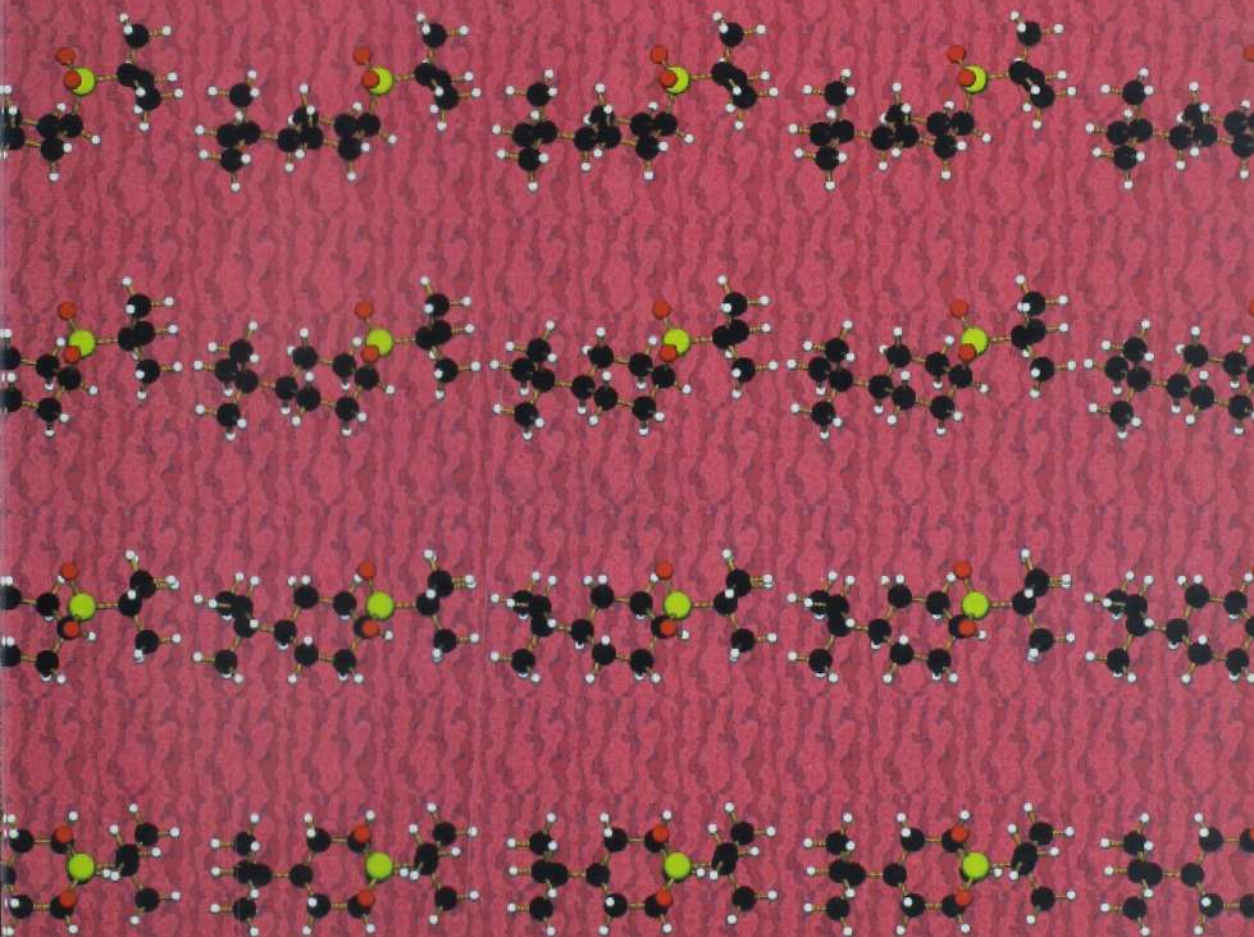




CBYS027824

# AVANCE Y PERSPECTIVA

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



Volumen 16  
Septiembre-octubre de 1997  
México ISSN 0185-1411  
\$ 15 pesos

Moléculas que rompen  
las leyes del análisis  
conformacional

# XIV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido

Leo Falicov

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

## CONFERENCISTAS INVITADOS

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

### Para más informes:

J. L. Morán López  
Instituto de Física  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
78000 San Luis Potosí, S.L.P.  
México

Tel: 52 (48) 17 31 53 Fax: 52 (48) 13 38 74  
E-mail: moran@dec1.fisica.uaslp.mx

M. L. Marquina  
Sociedad Mexicana de Física  
Facultad de Ciencias  
UNAM, México

Tel. y Fax: (5) 622 4848, (5) 622 4946  
E-mail: smf@hp.ciencias.unam.mx



Centro de Investigación  
y de Estudios Avanzados del IPN  
CINVESTAV

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

## AVANCE Y PERSPECTIVA

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

## CONSEJO EDITORIAL

Jesús Alarcón  
MATEMÁTICA EDUCATIVA  
René Asomoza  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
J. Víctor Calderón Salinas  
BIOQUÍMICA  
Marcelino Cerejido  
FISIOLOGÍA  
Eugenio Frixione  
BIOLOGÍA CELULAR  
Jesús González  
LAB. DE QUERÉTARO  
Luis Herrera Estrella  
UNIDAD Irapuato  
María de Ibarrola  
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS  
Eusebio Juaristi  
QUÍMICA  
Miguel Ángel Pérez Angón  
FÍSICA  
Gabino Torres Vega  
FÍSICA

Consulte nuestra página  
de internet:

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

# AVANCE Y PERSPECTIVA

Biblioteca  
Ciencias Biológicas y de la Salud  
Cinvestav

## SUMARIO

Vol. 16

septiembre-octubre de 1997

- 291 *Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones*  
David Muñoz Rodríguez, Delfino Sandoval Morantes  
y Joaquín Álvarez Gallegos
- 301 *Agujeros negros y ondas gravitacionales*  
Nora Bretón
- 307 *Enfermedad de Chagas: un problema vigente de salud*  
Ricardo Pérez Fuentes

## AVANCES DE INVESTIGACIÓN

- 313 *Moléculas que rompen las leyes del análisis conformacional*  
Eusebio Juaristi

## PERSPECTIVAS

- 317 *Una nueva generación de investigadores*  
Isaura Meza
- 320 *Paulo Freire: pedagogía de la indignación*  
Emilia Ferreira

## DOCUMENTOS

- 323 *Informe de labores 1996*  
Adolfo Martínez Palomo

## LIBROS Y REVISTAS

- 337 *Máquinas vivientes: ¿Cómo se mueven las células?*, de I. Meza  
y E. Frixione  
Ruy Pérez Tamayo, Herminia Pasantes, Guadalupe Ortega-Pierres,  
Eugenio Frixione
- 345 *37 modos de hacer ciencia en América Latina*, H. Gómez  
y H. Jaramillo (compil.)  
Miguel Ángel Pérez Angón
- 349 *Introducción a la superconductividad*, de O. Navarro Chávez  
Rafael Baquero

**Portada:** Estereograma de la estructura del dióxano obtenida por difracción de rayos X. Representa el primer caso en donde una molécula adopta una conformación con tres pares de enlaces vecinos eclipsados en vez de alternados (véase el artículo en este mismo número, pág. 313, de E. Juaristi). Para apreciar la imagen tridimensional de la molécula (reproducida en la pág. 314), sugerimos al lector intercambiar la distancia de enfoque de los ojos a dos puntos diferentes del estereograma (*i.e.*, hacer bizco). Ilustración generada por la M. en C. Sandra Antúnez en el Departamento de Química del Cinvestav.

*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 septiembre-octubre de 1997, volumen 16, se terminó de imprimir en agosto de 1997. El tiraje consta de 8,000 ejemplares. **Editor responsable:** Enrique Campesino Romeo. Oficinas: Av. IPN No. 2508 esquina calzada Ticomán apartado postal 14-740, 07000, México, D.F. Certificados de licitud del título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 577-85 otorgado por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro No. 01603-89, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. *Negativos, impresión y encuadernación:* Litografía HERFAR, S.A. de C.V. Dr. García Diego 45-H, Col. Doctores, México, D.F. *Avance y Perspectiva* publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el número enero-febrero de 1997, vol. 16 página 74. Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en *Avance y Perspectiva*, siempre que se cite la fuente. *Avance y Perspectiva* se distribuye en forma gratuita a los miembros de la comunidad del CINVESTAV y a las instituciones de educación superior. Suscripción personal por un año: \$ 90 pesos.

# Panorama de la Difusión Científica en México

En un esfuerzo por fortalecer el papel que desempeña la ciencia dentro de nuestra cultura y con el objetivo de ofrecer una alternativa para su difusión, unodosiete Espacio Cultural, servirá de escenario para un ciclo de conferencias y mesas redondas dedicadas a los siguientes temas:

- 1** Panorama de la difusión científica en México.  
Participan: Revistas **Ciencia y Desarrollo del CONACyT** y **Ciencias, UNAM**
- 2** La empresa editorial de las publicaciones científicas en México.  
Participa: Revista **Avance y Perspectiva del Cinvestav**
- 3** Ciencia y sociedad.  
Participan: Revista **Ciencia de la Academia Mexicana de Ciencias** y el boletín **Biodiversitas**
- 4** ¿Cuál es el papel de la ciencia dentro de nuestra cultura?  
Participa: Revista **Investigación Hoy**

**Las conferencias se llevarán a cabo los días 18 y 25 de septiembre y  
3 y 9 de octubre de 1997 a las 19:30 hrs.**

***Coordinación Alejandro Alonso***

**unodosiete**  
Espacio Cultural

**FONDO DE CULTURA ECONOMICA**

Orizaba 127 Col. Roma México, D.F.

Tel. 564 9647 / 264 1421

# Señales caóticas y su aplicación en comunicaciones

**David Muñoz Rodríguez, Delfino Sandoval Morantes y Joaquín Álvarez Gallegos**

**E**n los últimos treinta años ha existido un gran interés en el estudio de los sistemas dinámicos no lineales y sus aplicaciones en diversas áreas de la ciencia y de la ingeniería. El uso de señales caóticas en los sistemas de comunicación ha sido objeto de estudio reciente y cada vez aparecen nuevos resultados en este sentido. Si bien los esquemas propuestos sirven a propósitos diferentes, la mayoría de estos trabajos se orientan hacia el aspecto de seguridad en las comunicaciones. Dado el comportamiento aparentemente aleatorio de los sistemas caóticos, su gran ancho de banda típico y sus cualidades semejantes a los sistemas estocásticos, así como el uso de estas propiedades para enmascarar o encriptar información han suscitado el interés en el área de las comunicaciones privadas. Otros sistemas exploran el uso de señales caóticas en sistemas de comunicación de acceso múltiple y de espectro expandido. En este artículo se revisa la tendencia de los últimos años orientada a explotar las cualidades especiales de este tipo de señales en el área de las comunicaciones.

## Introducción

Además de la definición usual de caos como materia desordenada y amorfa que se supone existió antes del universo ordenado, o el significado de desorden completo y confusión absoluta, técnicamente se ha definido el caos como un comportamiento estocástico que ocurre en un sistema determinista<sup>1</sup>. Una señal caótica

El Dr. David Muñoz Rodríguez es director del Centro de Electrónica y Telecomunicaciones del ITESM, El M. en C. Delfino Sandoval Morantes es investigador de este mismo centro. El Dr. Joaquín Álvarez Gallegos es investigador titular del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones del CICESE.

