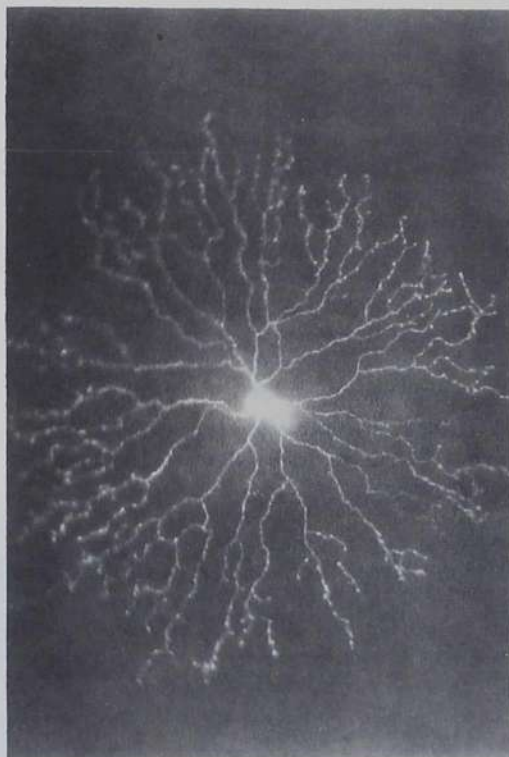
de los músculos estriados. Sabemos que dentro de los nervios que van hacia los músculos hay un grupo de fibras en conexión con los instrumentos de medida, es decir, con dichos órganos receptores, los cuales inervan las fibras musculares. De hecho, hay una cantidad considerable de elementos sensoriales al interior de los músculos. Existen allí dos tipos de formaciones muy complejas, unas que se llaman husos musculares y otras que tienen que ver con los órganos de Golgi. Junto con mis colaboradores hemos estudiado estos receptores mediante técnicas de micro-electrofisiología.

En animales bien anestesiados hemos preparado fibras aferentes únicas que conducen las señales generadas en las últimas ondas sensoriales de los receptores. Registramos entonces el flujo nervioso transmitido por las fibras y analizamos las características de la descarga. Existe un principio general que pone en evidencia la relación entre la longitud muscular y la frecuencia de descarga. Sabemos que ciertas terminaciones sensoriales son extremadamente sensibles a cualquier cambio, por mínimo que sea, en la longitud del músculo. Esto nos permite conocer no solamente dicha longitud sino las variaciones en ella.

Lo más interesante es que las terminaciones sensoriales están acopladas en fibras musculares especializadas (las fibras intrafusales) muy finas, y que estas mismas fibras pueden tener sus propiedades mecánicas, modificadas por un sistema motor particular. De aquí podemos deducir que las respuestas de estos receptores están, de alguna manera, regidas por el sistema nervioso central. Hemos pasado mucho tiempo estudiando esta inervación, que es muy compleja.

CC: ¿Qué tan especializadas son estas fibras?

YL: Hablar de ello en extenso rebasaría el propósito de esta entrevista. Pero sabemos que existen fibras que regulan la sensibilidad dinámica, por ejemplo, y otras que se limitan a provocar un aumento en la frecuencia de descarga, todo ello inscrito en el funcionamiento de la médula espinal y los centros nerviosos. A un lado de estas fibras intrafusales se encuentran los órganos de Golgi, que se activan mediante la contracción de fibras musculares y que nos informan sobre la fuerza de contracción de los músculos.



Escuela mexicana de neurofisiología

CC: ¿Considera usted que hay en realidad una actitud renovada en el estudio de la neurobiología? ¿Cuáles son los retos actuales?

YL: Creo que, sin exagerar, las neurociencias forman una de las disciplinas más creativas de la biología en la actualidad. Para darle una idea, a un congreso en los Estados Unidos asisten entre 10 mil y 12 mil investigadores; en Europa, es común tener hasta 4 mil participantes. La actividad es enorme y el espectro más amplio que nunca. Hoy en día es tan interesante la investigación en fenómenos elementales, en el nivel de la membrana nerviosa, al igual que estudiar la biofísica que tiene que ver con todas las interacciones entre las células nerviosas y su fantástica maquinaria. Asimismo, en un nivel de integración más profundo hemos visto el

gran avance de la psicología y las ciencias cognitivas, que nos dan noticia de aspectos vitales como son la memoria y la atención.

Un desafío importante proviene de nuestro desconocimiento precisamente de las funciones cognitivas, ya que aún falta mucho por saber de la organización funcional del sistema nervioso. Todos los fenómenos de transmisión sináptica, que, en sí mismos, conforman un mecanismo igualmente admirable, son verdaderamente complejos y en donde las consecuencias farmacológicas y terapéuticas son mayores. Lo estimulante del panorama es, al mismo tiempo, un gran problema, pues todo en neurociencias parece importante.

CC: Este año 2000 es el centenario del natalicio de Arturo Rosenblueth, un personaje notable de la comunidad científica mexicana, neurofisiólogo y fundador del Cinvestav, así como uno de los miembros más antiguos de El Colegio Nacional.³

YL: Fue una figura prominente, pionero en diversos campos alrededor de los años de 1940 y 1950. Si bien no tuve la fortuna de conocerlo personalmente, cuando era joven estudié su trabajo. Creo que su aportación es muy importante no sólo para México, donde creó una escuela, uno de cuyos alumnos ha destacado especialmente. Me refiero a Pablo Rudomín, quien ha descubierto fenómenos fundamentales en la inhibición presináptica y la médula espinal. Arturo Rosenblueth contribuyó a que la escuela mexicana de neurofisiología sea respetada y ocupe un sitio preponderante en las neurociencias de nuestros días.

Sé que, junto con otros, ayudó a crear un estilo de investigar en ciencia; también he escuchado que fue muy destacada su labor en El Colegio Nacional, institución que, me parece, desea difundir la cultura como se hace en El Colegio de Francia desde hace largo tiempo. Esto, precisamente, toma tiempo, y las nuevas generaciones deben encargarse de que esta clase de instituciones contribuyan en forma preponderante a alcanzar un nuevo estadio en la educación nacional, como estamos haciendo ahora nosotros en Francia.

Entiendo también que su visión y reciedumbre al entusiasmar a otros científicos para fundar y encaminar los primeros años del Cinvestav fue simplemente decisiva en la aparición de una ciencia de alto nivel en México, la cual vemos madurar ahora con gran alegría y a la que auguramos un promisorio futuro.



Notas

- 1.- C. Chimal, *Avance y Perspectiva* **19**, 243 (2000).
- 2.- Jean-François Chalgrin (1739-1811), representante de la fase llamada "dórica" o griega del neoclasicismo, fue un arquitecto notable por su estilo simple y elegante. Diseñó las habitaciones características del estilo Luis XVI, así como la escalera del ala derecha del palacio de Luxemburgo. También hizo trabajos en la iglesia de San Sulpicio y San Felipe de Roule. Insistió en imprimir un tono triunfal y grandioso a su obra arquitectónica.
- 3.- Véase la *Obra científica*, publicada por El Colegio Nacional.

cuarenta por ciento. Tiempo después, sus allegados le preguntaron por qué no solicitaba un aumento, a lo que don Santiago respondió: "Primero, porque no ansío nadar en la opulencia. Segundo, porque en una edad en que desfallecen o declinan mis fuerzas, paréceme abusivo y hasta inmoral, aumentar mis emolumentos. Y tercero, porque aun sin querer columbro a través de cada moneda recibida, la faz curtida y sudorosa del campesino, quien, en definitiva, sufraga nuestros lujos académicos y científicos".

En estos tiempos de olvido fácil, el recordar y reunir testimonios acerca de un hombre que murió hace sesenta y seis años puede parecer extraño e inútil. En el caso de este libro sobre don Santiago Ramón y Cajal, el testimonio es pertinente, pues la obra y la dirección señalada por esta rara avis hispánica siguen teniendo vigencia. En estos tiempos apresurados, en donde todo pasa tan rápido que no sabemos que es lo que pasa, conmemorar es dar fe de existencia. Lo único que queda de los hombres, si algo queda, es su rastro. En el mismo instante en que el presente nace, es devorado por el pasado. Desconocemos el porvenir. Solo el pasado es cierto y concreto. Nuestra vida es un resumen continuo de un pasado que crece. Quien olvida o desconoce lo que fue, desconoce su cultura y a sí mismo. Enfrentar el futuro sin el asidero del pasado, es lanzarse al vacío. Recordemos hoy a don Santiago y su obra.



Vivencias de Don Santiago Ramón y Cajal, de Manuel Peláez Cebrían, FCE, 1999

Julio Muñoz

Siendo ya un afamado sabio, a Cajal, por iniciativa suya, se le redujo el salario que se le había asignado para dirigir el Instituto de Investigaciones Biológicas. La reducción fue de un

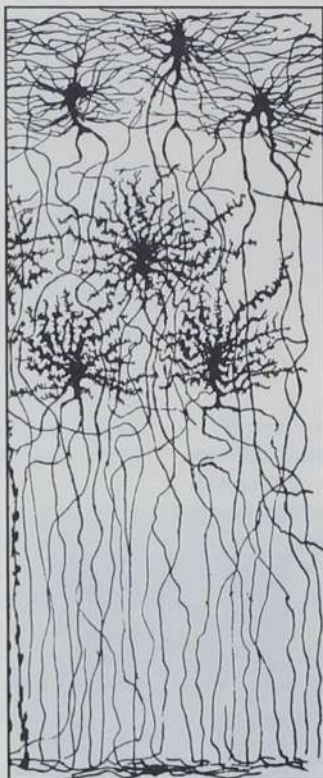
Don Manuel Peláez Cebrían, con modestia verdadera, se echó a cues-tas la tarea de exhumar viejos en-sayos, obtener otros más recientes y reunirlos todos en un libro que puede

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

calificarse de metatestimonial: testimonio de testimonios. El valor testimonial de este libro es doble. Por un lado encontramos referencias a la vida y obra de don Santiago. Por otro lado, gracias a la visión que de don Santiago se expone en cada uno de los ensayos con muy personales estilos, los autores más que dar testimonio del genial aragonés lo dan de sí mismos. Esto le da al libro gran parte de su encanto, sobre todo para quienes hayan conocido o conozcan a los autores, personalmente o por referencias.