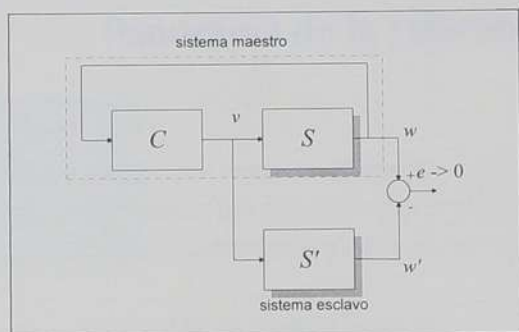


Figura 1. Diagrama esquemático del proceso de autosincronización de sistemas.

es entonces una señal generada por un sistema dinámico de naturaleza determinista, pero cuyo comportamiento a mediano o largo plazo es impredecible. El uso de señales caóticas en comunicaciones fue sugerido inicialmente por Tang, Mees y Chua<sup>2</sup> cuando publicaron que, bajo ciertas condiciones, era posible generar una señal idéntica y en fase con otra señal proveniente de un sistema caótico; este fenómeno es conocido como sincronización. Este descubrimiento resultó inesperado debido a que las señales generadas por sistemas caóticos se caracterizan por su divergencia y alta sensibilidad con respecto al estado inicial del sistema. En la figura 6 (pág. 295) se muestra la evolución de dos señales generadas por el mismo sistema con condiciones iniciales muy cercanas, (0.1 y 0.10001). Carroll y Pecora<sup>3</sup> estudiaron más a fondo este fenómeno y analizaron un sistema caótico constituido por subsistemas que podían sincronizarse con una réplica de ellos mismos. Recientemente, esta idea fue llevada a la práctica por Cuomo y Oppenheim<sup>4</sup>. Otros investigadores han estudiado el fenómeno de sincronización en circuitos caóticos diferentes al utilizado por Cuomo, y registran resultados similares<sup>5-8</sup>.

El hecho de que dos sistemas caóticos puedan sincronizarse ha sugerido aplicaciones novedosas, particularmente en el área de las comunicaciones privadas. En esta aplicación, la idea fundamental es transmitir una mezcla del mensaje y una señal proveniente de un sistema caótico. El mensaje original puede ser obtenido en el receptor, si éste es capaz de regenerar la señal caótica de enmascaramiento, mediante el proceso inverso de mezclado. Esto es posible si algún subsistema del transmisor puede sincronizarse con el receptor. En

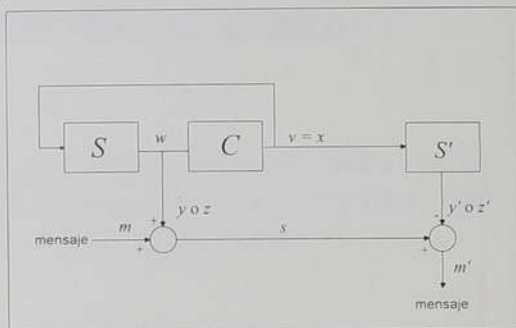


Figura 2. Esquema de comunicación caótico aditivo.

las secciones siguientes se describirá el fenómeno básico de sincronización, seguido de algunas aplicaciones en sistemas de comunicación.

## Caos sincronizado

Se dice que dos sistemas dinámicos se sincronizan cuando, al partir de condiciones iniciales diferentes, producen señales prácticamente idénticas después de un cierto tiempo (transitorio). Una clase particular de sistemas caóticos posee la propiedad de auto-sincronización. Un sistema caótico es auto-sincronizable si éste puede descomponerse en al menos dos subsistemas: un sistema de control y uno o varios subsistemas estables controlados por el primero, como se muestra en la figura 1. En esta figura, C-S constituye el sistema original, que se denomina "maestro", y S' es el sistema denominado "esclavo". S' es una réplica del subsistema S y se dice que ambos se sincronizan si  $\lim_{t \rightarrow \infty} (w(t) - w'(t)) = 0$  para condiciones iniciales diferentes  $w(0) \neq w'(0)$ . Esto es posible si el subsistema S es estable en algún sentido.

Para algunos de estos sistemas la habilidad para sincronizarse es robusta. Estas propiedades dan lugar a algunas aplicaciones en comunicaciones, donde la idea más simple consiste en sumar en el transmisor una señal caótica al mensaje, restar en el receptor dicha señal, y regenerada a través de la sincronización, para extraer la información.

Un sistema de comunicación operando con este principio aditivo y substractivo se ilustra en la figura 2.

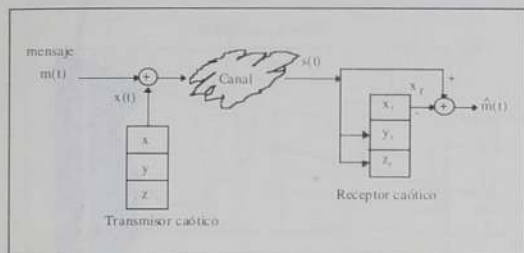


Figura 3. Esquema de comunicación caótica aditiva<sup>9</sup>.

En la figura,  $x$ ,  $y$  y  $z$  son las variables de algún sistema dinámico caótico con la propiedad de sincronización. La señal de sincronización es  $x$ , y sólo alguna de las variables  $y$  o  $z$  es utilizada para enmascarar el mensaje  $m$ , sumándole a éste dicha señal. En el receptor, la regeneración del encriptamiento  $y$  o  $z$  es posible gracias a que la habilidad del sistema para sincronizarse es robusta, esto es, no muy sensitiva a perturbaciones en la señal de control  $x$ . El mensaje  $m'$  se recupera substrayendo  $v$ , generada localmente, de la señal encriptada  $s$ .

En la figura 2 sería necesario transmitir dos señales a través del canal de comunicación: la señal de control  $v = x$  y la señal enmascarada  $s$ . Para subsanar esta dificultad se ha propuesto una variante a ese sistema<sup>4,9</sup>.

Cuomo y Oppenheim<sup>9</sup> utilizaron el sistema de Lorenz<sup>10</sup>, obtenido en el estudio de los fenómenos climatológicos. Este es un sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden

$$dx/dt = \sigma(y - x),$$

$$dy/dt = \gamma x - y - 20xz,$$

$$dz/dt = 5xy - bz,$$

donde  $x$ ,  $y$  y  $z$  son variables que dependen del tiempo, llamadas estados;  $\sigma$ ,  $\gamma$ , y  $b$  son constantes. Estos autores hicieron un cambio de variable al sistema original<sup>10</sup> con el objeto de mantener los intervalos dinámicos de  $x$ ,  $y$  y  $z$  dentro de límites prácticos. Este sistema puede descomponerse, de diversas maneras, en dos subsistemas acoplados,  $C$  y  $S$ , en el que uno de ellos es controlado por el otro, de forma que al interactuar juntos reconstruyen el sistema entero (figura 1). Las dife-

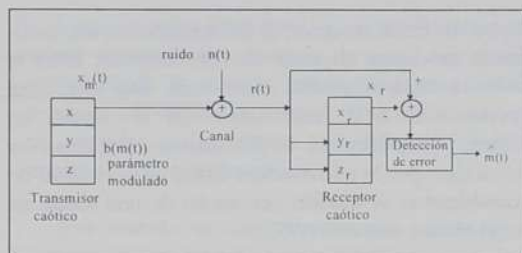


Figura 4. Esquema de modulación caótica.

rentes configuraciones corresponden a los estados  $v = x$ ,  $w = (y, z)$ ;  $v = y$ ,  $w = (x, z)$ ;  $v = z$ ,  $w = (x, y)$ ;  $v = (x, y)$ ,  $w = z$ ;  $v = (x, z)$ ,  $w = y$ ;  $v = (y, z)$ ,  $w = x$ . Todas estas configuraciones, excepto la tercera ( $v = z$ ) corresponden a subsistemas  $S$  estables<sup>7</sup>.

Para el transmisor, Cuomo y su equipo implementaron analógicamente el sistema de Lorenz por medio de amplificadores operacionales colocándolo en régimen caótico. El receptor es un sistema semejante, pero modificado a fin de usar la señal recibida y regenerar el comportamiento caótico de forma sincronizada con el del transmisor. En la figura 3 se muestra un diagrama a bloques del sistema.

En esta figura,  $x$ ,  $y$  y  $z$  son las variables del sistema de Lorenz generadas a partir de circuitos analógicos. Solo la variable  $x(t)$  es utilizada para enmascarar el mensaje  $m(t)$  por medio de la suma. Esta misma señal se utiliza como señal de control puesto que se asume que la potencia de  $m(t)$  es significativamente menor a la potencia de  $x(t)$ . De este modo, en el receptor la regeneración de  $x_r$  es posible gracias a que la habilidad del sistema para sincronizarse es robusta, esto es, no muy sensitiva a perturbaciones en la señal de control  $s(t)$ . El mensaje  $\hat{m}(t)$  se recupera substrayendo  $x_r(t)$  generada localmente de  $s(t)$ .

Este esquema ha sido utilizado por otros investigadores, pero usando un circuito caótico diferente, como publicaron Kocarev<sup>5</sup> y Dmitriev<sup>6</sup>, quienes utilizan el circuito propuesto por Chua.

Otra variante del uso de caos sincronizado fue también estudiada por Cuomo<sup>9</sup>. La idea básica es modular alguno de los coeficientes del transmisor con información digital y transmitir la señal caótica de control (ver

figura 4). En el receptor, la modulación de ese coeficiente producirá un error de sincronización entre la señal recibida y la señal regenerada. Este error será proporcional a la modulación. En el sistema de Cuomo, el parámetro  $b$  del sistema de Lorenz es modulado por la información digital  $m(t)$ ; el canal de comunicación se modeló por medio de una fuente de ruido blanco aditivo o AWGN.

En este sistema, la tasa de información máxima a transmitir dependerá de la velocidad con la que el circuito receptor pueda sincronizarse. Una de las principales desventajas al intentar usar caos sincronizado es el problema de hallar, instrumentar y calibrar circuitos caóticos con las propiedades de sincronía destacadas arriba. Otro punto es que la relación *señal a ruido* (SNR) de la señal recibida es degradada directamente por la relación *caos a señal*, la cual no debe ser demasiado pequeña a fin de permitir la sincronía. Además, según Frey<sup>11</sup>, algunas técnicas de filtrado adaptivo permitirían detectar la información inmersa dentro de la señal caótica a receptores no autorizados.

## Caos en comunicación multi-usuario

Otros autores han propuesto el uso de señales caóticas en sistemas de comunicaciones en un contexto diferente. Puesto que el comportamiento de un sistema caótico es altamente sensible a sus condiciones iniciales, es posible generar un gran número de señales determinísticas con apariencia aleatoria y no correlacionadas. Esta generación de señales caóticas se realiza más fácilmente en el contexto de sistemas discretos, sugerido por Heidari-Bateni<sup>12</sup> y Elmirghani y Cryan<sup>13</sup>.