Como es de esperarse, el libro es francamente laudatorio. Los ensayos fueron escritos por médicos, y los más de ellos cultivaron la misma parcela del conocimiento que de manera destacada Ramón y Cajal contribuyó a fincar. Algunos ensayos se ocupan más de don Santiago como gran hombre pero sin referirse a su obra concreta o a la influencia que ha tenido en la ciencia del sistema nervioso. La admiración por Cajal es comprensible. Siendo hijo de un país con ciencia escasa en su tiempo, la obra monumental y el mérito de don Santiago son deslumbrantes. Otros ensayos, sobre todo los de los doctores José Puche, Dionisio Nieto, Manuel Velasco Suárez y Augusto Fernández Guardiola se fijan más en la obra Cajal y en su trascendencia, sobre todo como científico pero también como epistemólogo, esto es, como sustentador de una teoría del conocimiento científico. La admiración en estos ensayos está ponderada justamente por ese conocimiento.

En el libro se distinguen, a mi juicio, los que hablan del hombre, los que se refieren a su obra, y los que además aprovechan la ocasión para darnos sus personales puntos



de vista. En un caso, el libro es testimonio de testimonios de testimonios. No es un juego de palabras. El Dr. José Pedro Arzac no conoció a Cajal personalmente ni da muestras en su ensayo de haber conocido bien su obra, pero expresa una admiración que me parece desmedida. En su ensayo, que apareció publicado por primera vez en 1952, el Dr. Arzac se refiere a Ramón y Cajal como héroe y hombre enviado por la Providencia. Tan mayúscula admiración sólo puede haber nacido de la fama pública de don Santiago, y de la lectura o de la transmisión verbal de otros testimonios. Metatestimonio acerca de Cajal y testimonio directo del autor. Dice en su ensayo don

José Pedro: "En las reconditas fibras de nuestro corazón la desilusión nos hiela y en nuestro cerebro, en esas circunvoluciones que él magistralmente estudió..." Sobre el estilo lírico, prefiero no hacer comentarios, y sobre la alusión a las circunvoluciones cerebrales, aspecto externo de estructuras macroscópicas, no tengo noticia de que don Santiago las haya estudiado como tales. Da la impresión de que el discurso del Dr. Arzac, el primero del libro, fue incluido por razones distintas a las de su conocimiento sobre la vida y obra de don Santiago.

Las referencias a Ramón y Cajal como personaje público y ejemplo a seguir son numerosas. En el grato ensayo del Dr. Julio Bejarano Lozano, alumno de Cajal en la Facultad de San Carlos de Madrid, encontramos una excepción. Bejarano nos habla de la vida de Cajal antes de que éste se convirtiese en gloria nacional y universal. Resulta que don Santiago tuvo una infancia más que revoltosa, lo que lo hacía acreedor a sanciones paternas. El padre, médico rural, le obligaba a ocuparse durante las vacaciones de verano como aprendiz de barbero o de zapatero. Para decirlo llanamente, como a mi me lo dijo mi maestro Sadí de Buen, nieto de aquel Odón de Buen, amigo y contertulio de don Santiago: "Cajal, de niño y de jovencito, era un mal estudiante... ¡era un borrico!" A sus doce años, añado yo recurriendo a otras fuentes, Santiaguito hubo de cumplir cuatro días de cárcel en Ayerbe, pueblo de su patria chica aragonesa aunque nació en Petilla de Aragón, pueblecillo navarro a pesar del nombre. Y sufrió cárcel Santiaguito por haber medio derribado la puerta de un vecino con

la ayuda de un cañón que el mismo Santiaguito construyó. En su primera obra, *Estrategia lapidaria*, escrita en Jaca cursando ya el bachillerato, el insociable Santiago da cuenta de los cuidados que se han de tener para prevenirse de las piedras lanzadas por el enemigo, aficionado como era el mozo a las pedreas y al manejo de la honda. Tampoco se recuerda en este libro la vida de don Santiago con doña Silveria, y que Cajal tenía, según se dice pero no se escribe, gustos más mundanos de los que está dispuesto a admitir lo que en sociedad se llama "el buen gusto". La inclusión de referencias como las que me permití mencionar aquí, hubieran presentado a un don Santiago Ramón y Cajal desmitificado, quizá menos heroico pero más humano y cercano a él mismo. No quiero con esto demeritar ni por asomo la admiración sincera que se ganó Cajal con muchas de sus actitudes y opiniones. El mismo Dr. Bejarano nos regala en su ensayo *Cajal, ciudadano* con una respuesta preciosa que dio don Santiago, siendo ya un afamado sabio, cuando un colaborador suyo le preguntó por qué no solicitaba un aumento al sueldo que le había sido rebajado en un cuarenta por ciento:

"Primero, porque no ansío nadar en la opulencia. Segundo, porque en una edad en que desfallecen o declinan mis fuerzas, pareceme abusivo y hasta inmoral, aumentar mis emolumentos. Y tercero, porque aun sin querer columbro a través de cada moneda recibida, la faz curtida y sudorosa del campesino, quien, en definitiva, sufraga nuestros lujos académicos y científicos".

Queda claro que esta postura de Cajal es, hoy como ayer, la de un

hombre extraordinario, sobre todo en este hoy de prematuras pensiones insultantes.

Otro homenaje sentido, sencillo y sobrio se encuentra en *La voz de Cajal* del vallisoletano Tomás Perrín, quien se fue a Madrid a trabajar con el maestro. Henchido de admiración y cariño, don Tomás llega a la exaltación:

"Y como Cajal no fue un brillante forjador de teorías sino un descubridor genial de estructuras, cimentador de doctrinas en un obra inmutable, la voz de Cajal seguirá diciendo sus altas verdades por largos siglos y en todos los idiomas, en cualquier rincón del mundo donde inquieten al hombre los más sutiles misterios de la vida".

Quizá don Santiago estaría en desacuerdo con una aseveración de este párrafo. Lo que se llamó "la doctrina neuronal" es lo que hoy se llama "la teoría neuronal", caso particular de la teoría celular, de la que don Santiago sí fue un brillante forjador; pero en ciencia, hay que señalar, no hay doctrinas inmutables. Sólo son inmutables los dogmas religiosos. La teoría neuronal persiste como válida, pero la idea de que entre las neuronas sólo hay contigüidad y no continuidad ha tenido que hacerle lugar a las llamadas uniones comunicantes interneuronales. Además, una de las características extraordinarias de don Santiago fue justamente su capacidad de teorizar especulando, y uso el gerundio en su verdadero sentido, esto es, reflexionando. En cuanto al Cajal genial descubridor de estructuras que en él vió Tomás Perrín, Cajal las descubría porque las buscaba. Y las buscaba bien. Al

hacer sus célebres hallazgos acerca de la estructura del cerebelo o de las laterales intraespinales, Cajal no se asomaba por el canuto del microscopio a ver que se veía por él. No conocemos lo que vemos, sino que vemos lo que conocemos.

El Dr. Germán Somolinos D'Ardoise se toma del brazo de Cajal y escribe sobre historia y literatura. Le interesa de Cajal su precisión en la escritura, hija en gran parte de la precisión científica, y nos habla un poco del Madrid de principios de siglo XX que vivió Cajal, del Café Suizo y de la gran calle de Alcalá, por la que "suben y bajan los andaluces", apunto yo, recordando la letrilla de unos "caracoles" flamencos que se cantaban en la época de don Santiago.

El Dr. Isaac Costero Tudanca coincide con las posiciones de Cajal en cuanto a la relación de los científicos con la burocracia, y aprovecha la ocasión para decir sus propias verdades. Por ejemplo, dice el maestro Costero: "La posición de los pueblos en el concierto de las naciones no se mide por el nivel medio logrado en su desarrollo, cuanto por la altura a la que llegan sus figuras más destacadas". Quizá el mismo Cajal hubiera estado en desacuerdo con esta afirmación.

La contribución que hace el entrañable Dr. Puche, por intermedio del Dr. Fernández Guardiola, es inapreciable. Se trata de un prólogo que hizo Cajal a un libro de otro autor, al parecer llamado *Maestre*. Es el tipo de libro que hoy llamaríamos "de divulgación científica" y Cajal pone la muestra en 1904 de las bondades de este género cuando se le teje con buen oficio. En ese magnífico y muy

poco conocido prólogo, Cajal, libre del cincho académico formal, más suelto, más libre, recorre un sendero epistemológico pero no a rienda suelta, sino a rienda controlada por su conocimiento y su rigor científico. Recorre el sendero que él mismo traza cuando se ocupa del problema mente-cerebro. Me siento tentado a seguir hablando sobre este tema, pero es mejor leer la contribución de Augusto Fernández, quien toma de frente este aspecto de Cajal, con sobriedad y conocimiento. Tengo la impresión de que Augusto recibió alguna inspiración del mencionado prólogo.