Considérese un sistema dinámico discreto en el tiempo, definido por la ecuación de diferencias

$$x_{k+1} = f(x_k); \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

en donde  $x_k \in \mathbb{R}^n$  es el estado y  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  un mapeo que define el estado al instante  $k+1$  a partir del estado al instante presente  $k$ . A la secuencia  $x_k$  generada a partir de una condición inicial  $x_0$  se le llama órbita del sistema. Heidari-Bateni propone usar una secuencia

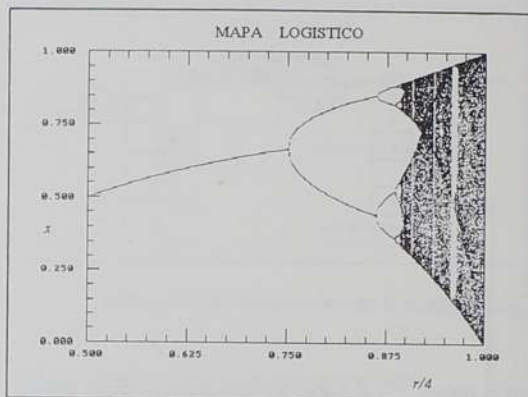


Figura 5. Diagrama de bifurcación del mapa logístico.

caótica de este tipo para encriptar información. En particular, él usa la ecuación de diferencias

$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n),$$

conocida como mapa logístico, para el cual  $0 < x_n \leq 1$ ,  $0 \leq r \leq 4$ , conociéndose a  $r$  como el parámetro de bifurcación. Esta expresión es la versión discreta normalizada de un modelo poblacional muy usado en biología. Dependiendo del valor del parámetro  $r$ , la dinámica de este sistema en estado estacionario puede cambiar dramáticamente, exhibiendo periodicidad o caos. Para el intervalo  $1 < r \leq r_c = 3.5699456\dots$ , la secuencia  $\{x_n\}$  es periódica con periodo  $2^m$ , para algún  $m = 0, 1, 2, \dots$ , mientras que para  $r_c < r \leq 4$ , la secuencia es en general aperiódica, con intervalos de comportamiento periódico. En la figura 5 se resume el comportamiento, en estado estacionario, de las iteraciones de este mapa, en función del parámetro  $r$ . A este diagrama se le llama diagrama de bifurcación, o de Feigenbaum.

En la figura 6 se ilustra el comportamiento caótico de este mismo sistema, para un valor del parámetro  $r$  igual a 4. Obsérvese cómo una pequeña diferencia en las condiciones iniciales genera secuencias que a corto plazo difieren significativamente una de la otra.

La aplicación propuesta<sup>12,13</sup> consiste en modificar el sistema

$$x_{n+1} = r_n x_n (1 - x_n)$$

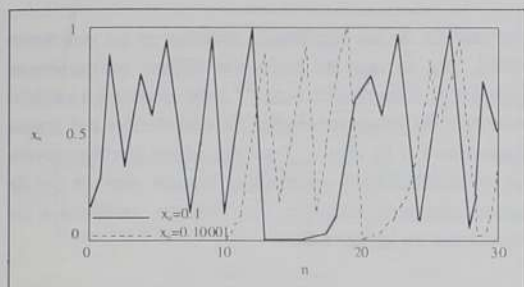


Figura 6. Órbitas generadas con el mapa logístico, para  $r = 4$  y condiciones iniciales muy cercanas (0.1 y 0.10001).

de acuerdo a la información a transmitir. Así,  $r_n$  podrá tener un valor si la información a transmitir es -1, mientras que tendría un valor diferente al anterior si el mensaje corresponde a un 1. La secuencia  $\{x_n\}$  se usaría entonces para modular la portadora. En el receptor, después de la demodulación, la secuencia  $\{r_n\}$  se recupera usando la fórmula inversa

$$r_n = x_{n+1}/(x_n(1 - x_n)),$$

la cual emplea dos valores consecutivos recibidos para recuperar  $r_n$ . Para obtener mejores resultados en presencia de ruido se propone enviar una secuencia de valores  $x_n$  por cada bit de información, promediándose los valores correspondientes de  $r_n$  para reducir el efecto del ruido.

Con el objeto de permitir la comunicación multi-usuario (un transmisor con varios receptores en cualquier instante de tiempo) se introduce otro parámetro  $b_i$  para distinguir los diferentes receptores, resultando la siguiente versión del mapa logístico:

$$x_{n+1}^i = r_n x_n^i (1 - b_i x_n^i),$$

donde  $0 \leq x_n^i \leq 1/b_i$ , y  $b_i$ , que puede tomar cualquier valor positivo, se asocia con el  $i$ -ésimo receptor. El mapeo inverso es

$$r_n = x_{n+1}^i / x_n^i (1 - b_i x_n^i).$$

Si un usuario  $i$  no autorizado interceptara el mensaje, el valor decodificado  $r_n'$  sería

$$r_n' = r_n (1 - b_i x_n^i) / (1 - b_i x_n').$$

Como puede observarse, el único usuario que puede reconocer el mensaje  $r_n$  es aquel con el valor apropiado de  $b_i$ , esto es, con la llave adecuada. En teoría, puede tenerse un número ilimitado de usuarios; sin embargo, en la práctica la interferencia limita el máximo número de receptores.

Este método de comunicación usa solamente un sistema caótico, generándose una señal transmitida de apariencia aleatoria. El análisis del sistema en un ambiente de red de fibra óptica pasiva, tal como lo hace Elmighani, muestra que el número de usuarios que puede atender es mayor que el que se logra usando secuencias pseudoaleatorias (llamadas secuencias PN).

Una mejoría de esta aplicación puede proveer al sistema de capacidad de acceso múltiple, en el cual varios transmisores se comunican simultáneamente con varios receptores. De esta manera, al compartir los recursos, se eficientiza el uso del espectro.

## Secuencias caóticas para espectro expandido

Los sistemas de radio comunicación están sujetos a desvanecimiento de la señal a una cierta frecuencia. El efecto de este fenómeno, conocido como desvanecimiento selectivo, puede reducirse mediante la utilización de señales con ancho de banda amplio.

Las secuencias pseudoaleatorias han sido utilizadas muy ampliamente en las comunicaciones de espectro expandido, en particular en CDMA (Code Division Multiple Access), que es una técnica de acceso múltiple que asocia a cada usuario un código o secuencia, al mismo tiempo que expande el espectro de frecuencia original de la señal. De esta forma, es posible transmitir simultáneamente varias señales en el mismo ancho de banda. Idealmente, las secuencias utilizadas para expandir el espectro deben tener una auto-correlación igual a la función impulso  $\delta(t)$  y una correlación cruzada con valor cero en todo tiempo. Las secuencias PN, generadas a partir de registros de desplazamiento, tienen buenas propiedades de autocorrelación; sin embargo, la correlación cruzada no es siempre la deseable. Por otra parte, existe un número limitado de este tipo de secuencias, lo cual limita el número de usuarios

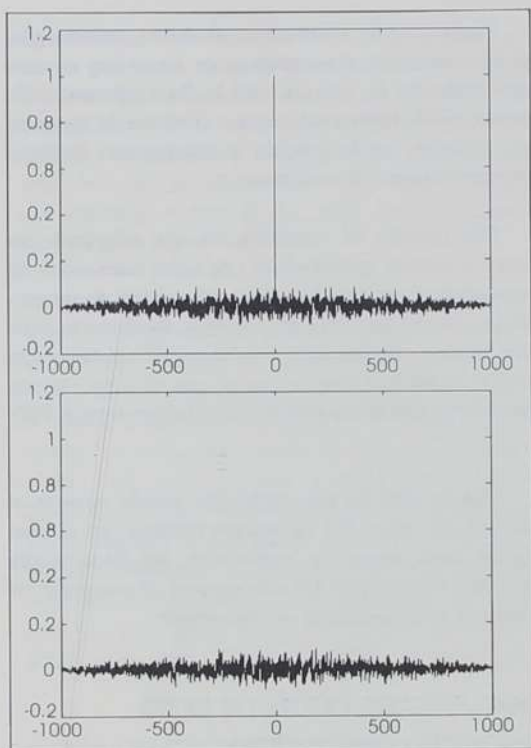


Figura 7. Autocorrelación y correlación cruzada de secuencias caóticas de longitud 1000.

simultáneos soportados por un sistema de espectro expandido.

Hiedari-Bateni<sup>14</sup> ha propuesto el uso de una clase de secuencias caóticas en los sistemas de espectro expandido. Estas secuencias son generadas usando mapas discretos con comportamiento caótico, como el mapa logístico descrito anteriormente. Aun cuando son completamente determinísticas, este tipo de secuencias tienen características similares a las del ruido aleatorio. Además, es posible generar, con mapas relativamente simples, un gran número de secuencias de longitud prácticamente ilimitada y baja correlación cruzada.

El mapa logístico en régimen caótico es utilizado por Heidari-Bateni, dadas sus propiedades adecuadas de autocorrelación, correlación cruzada y densidad espectral, las cuales son similares a las del ruido blanco. El análisis matemático de las propiedades de

correlación de las secuencias caóticas es un problema difícil, por lo que es frecuente utilizar herramientas numéricas. Este mismo autor<sup>15</sup> proporciona un estudio analítico de las propiedades de correlación del mapa logístico. En la figura 7 se muestran las funciones de autocorrelación y correlación cruzada para un par de secuencias generadas con este sistema, similares a las mostradas en la figura 6.

Teóricamente existe un número infinito de valores en el intervalo  $[0, 1]$  que pueden utilizarse como condiciones iniciales en el mapa logístico, por lo que se puede generar un número infinito de trayectorias caóticas diferentes. Sin embargo, debido a la precisión limitada de cualquier sistema digital, existe sólo un número finito de valores diferentes en este intervalo que pueden utilizarse como condiciones iniciales. En realidad, la precisión finita de cualquier sistema digital causa que la secuencia generada sea periódica, aunque para propósitos prácticos el periodo puede ser muy largo. Aun así, para cualquier sistema razonablemente preciso, existe un gran número de secuencias que pueden generarse. Conforme la precisión del sistema se incrementa, el número de secuencias diferentes que se pueden generar también se incrementa, así como su periodo.

En la figura 8 se muestra un esquema<sup>14</sup> utilizado para generar las secuencias que reemplazarían las secuencias PN convencionales en un sistema CDMA. Este método incrementa el periodo de las órbitas generadas y previene errores de propagación en las secuencias de código. En esta figura se supone que el transmisor y el receptor conocen el estado inicial  $x_{00}$ , así como los mapas  $C_1(x, r_1)$  y  $C_2(x, r_2)$ , con sus respectivos parámetros  $r_1$  y  $r_2$ . Los mapas caóticos y sus parámetros de bifurcación pueden o no ser los mismos, y no es necesario que sean únicos para cada par transmisor-receptor. Es suficiente que  $x_{00}$  sea único, para cada par, para que las secuencias resultantes sean distintas. Sin embargo, cuando se utilizan diferentes mapas y/o parámetros de bifurcación se tiene un mayor grado de no-correlación entre las secuencias generadas por los diferentes transmisores en este esquema de acceso múltiple.

Mediante una condición inicial  $x_{00}$  se inicia una secuencia caótica  $X_0 = \{x_{n0} : n = 0, 1, 2, \dots\}$  en el sistema dado por  $C_1(x, r_1)$ . Los elementos de esta

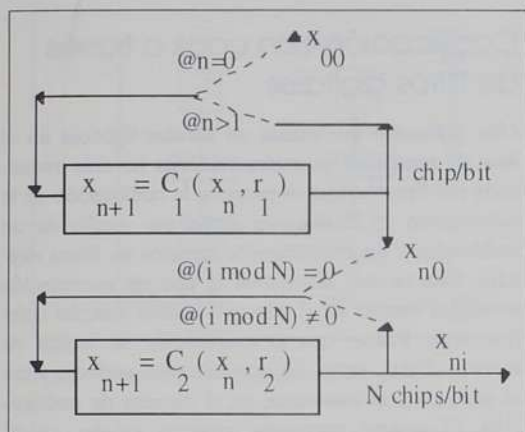


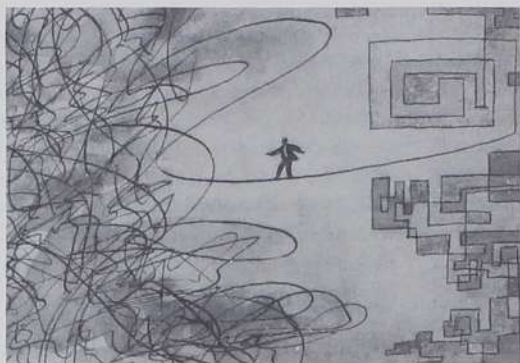
Figura 8. Diagrama de bloques para la generación de secuencias caóticas en un sistema de espectro expandido.

secuencia se usan para generar otras secuencias  $S_n = \{x_{ni} : i = 0, 1, 2, \dots, n = 0, 1, 2, \dots\}$ , generadas por el sistema  $C_2(x, r_2)$ . Las secuencias  $S_n$  así obtenidas se utilizan para expandir el espectro de la secuencia de bits  $b_n$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Esta secuencia cambia de un bit al siguiente.

El receptor regenera las secuencias  $S_n$  exactamente de la misma forma en que lo hace el transmisor. Los diferentes receptores tienen asignadas diferentes condiciones iniciales  $x_{00}$ , mapeos  $C_1$ ,  $C_2$ , o parámetros  $r_1$ ,  $r_2$ , y por ello las secuencias resultantes para los distintos receptores son completamente diferentes y con una correlación pequeña. Debido a que existe un gran número de condiciones iniciales, parámetros de bifurcación y mapas caóticos a escoger, teóricamente no existen limitaciones en el número de usuarios. No obstante, en la práctica, debido a la precisión limitada de los dispositivos electrónicos digitales, se tendrá un límite máximo en el número de secuencias obtenidas y, en consecuencia, de usuarios. En este sistema, la modulación y detección de la secuencia de datos sería igual a la utilizada en el sistema convencional de espectro expandido directamente por secuencia (DS/SS). Esta detección está basada en correlacionar la señal recibida con la secuencia caótica del receptor. La sincronización del transmisor y del receptor puede ser lograda de varias maneras: desde tener una base de tiempo de referencia hasta la transmisión periódica de secuencias de sincronización predefinidas.

Se conocen las pruebas numéricas<sup>14</sup> del desempeño de este esquema observando el error producido. Se compara un sistema como el descrito previamente, basado en un par de mapas logísticos con valores de sus parámetros  $r_1 = r_2 = 4$ , con un esquema tradicional basado en secuencias PN. Dado que las propiedades de correlación de ambos tipos de secuencias son similares y el proceso de detección depende principalmente de estas propiedades, se esperaba que no hubiese diferencias significativas en la magnitud de los errores. Los resultados de las simulaciones muestran que, conforme el número de usuarios en el sistema aumenta, la razón de error por bit (BER, *Bit Error Rate*) del sistema basado en secuencias caóticas se aproxima al basado en secuencias PN. Sin embargo, en general el desempeño en el sistema convencional fue ligeramente mejor al del sistema basado en mapas logísticos. Por otra parte, Heidari-Bateni hace notar que, dada la naturaleza binaria de las secuencias PN, los sistemas basados en este tipo de señales son fácilmente detectables, aunque no necesariamente se logra siempre su interpretación. La detección puede lograrse mediante alguna técnica de regeneración de portadora en la que se eleve al cuadrado la señal recibida. En este caso, es posible demodular la señal mediante el término del doble de frecuencia resultante o segunda armónica y así detectar la señal. En cambio, el sistema que utiliza señales caóticas no es fácil de interceptar por este método, puesto que estas señales no son binarias y pueden tomar cualquier valor en el intervalo  $[-1, 1]$ . En consecuencia, al elevar al cuadrado la señal no se deja expuesta la portadora, permitiendo que la comunicación se mantenga sin ser detectada mientras se transmite el mensaje.

Debido a las no linealidades incorporadas en la generación de las secuencias caóticas, la tarea de descifrar el mensaje transmitido sería muy difícil para un receptor no autorizado. Aun cuando éste conociese los mapas  $C_1(x, r_1)$  y  $C_2(x, r_2)$  y sus correspondientes parámetros de bifurcación, necesitaría el valor exacto del estado inicial. De otro modo, la secuencia generada sería completamente diferente a la requerida, aun con valores muy cercanos a la verdadera condición inicial. Dado que el desempeño del sistema en términos del BER resultó ser similar al de los sistemas PN DS/SS, es razonable entonces considerar su uso en comunicaciones de acceso múltiple, con la ventaja de que el uso de



## Codificación con caos a través de filtros digitales

Otra aplicación interesante de señales caóticas en el área de seguridad en comunicaciones ha sido investigada por Frey<sup>11</sup>. Aquí se propone la codificación de la información en el dominio digital por medio de un codificador y un decodificador basados en filtros digitales. Esta es una alternativa al tipo de encriptación analógica basada en el principio aditivo descrita anteriormente. Puesto que la codificación se realiza de manera digital, existe un acoplamiento perfecto entre el receptor y el transmisor en el aspecto de codificación. El sistema propuesto produce señales prácticamente sin correlación con la señal de entrada, además de que son sustancialmente caóticas. El hecho de que los filtros digitales puedan generar señales caóticas ha sido demostrado por Chua y Lin<sup>18</sup>. Ellos mostraron que la no-linealidad presente en el sobreflujo origina un comportamiento caótico. Aparentemente este comportamiento se conserva aún en el caso real de longitud finita de palabra. Este hecho es importante, puesto que se suponía que todos los filtros digitales con precisión finita deben poseer respuestas periódicas únicamente, excluyendo así la posibilidad de caos. Aun así, los resultados<sup>18</sup> muestran que los filtros digitales prácticos pueden presentar fácilmente comportamiento caótico.

Es factible describir<sup>11</sup> el comportamiento "cuasi-caótico" que es posible tener en filtros digitales con precisión finita. Las propiedades de tal comportamiento son las mismas que las de un sistema caótico, pero no se cumplen en el 100% de los casos ni es posible una verificación completa para un sistema dado. El codificador del sistema caótico descrito aquí, mostrado en la figura 9, posee características "cuasi-caóticas"<sup>11</sup>. El decodificador es el sistema inverso que decodifica exactamente los datos codificados. La naturaleza caótica del codificador se determinó mediante experimentos numéricos, verificando las propiedades "cuasi-caóticas". El codificador usa la función "rotación a la izquierda" (LCIRC) para generar su dinámica caótica y se puede describir por las siguientes ecuaciones:

$$e(n) = u(n) + \{e(n-1) + f(e(n-2))\},$$

$$y(n) = e(n) - \{e(n-1) + f(e(n-2))\},$$

secuencias caóticas disminuiría la probabilidad de intercepción del mensaje.

Por otro lado, más recientemente Kohda y Tsuneda<sup>16</sup> estudiaron el tipo de secuencias caóticas generadas por el mapa de Chebyshev de grado  $k$ , definido por

$$x_{n+1} = \cos(k \arccos(x_n)),$$

para el cual propone el uso de la técnica "promedio en ensamble" para evaluar las funciones de correlación. El promedio de ensamble es también el promedio estadístico o promedio sobre las variables aleatorias para un proceso estocástico. Aquí se considera que una secuencia caótica es estocástica. Esta técnica se basa en estimar el promedio en ensamble calculando el promedio en el tiempo para un tiempo grande y a partir de ahí evaluar las estadísticas del caos. En artículos previos Kohda y Tsuneda presentan métodos para obtener secuencias caóticas binarias y evaluar analíticamente las funciones de correlación basándose en esta técnica<sup>17</sup>. En su estudio, Kohda y Tsuneda evalúan las funciones de correlación de las secuencias de bits generadas por el mapa de Chebyshev, encontrándose que las propiedades de tales funciones son adecuadas para longitudes de secuencia y grados del mapa suficientemente grandes. Sin embargo, en general, las propiedades de correlación de las secuencias de Chebyshev no resultaron tan buenas como las de las secuencias de Gold, las cuales son un tipo de secuencias PN. Aun así, se concluye<sup>16</sup> que las secuencias evaluadas podrían reemplazar a las secuencias PN en CDMA, debido a que las primeras poseen varios parámetros cuyas variaciones producen una gran cantidad de secuencias distintas.

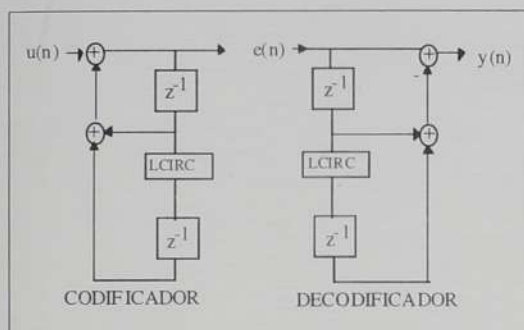


Figura 9. Codificador-Decodificador caótico.

en donde  $f()$  es la función "rotación a la izquierda". La operación "rotación a la izquierda" desplaza una posición hacia la izquierda todos los bits contenidos en un registro, e introduce en la posición de la extrema derecha el bit de la extrema izquierda de la palabra previa del registro. Como se esperaba, la dinámica depende directamente de la longitud de palabra. Frey utilizó 8 bits y comprobó cualitativamente las propiedades de autocorrelación y densidad espectral, ésta última por medio de la transformada discreta de Fourier (DFT), para diferentes secuencias de entrada y estados iniciales. En todos los casos la secuencia fue reconstruida exactamente por el decodificador, dado por el sistema inverso exacto.

Frey hace además un análisis matemático del sistema basado en las propiedades especiales del operador módulo. Mediante este análisis no se comprobó que el codificador poseyera propiedades "cuasi-caóticas", pero sí se mostró que es inestable para prácticamente cualquier tipo de entrada y que la función "rotación a la izquierda" es la que provee el equivalente a una secuencia de ruido. Esta última depende de una forma altamente compleja de la entrada y del estado inicial del filtro. Se concluye<sup>11</sup> que las ventajas de este método son su relativamente fácil implementación y su comportamiento altamente complejo, lo que lo hacen un buen candidato para usarse en aplicaciones de comunicaciones seguras.