En lo que yo veo como una parte distinta del libro, que contiene las contribuciones de Puche y Fernández Guardiola, se escribe más y con toda justeza sobre la obra de Cajal, y sobre las implicaciones que él veía en sus hallazgos. El maestro don Dionisio Nieto, otro madrileño, destaca por un lado la inmensa capacidad de trabajo de don Santiago. Inmensa en verdad. Permítaseme dar testimonio verbal y de memoria de lo que una vez le escuché decir a un morfo-

logo húngaro: "Afortunadamente, en tiempos de Cajal no había microscopio electrónico, pues si lo hubiese habido, todos nosotros estaríamos sin trabajo". Hay quienes han querido ver como máxima cualidad de Cajal su capacidad titánica para trabajar, la cual es indiscutible, aunque se ve superada por otras cualidades suyas: la sabia selección del material biológico que utilizaba, la planeación de sus experiencias, sus observaciones sistemáticas desde el embrión hasta el organismo adulto, sus deducciones funcionales y las implicaciones que veía en sus hallazgos para encontrar explicaciones en otro nivel del conocimiento. El maestro Nieto, neuropatólogo y psiquiatra organicista, gran conocedor de la obra de Cajal, estaba convencido, como éste, de que las alteraciones mentales son alteraciones cerebrales. Velasco Suárez, neurólogo de postín, recorre en este libro un camino muy parecido al de Dionisio Nieto y reconoce en Cajal a un revolucionario de la neurología.

El libro termina reproduciendo el Capítulo II de las *Reglas y consejos*

sobre investigación científica de don Santiago. Todo lo que Cajal aconseje y lo que se diga de Cajal, el hombre, el personaje, el Cajal de las *Charlas de Café* y de las *Reglas y Consejos sobre Investigación Científica*, por grande que sea lo que se pueda decir, se quedará chico frente a su obra. Más aún, sus charlas, sus reglas y sus consejos se recuerdan gracias a que tienen el respaldo de una obra monumental.

Para finalizar, me aprovecho de mi posición de presentador para contarles una anécdota de Cajal que me contaron, aunque advierto que quien recuerdo que me la contó ahora me dice que él no se acuerda:

Cuando Cajal volvió a España en ferrocarril después de recibir el premio Nobel, entre la multitud que le esperaba en la estación se abrió paso quien había sido su maestro zapatero, y con quien se había llevado muy bien. El hombre, emocionado, abrazó a don Santiago y le dijo "¡Ay, hijo mio! ¡Con lo buen zapatero que tú hubieras sido!"

Indice del volumen 19

Indice de materias

Biología celular

Biología celular en el Premio Nobel 49

F. Navarro García et al.

Microbiología celular en el Pasteur 171

C. Chimal

De motu proprio (reseña) 321

M. Cereijido

Ciencias marinas

El primer emporio perlero sustentable del mundo 177

Z. Puig Amarillas

Las playas de la Península de Yucatán: evolución de la línea de costa 195

V. Castillo y L. Capurro

Crónica de una sobreexplotación legalizada: la pesquería de atunes en el Atlántico Sudoccidental 67

A.C. Milessi y O. Defeo

Sistemas integrales de producción agroacuicola: 75 nuevas formas de optimizar el uso de los recursos naturales

A. Flores Nava

Desarrollo institucional

Sobre el desacostumbrado hábito de opinar 81

M. Cereijido

Internet, la bomba y la física del siglo XX 89

G. Contreras Nuño

Libertad para investigar 162

D. Alarcón

Sobre la falta de costumbre de terciar 163

G. López Castro

La Unidad Querétaro: un ejemplo de colaboración interinstitucional 363

A. Martínez Palomo

La Unidad Querétaro: un factor que detona el desarrollo 367

E. Zedillo

Por una política científica integral 359

G. López Castro

Distinciones académicas 37

Premio Nobel de Física 1999

Premio Nobel de Química 1999 43

Premio Nobel de Fisiología 1999 49

Premios AMC 1999 53

Premios Weizmann 1999 167

Premio Nacional de Ing. Comunicaciones y Electrónica 300

Premio Nacional de Ciencias y Artes 1999 95

Premios A. Rosenblueth 1999 370

Documentos

Informe de labores 1999 219

A. Martínez Palomo

La Unidad Querétaro: un ejemplo de colaboración interinstitucional 363

A. Martínez Palomo

La Unidad Querétaro del Cinvestav: un factor que detona el desarrollo 367

E. Zedillo

Ecología

Tioles, medio ambiente y cáncer 15

J. Trujillo Ferrara

Evaluación ecológica, social y de salud 203

F. Dickinson et al.

Sistemas integrales de producción agroacuicola: 75 nuevas formas de optimizar el uso de los recursos naturales

A. Flores Nava

Educación

- El Primer Congreso Científico Mexicano y la reflexión sobre educación
J. Granja Castro

3

- Foro interdepartamental sobre materiales
didácticos

303

M. de Ibarrola y P. Cabrera

- Enseñanza de las ciencias en la primaria
mexicana

99

L.A. Orozco

- Coherencia y educación en ciencias

105

M.G. Bardeen y L.M. Lederman

Electrónica

- La electrónica integrada en el siglo XX

25

F. Sandoval Ibarra

- Redes neuronales

31

M.A. Bernal Reza

- Telecomunicaciones y electrónica

295

J. Suárez Díaz

- Tarjetas inteligentes

287

L.E. Dávalos Jiménez et al.

Física

- Simetría oculta

37

M.A. Pérez Angón

- ¿Quién es Martinus Veltman?

57

L. Díaz Cruz

- ¿Qué es la teoría de cuerdas?

131

A. Güijosa Hidalgo

- The Sun, the genome and internet (reseña)

60

M.A. Pérez Angón

- Sobre $1 + 1 = 0$: grupos y simetría

211

M. Socolovsky

- Materiales biomoleculares

263

M. Hernández Contreras

- Internet, la bomba y la física del siglo XX

89

G. Contreras Nuño

- La estabilidad de la constante gravitacional
y el experimento cósmico SEE

327

V.N. Melnikov y V. Manko

Foro

- Sobre el desacostumbrado hábito de opinar

81

M. Cerejido

- Internet, la bomba y la física del siglo XX

89

G. Contreras Nuño

- Libertad para investigar

169

D. Alarcón Segovia

- Sobre la falta de costumbre de terciar

163

G. López Castro

Ingeniería eléctrica

- Control de una red de potencia

347

J.M. Ramírez et al.

- Redes neuronales

31

M.A. Bernal Reza

- Telecomunicaciones y electrónica

295

J. Suárez Díaz

Libros y revistas

- The Sun, the genome and internet

60

M.A. Pérez Angón

- El primer emporio perlero sustentable
del mundo

177

Z. Puig Amarillas

- La ética en las ciencias: el caso
de las revistas científicas

179

K.H. Pannell

- Revistas Científicas en América Latina.

253

- Los dilemas de las revistas mexicanas

M.A. Pérez Angón

- De motu proprio, de E. Frixione

321

M. Cerejido

- Vivencias de don Santiago Ramón y Cajal

379

J. Muñoz

Matemáticas

- Sobre $1 + 1 = 0$: grupos y simetría 211
M. Socolovsky

Matrices

- Y seguimos comiendo manzanas 125
J.C. Raya Pérez

Neurociencias

- Memoria amniótica 153
J. Hernández R.

- Neurofisiología en Francia 243
C. Chimal

- Las bases neuromorfológicas de la conciencia 113
C. Chimal

- El Colegio de Francia y la vocación de enseñarlo todo 373
C. Chimal

- Tras la pista de la percepción al dolor 339
G. Gasque y R. Félix

- Vivencias de Don Santiago Ramón y Cajal 379
J. Muñoz

Nombramientos

- J.A. Torres Muñoz, jefe del Depto. de Control Automático 56
G. Cota, jefe del Depto. de Fisiología 169
J.L. Leyva Montiel, director de la U. Guadalajara 170

Periodismo científico

- Humor y periodismo científico 185
M. Calvo Hernández

- La paella y el desarrollo de la ciencia 159
J.J. Rivaud

Política científica

- La paella y el desarrollo de la ciencia 159
J.J. Rivaud

- Por una política científica integral 359
G. López Castro

- La Unidad Querétaro: un ejemplo de colaboración interinstitucional 363
A. Martínez Palomo

- La Unidad Querétaro: un factor que detona el desarrollo 367
E. Zedillo

Química

- Tioles, medio ambiente y cáncer 15
J. Trujillo Ferrara

- Femtoquímica 43
B. Gordillo

- RMN como una herramienta en sistemas vivos 143
R. Montalvo González et al.

- Electroquímica y mecanismos de reacción 271
F.J. González Bravo

- Vida y quiralidad 279
N. Pérez Hernández

- La Royal Institution y la química para viajeros 313
C. Chimal

Índice de Autores

A

- Alarcón Segovia, D.
Libertad para investigar 162
Ariza Castolo, A.
RMN como una herramienta en sistemas vivos 143

B

- Bardeen, M.G.
Coherencia y educación en ciencias 105
Bernal Reza, M.A.
Redes neuronales 31