## Conclusiones

Las técnicas de encriptamiento de información mediante señales caóticas descritas en este artículo son re-

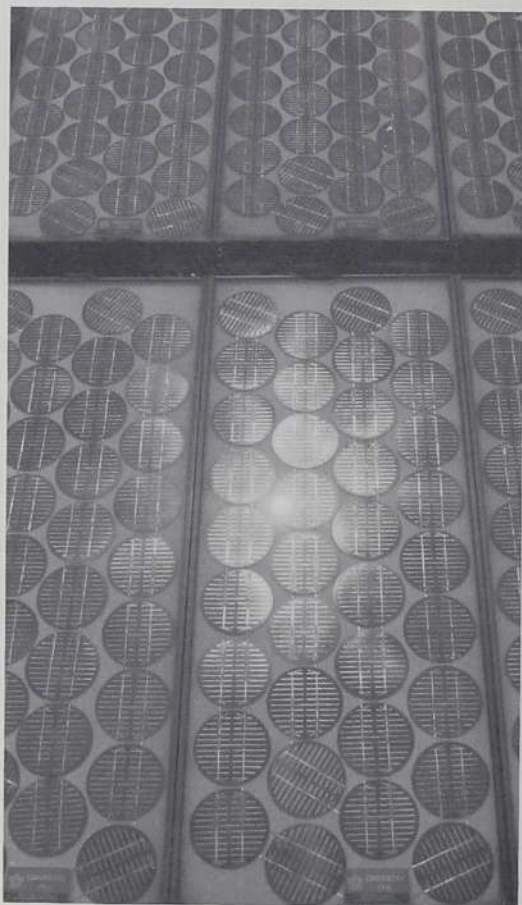
lativamente recientes, por lo que no es posible aún concluir sobre la factibilidad real de aplicación en sistemas de comunicación. Constituyen, sin embargo, una idea novedosa sobre la aplicación del caos en un problema importante de ingeniería. La existencia de regímenes caóticos en los sistemas dinámicos era una situación que trataba de evitarse, o simplemente se ignoraba. Hoy, sin embargo, está visto que aun este aparente desorden que exhiben algunos sistemas puede ser aprovechado en varias áreas de la ingeniería y de la ciencia, convirtiéndose en una potencial herramienta práctica. El desarrollo de las aplicaciones de la teoría de caos aún está en su fase inicial y seguramente continuará en los próximos años. En el área de las comunicaciones el caos abre novedosas perspectivas y representa un campo fértil que definirá nuevas e interesantes líneas de investigación.



## Notas

1. Stewart, *¿Juega Dios a los dados? La nueva matemática del caos* (RBA Editores, 1994).
2. Y.S. Tang A.I. Mees, y L. O. Chua, *IEEE Trans. Circuits Syst.* **30**, 620 (1983).
3. Carroll y L.M. Pecora, *IEEE Trans. Circuits Syst.* **38**, 453 (1991).
4. Cuomo y A. V. Oppenheim, *Proc. IEEE ICASSP* (marzo 1993).
5. Kocarev, K. Halle, K. Eckert y L. Chua, *Int. J. Bifurcation and Chaos* **2**, 709 (1992).
6. Dmitriev, A. I. Panas y S. O. Starkov, *Int. J. Bifurcation and Chaos* **5**, 1249 (1995).
7. Alvarez, *Nonlinear Dynamics* **10**, 89 (1996).
8. Castañeda, tesis de maestría en ciencias, CICESE (noviembre, 1996).
9. Cuomo, A. V. Oppenheim y Steven H. Strogatz, *IEEE Trans. on Circ. and Syst. II* **40**, 626 (1993).
10. E. N. Lorenz, *Journal of the Atmosph. Sci.* **20**, 130, (1963). En esta referencia propuso el modelo que lleva su nombre al estudiar un fenómeno de corrección en la atmósfera.

11. Frey, *IEEE Trans. Circ. and Syst.* **40**, 660 (1993).
12. Heidari-Bateni, C. D. McGillen y M. F. Tenorio, *Proc. IEESUPERCOMM/ICC '92* (junio 1992).
13. H. Elmirghani y R. A. Cryan, *IEE ECSP* (Digest 1994/143, junio 1994).
14. Heidari-Bateni, C. D. McGillen, 1992 *IEEE ICSTWC*, 437 (1992).
15. Heidari-Bateni, tesis doctoral, Purdue University (diciembre 1992).
16. Kohda y A. Tsuneda, *IEEE ISSSTA '94*, **2**, 391 (1994).
17. Kohda y A. Tsuneda, *Proc. IEEE ISIT '94* (1994).
18. Chua y T. Lin, *IEEE Trans. Circ. Syst.* **35**, 648 (1988).



# Agujeros negros y ondas gravitacionales

Nora Bretón

**N**unca como ahora se ha tenido acceso a tan gran cantidad de datos observacionales de nuestro universo. Espectroscopía de estrellas, radioastronomía, detección de rayos X cósmicos, medición de abundancia de elementos en el universo, todo ello conforma un rico panorama de cómo es el espacio exterior.

Hablar de agujeros negros y ondas gravitacionales era cosa de ciencia ficción hace veinte años. Actualmente, en los congresos de cosmología y relatividad, éstos son temas corrientes y muy seriamente se buscan nuevos indicios observacionales.

El primero que predijo la existencia de un agujero negro fue Simón Laplace en su tratado *El Sistema del Mundo* publicado en 1793<sup>1</sup>. Su razonamiento fue el siguiente: la Tierra atrae a los cuerpos pero éstos pueden escapar de su atracción si se les arroja hacia arriba con gran impulso; es decir, si tienen una velocidad hacia arriba mayor a la llamada velocidad de escape, por ejemplo, como las naves que se han enviado al espacio exterior. A mayor masa del planeta, la velocidad necesaria para escapar de su atracción debe ser mayor. Llevando esta situación al límite, es posible imaginar un cuerpo supermasivo que pueda atraer los objetos a su alrededor con tal fuerza que ni siquiera los rayos de luz escaparían de su influencia.

La Dra. Nora Bretón es investigadora titular del Departamento de Física del Cinvestav.



## Vida y muerte de las estrellas

Estudiando la vida de las estrellas también se llega a la conclusión de que tales objetos deben existir<sup>2</sup>. En efecto, las estrellas tienen un nacimiento, niñez, edad adulta, vejez y muerte. Los astrónomos pueden clasificar a las estrellas a través del análisis de la luz que percibimos. Mediante técnicas de espectroscopía la luz se descompone en sus constituyentes y es posible saber de qué tipo de elementos están formadas las estrellas. Las diferencias que existen entre ellas se deben a sus diferentes masas y a las distintas etapas de evolución en que se encuentran.

Cuando una nube de gas empieza a contraerse debido a la atracción gravitacional de las partículas que la forman, eventualmente se constituye un núcleo de alta densidad en el cual las presiones originan reacciones químicas entre los elementos presentes. Este es el nacimiento de una estrella.

Durante su infancia las estrellas se estabilizan y entran en un largo período de madurez (llamado secuencia principal). Nuestro Sol se encuentra en esta etapa y han transcurrido 4500 millones de años desde la formación del Sistema Solar. En esta etapa las estrellas producen luz y calor de manera estable, no hay cam-

bios bruscos de temperatura. Este hecho ha permitido la existencia de vida en nuestro planeta.

A medida que las estrellas consumen el combustible nuclear del que están formadas, elementos ligeros como hidrógeno y helio, por medio de procesos de fusión termonuclear, dan paso a la formación de elementos más pesados con la consiguiente liberación de energía.

La vejez y muerte de una estrella ocurre de distinta manera dependiendo de cuánta masa tenga. Si su masa es menor a seis veces la masa del Sol, la estrella se transforma en una gigante roja. Su diámetro crece hasta hacerse cientos de veces mayor al que tenía en su etapa estable. La energía que despidе es cada vez menor y su luz se va haciendo roja.

Dentro de 4 500 millones de años nuestro Sol será una gigante roja y su diámetro abarcará gran parte de lo que ahora es el sistema solar. Nuestro planeta será "absorbido" por el Sol. Cuando la estrella ha agotado gran parte de su combustible nuclear, la presión generada por las reacciones en su interior resulta insuficiente para compensar la atracción gravitacional. Entonces las capas externas son atraídas hacia el centro de la estrella. La materia que forma la estrella colapsa hacia el centro mientras la estrella va enfriándose y su luz extinguiéndose poco a poco. Las estrellas en esta etapa terminal se denominan enanas blancas.

Si su masa es mayor a seis masas solares pero menor que treinta masas solares, entonces las fuerzas gravitacionales son muy fuertes y el proceso de colapso o implosión ocurre de manera violenta. Esto crea en el interior de la estrella presiones muy elevadas que fusionan protones y electrones para formar neutrones, liberándose energía y ocasionando que las capas externas se expandan mientras el núcleo continúa su colapso. Estas violentas explosiones son conocidas como supernovas. Cuando el núcleo logra estabilizarse, y recordemos que ya está constituido por neutrones, forma lo que se conoce como estrella de neutrones o pulsar. Dichas estrellas rotan muy rápidamente y son detectadas por las ondas de radio que emiten. Fueron descubiertas en 1967 por los astrónomos británicos Bell y Hewish. En la actualidad se conocen alrededor de 350 pulsares.

## Agujeros negros

Si la masa de la estrella es mayor a treinta masas solares, su núcleo continúa colapsándose más allá de la etapa de neutrones hasta formar un hoyo o agujero negro. Para tener una idea de la densidad que tienen estos objetos tendríamos que imaginar que toda la masa de la Tierra se concentrara en el volumen de una esferita con un radio de 0.9 cm; este radio crítico depende de la masa del cuerpo y se llama radio de Schwarzschild. El agujero negro está rodeado de un "horizonte", que es como una superficie que lo envuelve, más allá de la cual no podemos obtener información. Es decir, si enviásemos una señal de luz hacia el agujero, jamás veríamos que llega. Ni tampoco es posible recibir ninguna señal emitida desde dentro del agujero negro. Por su propia naturaleza es pues imposible observar directamente un agujero negro, de ahí su nombre. Sin embargo, al ser objetos muy masivos, producen a su alrededor fuertes efectos gravitacionales que sí podemos observar. Puede ocurrir, por ejemplo, que una estrella orbite alrededor del agujero negro. De hecho, se observan estrellas que giran alrededor de una compañera invisible. Se piensa que estos sistemas son estrellas binarias en los cuales una de sus componentes es un hoyo negro. Por otra parte, cuando una estrella está cerca de un agujero negro, éste atrae las capas gaseosas más exteriores de la estrella. En este tránsito de materia hacia el agujero negro, los gases sufren un calentamiento enorme que hace que emitan rayos X. Estos rayos X son precisamente los que se detectan. A este fenómeno se le llama acreción de materia que forma una cauda de rayos X.

Los astrofísicos han calculado que la acreción en un agujero negro puede ser un mecanismo para generar energía más eficiente que la fusión nuclear. A diferencia de la luz visible de las estrellas, los rayos X de origen cósmico no pueden llegar a la superficie de la Tierra porque son absorbidos por la atmósfera terrestre. La forma de detectarlos es por medio de telescopios espaciales colocados en satélites artificiales que giran encima de la atmósfera terrestre. De esta forma se han detectado algunos sistemas binarios que emiten rayos X, en los cuales una componente es invisible. Por mediciones indirectas los astrónomos calculan la masa de esta compañera invisible. En algunos casos dicha masa es mucho mayor que la que correspondería a una estrella de neutrones. Este es el caso del sistema

binario Cignus X-1, el cual es un fuerte candidato a hoyo negro.