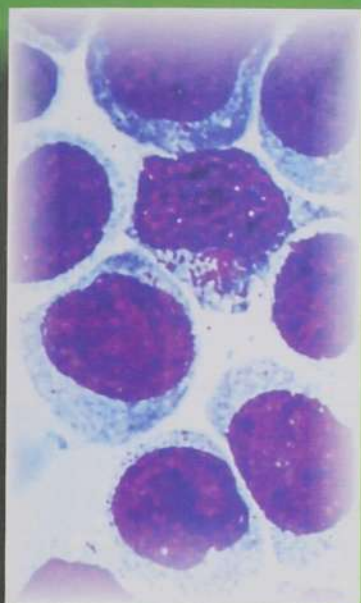
C

- Cabrera, P.
Foro interdepartamental 303

Calvo Hernando, M.		
Humor y periodismo científico	185	
Capurro, L.		
Las playas de la Península de Yucatán	195	
Castillo, I.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
Castillo, T.		
Evaluación ecológica	203	
Castillo, V.		
Las playas de la Península de Yucatán	195	
Cerejido, M.		
De motu proprio, de E. Frixione	321	
Sobre el desacostumbrado hábito de opinar	81	
Chimal, C.		
Las bases morfológicas de la conciencia	113	
Microbiología celular en el Pasteur	171	
Neurofisiología en Francia	243	
Química para viajeros	313	
El Colegio de Francia	373	
Contreras Nuño, G.		
Internet, la bomba y la física del siglo XX	89	
Coronado, I.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
D		
Dávalos, L.E.		
Tarjetas inteligentes	287	
Dávalos, R.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
Defeo, O.		
Pesquería de atunes en el Atlántico Sudoccidental	75	
De Ibarrola, M.		
Foro interdepartamental	303	
De la Garza, M.		
Biología celular en el Premio Nobel	49	
Díaz Cruz, L.		
¿Quién es Martinus Veltman?	57	
Dickinson, F.		
Evaluación ecológica	203	
F		
Félix, R.		
Tras la pista de la percepción al dolor	339	
Flores Nava, A.		
Sistemas integrales de producción agroacuicola	75	
G		
Gasque, G.		
Tras la pista de la percepción al dolor	339	
González Bravo, F.J.		
Electroquímica	271	
Gordillo, B.		
Femtoquímica	43	
Granja Castro, J.		
El Primer Congreso Científico Mexicano y la reflexión sobre educación	3	
Guerrero Alvarez, J.A.		
RMN como herramienta en sistemas vivos	143	
Güijosa Hidalgo, A.		
¿Qué es la teoría de cuerdas?	131	
H		
Hernández, M.		
Biología celular en el Premio Nobel	49	
Hernández-R., J.		
Memoria amniótica	153	
Hernández Contreras, M.		
Materiales biomoleculares	263	
L		
Lederman, L.M.		
Coherencia y educación en ciencias	105	
López Castro, G.		
Sobre la falta de costumbre de terciar	163	
Por una política científico integral	359	
M,N		
Manko, V.		
La estabilidad de la constante gravitacional	327	
Martínez Palomo, A.		
Informe de Labores 1999	219	
La Unidad Querétaro	363	
Melnikov, V.N.		
La estabilidad de la constante gravitacional	327	
Milessi, A.C.		
La pesquería de atunes en el Atlántico Sudoccidental	67	
Montalvo González, R.		
RMN como herramienta en sistemas vivos	143	
Muñoz, J.		
Vivencias de Don Santiago	379	
Ramón y Cajal	379	
Navarro García, F.		
Biología celular en el Premio Nobel	49	

O		
Orozco, L.A.		
Enseñanza de las ciencias en la primaria mexicana	99	
P		
Pannell, K.H.		
La ética en las ciencias: el caso de las revistas científicas	179	
Pérez Angón, M.A.		
Simetría oculta	37	
The Sun, the genome and internet	60	
Revistas científicas	253	
Pérez Hernández, N.		
Vida y quiralidad	279	
Pulg Amarillas, Z.		
El primer emporio perlero sustentable del mundo	177	
R		
Ramírez, J.M.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
Raya Pérez, J.C.		
Y seguimos comiendo manzanas	125	
Rivaud, J.J.		
Paella y desarrollo de la ciencia	159	
S		
Sandoval Ibarra, F.		
La electrónica integrada en el siglo XX	25	
Socolovsky, M.		
Grupos y simetría	211	
Suárez Díaz, J.		
Telecomunicaciones y electrónica	295	
T		
Trujillo Ferrara, J.		
Tioles, medio ambiente y cáncer	15	
U, V		
Valenzuela, A.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
Vázquez Medina, R.		
Tarjetas inteligentes	287	
Velázquez López, J.		
Tarjetas inteligentes	287	
Viga, D.		
Evaluación ecológica	203	
Z		
Zedillo, E.		
La Unidad Querétaro del Cinvestav	367	
Zúñiga, P.		
Control de una red eléctrica de potencia	347	
<i>Índice onomástico</i>		
A		
Albores Medina, A.		
Representante OIAT	301	
Aranda Brincaire, E.		
Ingreso AMC	98	
B		
Bello Pérez, L.A.		
Premio Nal. C. Y Tec. Alimentos 1999	98	
C		
Cantoral, R.		
Beca Guggenheim	301	
Castro Borges, P.		
Ingreso AMC	98	
Castro Muñozledo, J.		
Ingreso AMC	98	
Cisneros Vega, B.		
Premio A. Rosenblueth	370	
Cota Peñuelas, G.		
Jefe Depto. de Fisiología	169	
Cruz de León, G.		
Premio Weizmann 1999	167	
Cueto Hernández, A.		
Premio Weizmann 1999	167	
D		
De la Cruz Hernández, F.		
Ingreso AMC	98	
De la Fuente Martínez, J.M.		
Tesis Biotecnología	56	
F		
Flores Murrieta, F.J.		
Premio AMC 1999	53	
G		
García Compeán, H.H.		
Ingreso AMC	98	