Por otra parte, ocurren fenómenos en el centro de algunas galaxias que no están bien entendidos. Las regiones centrales de algunas de ellas emiten muchísima energía en forma de chorros de gas. Estas eyecciones no se pueden explicar suponiendo que hay millones o billones de estrellas en el centro de estas galaxias porque se trata de regiones en las que no cabrían tantas estrellas. Además, nubes gaseosas rotan alrededor del centro de las galaxias a grandes velocidades, de forma tal que si no fueran fuertemente atraídas hacia el centro, se desbaratarían. ¿Existe ahí un hoyo negro supermasivo? Este hoyo negro estaría "tragando" al gas a su alrededor, el cual antes de caer al hoyo se calentaría de tal forma que emitiría energía en forma violenta y estos serían los chorros de energía que se observan.

## Ondas gravitacionales

En cuanto a las ondas gravitacionales, aunque teóricamente fueron predichas en 1916, recién formulada la Teoría General de la Relatividad, este tema fue considerado hasta hace algunos años algo más bien exótico en la teoría, ajeno a la realidad. En los años 60 tuvo cierta efervescencia la detección de dichas ondas y se instrumentaron algunos arreglos observacionales. Se esperaba que enormes cilindros de aluminio respondieran en resonancia con las ondas gravitacionales, proporcionando así evidencia experimental de las ondas. Desafortunadamente sólo un evento de este tipo parece haber sido registrado, por lo que el tema fue relegado por algunos años. El problema con la detección de las ondas gravitacionales es que son muy débiles y para observarlas hace falta contar con aparatos de una precisión aún no alcanzada. Sin embargo, recientemente nuevos arreglos con tecnología más sofisticada se están diseñando para realizar una detección directa de radiación gravitacional. Por medio de interferómetros enormes, localizados tanto en la superficie terrestre como en satélites artificiales, tal vez será posible detectarlas. Un interferómetro es un arreglo experimental que permite detectar la diferencia de fase entre rayos de luz (en este caso de radiación gravitacional) que viajan en direcciones perpendiculares. Los grupos de trabajo más famosos y que desarrollan



proyectos internacionales para detectar directamente las ondas gravitacionales son VIRGO, LISA y LIGO.

Aunque la observación directa de ondas gravitacionales no ha sido exitosa, su observación indirecta es un hecho. De manera análoga al caso del campo electromagnético en que se produce radiación al existir cargas en movimiento, una masa acelerada o rotando debe producir radiación gravitacional. El problema es que para que dicha radiación se detecte, la masa que es fuente de radiación debe ser muy grande. Nuestro universo es un inmenso laboratorio observacional en el que tales masas enormes en efecto existen y las podemos observar. Concretamente, en sistemas binarios en los cuales una estrella orbita alrededor de la otra, al estar girando la primera pierde energía en forma de radiación gravitacional. Esto hace que su período de rotación alrededor de la otra disminuya con el tiempo. En particular el sistema binario formado por el pulsar PRS 1913+16 y otra estrella ha estado siendo observado en el Observatorio de Arecibo (Puerto Rico) desde hace veinte años<sup>4</sup>. Las mediciones muy precisas que se han hecho del período de rotación de este sistema binario les valió el Premio Nobel de Física

1993 a los astrónomos Joseph Taylor y Russel Hulse. La disminución en el período de rotación que se ha medido concuerda casi exactamente con el valor teórico si se supone que la energía se pierde en forma de radiación gravitacional. Esto constituye pues una comprobación indirecta de la existencia de ondas gravitatorias.

## Paradojas y soluciones exactas

Paradójicamente, nos encontramos en una era de cosmología de alta precisión pero no existe la contraparte teórica que ayude a explicar todo lo que se observa. Esto se debe a la complejidad que entraña toda situación real, la cual queda determinada por multitud de factores. En este momento, los modelos existentes para explicar la evolución de galaxias y estrellas están en conflicto con algunas observaciones; por ejemplo, con la abundancia de un isótopo del Helio,  $^3\text{He}$ . Asimismo, observaciones de rayos cósmicos de alta energía provenientes de pulsares requieren de un modelo de pulsares más complejo que el existente. Además, algunas cuestiones cosmológicas, como la

existencia de estructuras a gran escala, demandan también nuevos modelos. De hecho, no existe un modelo del Sol acorde con las emisiones observadas de neutrinos solares. Para remediar esta situación son necesarios nuevos modelos en los que la física de partículas elementales y la cosmología tomen parte y se complementen. Las respuestas nos darán indicios de cómo se formó nuestro universo. Ambiciosamente, los físicos pretendemos explicar la evolución del universo desde el mero principio, desde que se inició el tiempo. ¿Estaremos invadiendo acaso los dominios reservados a la ciencia ficción?

Hasta ahora la mejor herramienta teórica para conocer nuestro universo a gran escala es la Teoría General de la Relatividad formulada por Albert Einstein en 1915. En el Departamento de Física del Cinvestav existe un grupo de investigación cuyo objetivo, en lenguaje técnico, es encontrar soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein. Con estas soluciones se trata de representar de manera más realista algunos objetos astronómicos como pulsares, sistemas binarios, sistemas de agujeros negros en campos electromagnéticos, etc. Con ello pretendemos obtener mejores modelos de los astros, mediante los cuales se expliquen algunos de los efectos observados y se hagan nuevas predicciones.

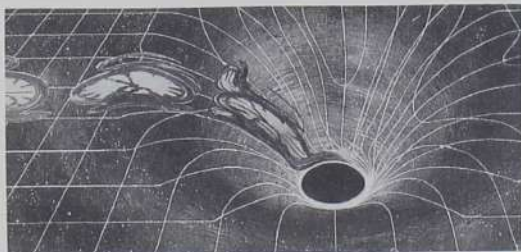
El siglo XX que agoniza ha registrado el mayor desarrollo tecnológico en la historia de la humanidad. La bola de cristal, coches tirados por caballos fantasma, el

viaje a la Luna, agujeros negros y otras fantasías al estilo Julio Verne se han venido confundiendo lentamente con la realidad. En todo este tiempo la ciencia y la tecnología no han hecho sino aminorar la distancia que las separa de la ciencia ficción.



## Notas

1. S. Hacyan, *Los Hoyos Negros y la Curvatura del Espacio-Tiempo*, Colección "La Ciencia desde México", num. 50 (SEP/FCE, México, 1990).
2. L. F. Rodríguez, *Un Universo en Expansión*, Colección "La Ciencia desde México", num. 1 (SEP/FCE, México, 1987).
3. S. W. Hawking, *Historia del Tiempo, del Big Bang a los Agujeros Negros*, (Ed. Crítica, Grijalbo, 1988).
4. N. Bretón, La Relatividad General como herramienta de alta precisión astronómica, *Avance y Perspectiva* **13**, 23, (1994).



# CIC '97

## Simposium Internacional de Computación

*Nuevas Aplicaciones e Innovaciones  
Tecnológicas en Computación*

12-13 y 14 de noviembre de 1997.

### **Áreas de Interés**

Agentes  
Algoritmos genéticos  
Arquitectura de computadoras  
Automatización y tiempo real  
Bases de datos  
CAD / CAM / CAE / geoprocesamiento  
Computación en la educación  
Ingeniería de software  
Inteligencia artificial  
Lenguajes de programación  
Multimedia  
Paralelismo  
Procesamiento de imágenes  
Procesamiento de textos  
Realidad virtual  
Reconocimiento de patrones  
Redes y conectividad  
Sistemas digitales  
Sistemas distribuidos  
Sistemas operativos  
Supercómputo y visualización

**Sede:** Instituto Politécnico Nacional  
Auditorio B Manuel Moreno Torres  
Centro Cultural Jaime Torres Bodet  
Av. Wilfrido Massieu s/n  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos  
Zacatenco, México, D.F.

### **Informes:**

Subdirección de Vinculación  
Ing. Pedro Galicia Galicia  
Lic. Luis Hernández Lara  
Tel. 729 6000  
Ext. 56500, 56502 y 56539  
Fax Ext. 56608  
Apartado Postal 75-476

Av. Juan de Dios Bátiz  
esq. con Miguel Othón de Mendizábal  
Unidad Profesional Adolfo López Mateos  
México, D.F., C.P. 07738

email: cic@vmredipn.ipn.mx  
cicrelp@vmredipn.ipn.mx  
web: http://www.cic.ipn.mx

# Enfermedad de Chagas: un problema vigente de salud

**Ricardo Pérez**

## Endemia americana

El descubrimiento de la Tripanosomiasis americana, del parásito, de su transmisor y de las principales manifestaciones clínicas de la enfermedad en el hombre, se deben al talento, la eficiencia y la extraordinaria intuición de un solo investigador: el Dr. Carlos Chagas en 1909. Este médico brasileño indudablemente era un hombre excepcional dado que sus dotes naturales, su educación, su laboriosidad y su profundo conocimiento de la vida rural y de la gente de campo de Brasil, sumados a su observación perspicaz y su riguroso sentido de la ciencia lo llevaron, tan solo a los 29 años de edad, a desenmascarar la enfermedad que lleva su nombre. Por ello, gran parte del historial de la enfermedad está ligado a la vida de su descubridor quien, con tenacidad, metodología y honestidad científica, se constituyó en un investigador único en la ciencia mundial al describir el agente patógeno antes que la enfermedad.

La enfermedad de Chagas es una de las principales endemias del continente americano. Producida por el protozooario *Trypanosoma cruzi*, se caracteriza por un conjunto de signos y síntomas que se presentan en tres etapas — aguda, indeterminada y crónica—. Destaca en particular esta última, que representa el aspecto interesante de la enfermedad, debido a que se manifiesta principalmente en individuos adultos jóvenes en etapa productiva. Esta enfermedad se encuentra, por su importancia entre las entidades contempladas por la Or-

El M.C. Ricardo Pérez es estudiante del programa de doctorado del Departamento de Patología Experimental. Este trabajo recibió el Premio Rosenkranz (1996).



ganización Mundial de la Salud (OMS) dentro del programa de Apoyo a la Investigación en Enfermedades Tropicales (TDR)<sup>1</sup>. La infección humana ocurre solamente en el continente americano, y se encuentra ampliamente distribuida en las zonas rurales y periurbanas de las ciudades tropicales y subtropicales. Se extiende aproximadamente de los 42.5° latitud norte a los 43.5° latitud sur, de México a Argentina y Chile. Estimaciones efectuadas por la OMS/OPS en 1992, basadas en los estudios seroepidemiológicos realizados en América Latina, indicaban una prevalencia global de 16-28 millones de individuos infectados con *T. cruzi* y al menos 90 millones de personas se encontraban en riesgo de contraer la infección<sup>2</sup>.

En México, aun cuando se ha demostrado la presencia de los transmisores de esta entidad en casi todo el territorio nacional, y a pesar de que en una alta proporción se encuentran infectados con *T. cruzi* y cada vez se reconocen más casos de la enfermedad en humanos, no existe un cuadro claro de su prevalencia. Por muchos años, se consideró que no representaba un problema importante y los aislados de *T. cruzi* obtenidos de reservorios y transmisores en los estudios comunitarios realizados no eran patógenos para los hospederos humanos residentes en esas áreas. Además, el diagnóstico de pacientes en fase aguda suele confundirse con el de otras entidades infecciosas febriles, o

bien los datos específicos como el signo de Romaña, chagoma de inoculación (inflamación en el sitio de la picadura por el transmisor), o el infarto ganglionar (crecimiento de ganglios), tienden a presentarse en un lapso de tiempo breve y no son reconocidos por el médico rural, sobre todo si no es contemplada esta entidad en su formación clínica. Una de las particularidades de la infección por *T. cruzi* en hospederos humanos es la ausencia, en las fases indeterminada y crónica, de manifestaciones clínicas de la enfermedad en aproximadamente el 70% de los casos, lo que origina una subestimación de la prevalencia e incidencia de la enfermedad<sup>3</sup>.

Los resultados de la Encuesta Serológica Nacional (1987), que emplea como valores de corte en la prueba de Hemaglutinación (HA) de 1:32, la sitúa<sup>4</sup> en un 1.2%. Sin embargo, estudios efectuados en áreas rurales y zonas con condiciones socioeconómicas y ecológicas adecuadas para la presencia de los factores involucrados en la enfermedad demuestran una seroprevalencia que va del 10 al 85%, predominando comunidades de los estados de Nayarit, Jalisco, Nuevo León, Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Querétaro y Zacatecas. Destaca el estudio heterodémico realizado en el Instituto Nacional de Cardiología del Distrito Federal que atiende a una población nacional abierta no dependiente de la seguridad social, que registra un 2.5% como diagnóstico de ingreso y un importante 40% en cardiopatía dilatada asociada a casos de miocardiopatía chagásica.

Sin embargo, se requiere de diseños epidemiológicos clínicos que permitan el análisis de los factores causales asociados al desarrollo de las diferentes variedades clínicas de la enfermedad en las diferentes poblaciones homodémicas y heterodémicas.

## Transmisión

Esta enfermedad puede ser transmitida al hombre por: transfusión sanguínea, por vía oral al desollar animales silvestres o ingerirlos semicrudos, por vía transplacentaria y por conducto de la leche materna; por trasplante de órganos y por inoculación accidental en el laboratorio y en forma natural, la más importante, por insectos hematófagos que se encuentran ubicados taxonómicamente como perteneciente a la familia *Re-*



*duvuidae*, subfamilia *Triatominae*, tribu *I. Triatomini* y género *Triatoma*.

Cuando los reduvidos se alimentan, frecuentemente defecan sobre la piel de su hospedero. Sus heces contienen los *tripomastigotes metacíclicos*, los cuales penetran al cuerpo a través del agujero de la picadura así como por las escoriaciones producidas con el rascado de la piel o, más a menudo, a través de las membranas mucosas que son frotadas con los dedos contaminados con las heces del insecto. También se pueden infectar los *mamíferos* por la ingesta de insectos infectados. Como los *tripomastigotes* son abundantes en la sangre en las infecciones recientes, se reproducen cuando penetran a las células y se transforman en *amastigotes*. Las células mas frecuentemente invadidas son las células reticuloendoteliales del bazo, hígado y ganglios linfáticos, así como células musculares del corazón, músculo liso y esquelético. En algunos casos también son invadidos el sistema central, la piel, las gónadas, la mucosa intestinal, la médula ósea y la placenta.

Una vez que el parásito penetra a las células pierde rápidamente la membrana ondulante y el flagelo. La

fisión binaria repetida produce tantos *amastigotes* que la célula huésped muere pronto y se lisa. Cuando los parásitos son liberados, atacan a otras células. En las células musculares, los parásitos forman bolsas en forma de quistes, llamadas *seudoquistes*. En los espacios intersticiales se pueden ver formas intermedias (*promastigotes* y *epimastigotes*). Algunas de éstas completan su metamorfosis hasta *tripomastigotes* y ganan acceso a la sangre.

Los *tripomastigotes* que son ingeridos por *triatominos* llegan a la porción posterior del intestino medio, en donde se transforman en *epimastigotes* cortos. Estos se multiplican por fisión binaria longitudinal, haciéndose más largos y delgados. En el recto del insecto aparecen *tripomastigotes* cortos, *metacíclicos*, entre 8 y 10 días después de la infección. Estos son eliminados con las heces y pueden infectar a *mamíferos* si son llevados a las mucosas o a heridas de la piel. Se ha observado que la primera generación de *amastigotes* que llegan al estómago del insecto se agrupan formando conglomerados, que se fusionan y representan una forma primitiva de reproducción sexual.

## Caracterización

La caracterización del parásito incluye la determinación de *Biodemos*. Considerando los estudios realizados y reconociendo la heterogeneidad de las poblaciones de parásitos asociados a la enfermedad, se ha intentado comprender la significancia clínica de esta heterogeneidad determinando el comportamiento patógeno de *T. cruzi* en modelos experimentales.

En los modelos murinos se ha demostrado que la presencia de alteraciones tisulares en los hospederos depende de la cantidad y frecuencia del inóculo, la virulencia e histotropismo del parásito así como la susceptibilidad genética del hospedero<sup>6</sup>. Por ello se ha propuesto esta estrategia para relacionar el comportamiento patógeno del parásito con su procedencia geográfica. El Biodemo (poblaciones biológicas y su correlación patógena) establece tres tipos de comportamiento de acuerdo a los siguientes criterios: evolución de la enfermedad, morfología de los parásitos circulantes, curva de parasitemia, histotropismo e histopatología. En el Biodemo I los parásitos presentan una multiplicación rápida, parasitemia alta y aparición entre 7 y 12 días postinfección, predominio de formas delgadas y macrofagotropismo. En el Biodemo II, los parásitos presentan una multiplicación media, pico de parasitemia entre los 12 y 20 días, como predominio de formas gruesas y miotropismo, especialmente a tejido cardíaco. El Biodemo III incluye parásitos que presentan una multiplicación lenta, con picos de parasitemia entre 20 y 30 días, predominio de formas gruesas y miotropismo, especialmente a músculo esquelético<sup>6</sup>.

Los reportes de los estudios de las cepas obtenidas en diferentes regiones del país muestran que de acuerdo a estos criterios, la mayoría de los aislados de *T. cruzi* pertenecen al Biodemo III<sup>7</sup>.

También se pueden caracterizar mediante *Esquizontemos*. Se reconoce que al parecer no ocurre recambio genético entre estos organismos, por lo que el análisis de los patrones de restricción de DNA nuclear y del DNA del cinetoplasto ofrece una herramienta útil y confiable por su estabilidad para estudios taxonómicos y determinación de distancias evolutivas entre genes específicos.

El DNA del cinetoplasto (DNA<sub>k</sub>) de *T. cruzi* está compuesto de 95-98% de minicírculos y 2.5% de maxicírculos concatenados. Existen formando una red, de aproximadamente  $5 \times 10^3$  a  $20 \times 10^3$  minicírculos de 0.9 a 2.5 kilobases (kb) cada uno y de 20 a 50 maxicírculos de 20-30 kb. Los maxicírculos representan el DNA mitocondrial y poseen frecuencias nucleotídicas homogéneas, los minicírculos son heterogéneos y se desconoce su función. Recientemente se ha encontrado que al parecer codifican para una molécula de RNA que sirve como guía en el proceso de edición de los genes codificados en los maxicírculos. El análisis de las secuencias de minicírculos también ha sido empleado para identificar cepas de laboratorio y aislados de *T. cruzi*. Esta metodología también ha permitido identificar entre aislados de *T. cruzi* de triatomíneos, cobayos y humanos en Argentina y Chile, agrupándolos además en cuatro regiones geográficas específicas que permiten correlacionar el análisis genético (Esquizontemos) con los estudios isoenzimáticos (zimodemos)<sup>8</sup>.

En México, Zavala y col.<sup>9</sup> realizaron un excelente estudio con la finalidad de conocer la heterogeneidad a nivel molecular que presentan aislados mexicanos de diferentes zonas geográficas a través de los espaciadores no transcritos del DNA ribosomal y de los maxicírculos del DNA del cinetoplasto (Cinetodemos). Encontraron que con esta metodología es posible agrupar aislados de diferentes áreas geográficas a través de los fragmentos de restricción de las endonucleasas Hinf-1.

## Diagnóstico

El diagnóstico de la enfermedad se fundamenta en la identificación del parásito, el cual se encuentra presente en la sangre del paciente en la fase aguda, con una densidad variable de  $10^3$ - $10^6$  tripanosomas por mililitro, dependiendo de la virulencia de la cepa y empleando técnicas parasitológicas directas (hemoconcentración y frotis teñido con Giemsa) o indirectas (hemocultivo, xenodiagnóstico, inoculación en animales de laboratorio) que evidencian la presencia del parásito. Sin embargo, estas técnicas podrían tener un éxito relativo en las fases indeterminada y crónica de la enfermedad.

Las pruebas inmunológicas representan una gran ayuda en el diagnóstico de la enfermedad de Chagas,

particularmente en la fase crónica, cuando la mayoría de los individuos carece de sintomatología y los tripanosomas sanguíneos son difíciles de demostrar. Los anticuerpos aparecen en la sangre 2-3 semanas después de la infección y persisten por muchos años después. Los anticuerpos del tipo IgM son predominantes en la fase indeterminada y crónica de la enfermedad. Estas pruebas diagnósticas emplean como antígenos para la detección de anticuerpos específicos extractos completos del parásito en fase de epimastigotes, fragmentos del parásito u organismos intactos.

## Patogenia

Diversos estudios han sido enfocados a discernir la patogenia en la biología de la relación huésped-parásito para comprender las causas subyacentes de las lesiones cardíacas, las alteraciones digestivas y la participación inmune del hospedero. Los mecanismos de patogenia propuestos en la enfermedad de Chagas incluyen: lesión directa de las células parásitas por *T. cruzi*, lesión producida por toxinas liberadas por el parásito, alteraciones del sistema nervioso autónomo, lesión inducida por la respuesta autoinmune del hospedero.

Por otra parte, la participación de la respuesta inmune celular fue estudiada por Ribero Dos Santos<sup>5</sup>, quien describe que linfocitos T aislados de ratones infectados crónicamente lisan células musculares y neuronas en ausencia del antígeno del parásito. Por su parte Lagunes describe células mononucleares esplénicas que dañan a los cardiocitos murinos en presencia de suero de ratón con infección crónica.