Gómez Lim, M.A. Ingreso AMC	98	Ortega Soto, A. Ingreso AMC	98
González Hernández, J. Premio Nacional de Ciencias y Artes 1999	95	Premio Weizmann 1999	168
Granados Soto, V. Ingreso AMC	98	P	
Gupta, V. Ingreso AMC	98	Paredes, López, O. Doctorado <i>Honoris causa</i>	170
Guzmán Rentería, M.F. Dirección U. Guadalajara	170	Premio Grano de Oro	301
		Pérez Molphe, E.M. Tesis Biología	56
H		R	
Herrera Estrella, L. Tesis dirigidas en Biología	56	Ramírez Sosa, M., M. Premio A. Rosenblueth	370
Medalla OMPI	170	Ramírez Wong, B. Premio Nal. C. y Tec. Alimentos 1999	98
I, J, K		Reyes Moreno, C. Premio Sinaloa 1999	301
Joseph-Nathan, P. Miembro ANC Bolivia	56	Premio Nal. C. y Tec. Alimentos 1999	98
Premio M. Molina 1999	98	Rivera Bustamante, R.F. Ingreso AMC	98
Konototovich Mazo, V. Ingreso AMC	98	Rosas Vargas, H. Premio A. Rosenblueth	370
L		Rudomín, P. Jefatura del Depto. de Fisiología	169
Leonidovich, V. Premio A. Rosenblueth	370	S	
Leyva Montiel, J.L. Director U. Guadalajara	170	Sánchez Camperos, E.N. Ingreso AMC	98
López Castro, G. Premio AMC 1999	53	Schachermeyer, W. Premio Wittgenstein 1999	170
López Díaz, D. Premio Weizmann 1999	167	Suárez Díaz, J. Premio Nal. Ing. en Comunicaciones y Electrónica	300
Luti Rosenbaum, T. Premio Weizmann 1999	167	Sudarsky, D.E. Premio A. Rosenblueth	370
M, N		T	
Matos Chassin, T. Premio A. Rosenblueth	370	Torres Muñoz, J.A. Jefe Depto. Control Automático	56
Montañez, S.C.I. Premio A. Rosenblueth	370	Tztzqui Chávez, A. Tesis Biología	56
Nucamendi Gómez, U. Premio A. Rosenblueth	370	U. V., ...	
O		Vasco Méndez, L. Premio Nal. C. y Tec. Alimentos 1999	98
Ochoa Alejo, M. Tesis Biología	56	Villa Salvador, G. Premio Weizmann 1999	167
Oliva Arias, I. Ingreso AMC	98	Xoconostle Cásarez, B.G. Premio C. Casas Campillo	301
Orozco, E. Premio CANIFARMA 1999	170		



XIV

Seminario sobre AMIBIASIS

El Colegio Nacional

Cinvestav

IMSS

SSA

UNAM

COMITÉ ORGANIZADOR

Coordinadores:

Dr. Adolfo Martínez Palomo
Dra. Martha Espinosa Cantellano

Comité Científico:

Dr. Luis Benítez Bribiesca
Dr. C. Graham Clark
Dr. Louis S. Diamond
Dr. Roberto Kretschmer
Dr. Onofre Muñoz
Dr. Ruy Pérez Tamayo
Dr. José Ignacio Santos
Dr. Norberto Treviño García Manzo
Dr. Víctor Tsutsumi
Dr. Enrique Wolpert
Dra. Cecilia Ximénez

Coordinadora Técnica

Lic. Verónica Dueñas Mejía

Biología Molecular

Bioquímica

Biología Celular

Patología

Inmunología

Patogenia

Clínica, Diagnóstico y Tratamiento

Epidemiología y Control

Del 27 al 30 de noviembre del 2000, en el Aula Mayor de El Colegio Nacional

A partir de las 8:30 am

Donceles 104, Centro Histórico

ENTRADA LIBRE

INGENIERO ANGEL VILLASANA
Chorler
Dirección

Doctorado, Posdoctorado

Fisicamatemática
Física nuclear
Gravitación

Materia condensada
Física estadística
Física médica
Astrofísica



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Departamento de Física

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

Inscripciones al doctorado en cualquier época del año.

BECAS de Conacyt

Coordinación de admisión

Departamento de Física, Cinvestav

Apdo. postal 14-740

07000 México, D.F.

Tel. (52-5) 747 3831

Fax (52-5) 747 3838

admission@fis.cinvestav.mx

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

Maestría, Doctorado, Posdoctorado



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

Maestría, Doctorado, Posdoctorado



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

vista tridimensional