La infección con *T. cruzi* induce en el hospedero mamífero una eficiente respuesta de defensa específica y además modula a todo el sistema inmune. La respuesta inmune tiene un papel preponderante en el control de la infección y del balance de la relación hospedero-parásito que lleva a la cronicidad. El curso de la primoinfección con *T. cruzi* es, a primera vista, semejante a la de cualquier infección con microorganismos susceptibles de control inmune. En la mayoría de los casos hay una fase aguda asociada con parasitemia que, en los sobrevivientes, es paulatinamente controlada cuando emerge la respuesta inmune, luego se establece una infección crónica donde es difícil la

detección de parásitos en circulación, aunque nunca son totalmente eliminados del organismo (curación biológica). La respuesta inmune a la presencia de agentes infecciosos está determinada por los mecanismos efectores tradicionalmente divididos en inmunidad humoral y celular. Actualmente se reconoce que las células T ayudadoras (TH o CD4+) juegan un papel central en la modulación de la respuesta inmune y son requeridas para la inducción de células T citotóxicas y respuesta de células B. Estas células (TH) interactúan con otras células del sistema inmune por contacto célula-célula, mediado por la unión del receptor de células T a moléculas de clase II del complejo mayor de histocompatibilidad (interacción análoga) y por moléculas accesorias que incluyen al CD4. Además, la activación de células CD4+ resulta en la liberación de citocinas las cuales activan otras células T, monocitos y células B (interacción no análoga). Estudios recientes en los que se han empleado modelos murinos y humanos han demostrado que la exposición a ciertos antígenos influye en el desarrollo de células TH CD4+ y ha dado como resultado la expresión de un fenotipo basado en la secreción de un perfil de citocinas característico, que permite la clasificación de las células TH CD4 en diferentes subpoblaciones con diferentes funciones que se regulan mutuamente: TH1, productora de IL-2 e INF- $\gamma$  (activadora de TH1 e inhibidora de TH2 respectivamente) y TH2, productora de IL-4 e IL-10 (activadora de TH2 e inhibidora de TH1 respectivamente).

Los linfocitos pueden reconocer como "no propios" una gran cantidad de antígenos extraños; sin embargo, algunas variedades están capacitadas para reconocer a los "antígenos propios". El organismo es capaz de recurrir a ciertos mecanismos para eliminar a estos linfocitos autorreactivos. El contacto temprano con los antígenos propios lleva a la supresión de esas clonas e induce autotolerancia o bien ciertas clonas se vuelven no respondedoras a las moléculas propias generando anergia clonal. Cada vez que se rompe este sistema se puede originar una enfermedad autoinmune.

Por otro lado, aunque se ha demostrado ampliamente la existencia de anticuerpos anti-corazón en la enfermedad de Chagas, no existe evidencia que sean patogénicas. Los órganos sólidos serían menos susceptibles al daño por anticuerpos circulantes pues hay una concentración suficiente en el tejido, a menos que exista

una síntesis local de anticuerpos. Durante la etapa aguda de la enfermedad de Chagas existe una activación policlonal (panlinfocitaria) que se extiende a la fase crónica. Es posible que las citocinas secretadas por los linfocitos infectados sean en parte responsables de dicha proliferación. Algunos de los linfocitos que responden a los antígenos parasitarios podrían ser estimulados por antígenos del huésped originando la grave patología de la miocardiopatía chagásica.

Esta blastogénesis policlonal, que incluye un gran número de células anti-autorreactivas, no se eliminaría durante la fase aguda, por lo que la presencia crónica del antígeno parasitario (el parásito mismo) y antígenos de reactividad cruzada causarían las lesiones crónicas.

## Conclusiones

La enfermedad de Chagas tiene gran impacto en la salud de más de 80 millones de personas en América Latina. Por ello es importante encontrar respuestas a las interrogantes y proponer estrategias de tratamiento, en especial a los pacientes en la fase crónica de la enfermedad.



## Notas

1. Organización Mundial de la Salud (1992).
2. A. Moncayo, *World Health Stat-Q* **45**, 276 (1992).

3. P.M. Salazar-Schettino et al. *Sal. Públ. Méx.* **29**, 26 (1987).
4. C.O. Velasco et al. *Sal. Públ. Méx.* **34**, 186 (1992).
5. R. Ribeiro Do Santos, et al., *J. Exp. Med.* **172**, 29 (1992).
6. G.S. Andrade, *Rev. Soc. Brasil. Med. Trop.* **18**, 39 (1985).
7. J. Tay, H. Schenone, J.Y. Sánchez y L. Robert, *Bol. Chil. Parasitol.* **47**, 43 (1992).
8. M. Tibayrenc y F.J. Ayala, *Evolution* **42**, 277 (1988).
9. J.E. Zavala-Castro et al. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **47**, 201 (1992).



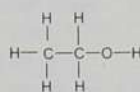
# Moléculas que rompen las leyes del análisis conformacional

**Eusebio Juaristi**

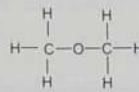
## A. Conformaciones eclipsadas

La Química es la disciplina científica que estudia a la materia y sus transformaciones. Como la materia está constituida por moléculas, que le confieren sus propiedades características, entonces nuestra capacidad como químicos depende del conocimiento que alcancemos acerca de la estructura molecular. Mientras más completo sea dicho conocimiento, más posibilidades tendremos para comprender el comportamiento de las sustancias químicas y para aprovecharlas en nuestra vida diaria; es decir, en su uso como fármacos, alimentos, materiales de vestido, etc.

En un principio, conocer la estructura de una molécula requería solamente de la determinación de los átomos que la forman y de la manera como estos átomos están unidos. Por ejemplo, los químicos descubrieron que la molécula del etanol está formada por 2 átomos de carbono, 6 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno, como se indica en la estructura **1**. Puede apreciarse que el éter metílico **2** es un *isómero* del etanol, pues aunque presenta la misma composición (2 carbonos, 6 hidrógenos y 1 oxígeno), difiere en la forma en la que sus átomos están enlazados.



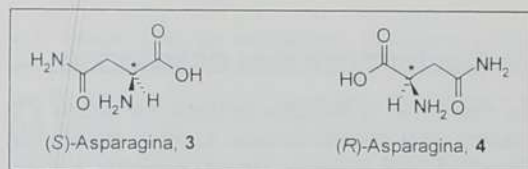
Etanol, **1**



Éter metílico, **2**

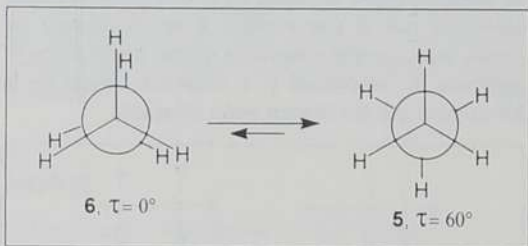
El Dr. Eusebio Juaristi es investigador titular del Departamento de Química y miembro del Consejo Editorial de *Avance y Perspectiva*.

Durante el siglo XIX, el descubrimiento de moléculas con la misma composición y conectividad, pero que sin embargo no son iguales, condujo a un nivel más profundo del entendimiento de las estructuras moleculares: es esencial conocer además la orientación en el espacio, es decir la distribución tridimensional de los átomos en una molécula. De dicha *estereoquímica* dependen algunas propiedades químicas, tales como la actividad biológica. Por ejemplo, la (*S*)-asparagina **3** tiene un sabor amargo, mientras que la (*R*)-asparagina **4** es de sabor dulce. Estas moléculas difieren en la distribución de sus átomos alrededor de un centro de quiralidad (*C*\*), que corresponde a un carbono *tetraédrico* con 4 sustituyentes distintos. Así pues, **3** y **4** son moléculas *estereoisoméricas*, que presentan la misma composición y conectividad pero que difieren en *configuración*.<sup>1</sup>



Finalmente, se hizo evidente que el giro de los átomos alrededor de enlaces carbono-carbono conduce en principio a un número infinito de *conformaciones*, definidas por los ángulos torsionales  $\tau$  correspondientes. Afortunadamente, un número limitado de estas conformaciones son mucho más estables (y por lo tanto abundantes) que las demás. Así, la conformación *alternada* del etano (**5**,  $\tau = 120^\circ$ ) es 3.0 kilocalorías por mol (kcal/mol) más estable que la conformación *eclipsada* (**6**,  $\tau = 0^\circ$ ), por lo que a temperatura ambiente más del 99.9% de las moléculas de etano adoptan la conformación *alternada* (Ecuación 1).<sup>2</sup>

Esta preferencia del etano por la conformación *alternada* se encontró también en muchas otras moléculas, de modo que las estructuras *eclipsadas* llegaron a



Ecuación 1

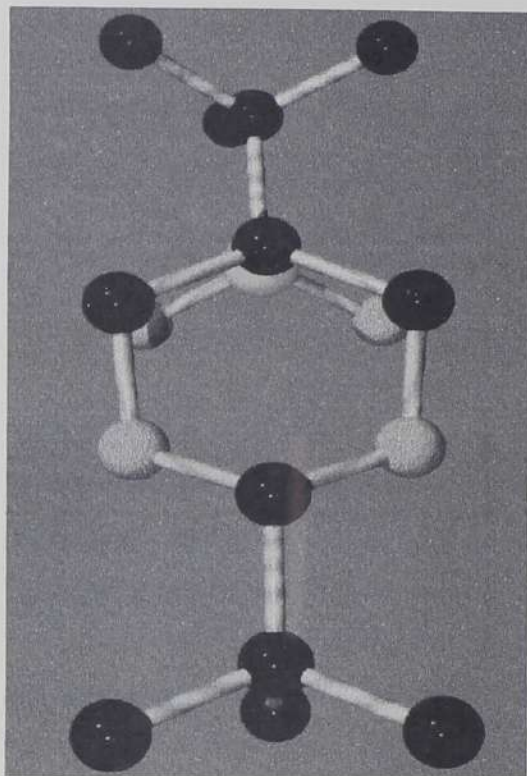


Figura 1.

considerarse irrelevantes y por lo tanto dejaron de tomarse en cuenta en el análisis conformacional. ¡Cuál no sería nuestra sorpresa cuando encontramos que la conformación favorable en el dioxano **7** es la *eclipsada* y no la *alternada*! (figura 1).<sup>3</sup>

Un estudio teórico posterior al descubrimiento accidental llevó a la conclusión de que la preferencia por la conformación *eclipsada* de **7** se debe a un intento de la molécula por reducir la repulsión estérica que se genera en la conformación *alternada*.<sup>4,5</sup> Además, al parecer los dipolos de los enlaces S-O, que son muy polares, inducen la formación de dipolos antiparalelos en los enlaces C-C eclipsados (figura 2). Esta disposición de los dipolos es estabilizadora.

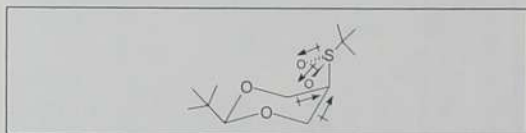
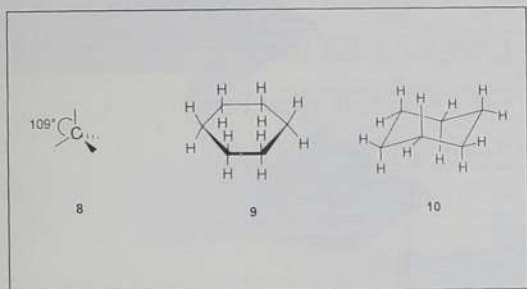


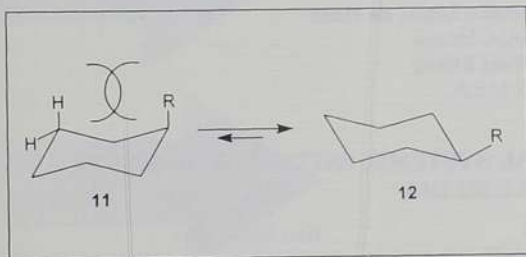
Figura 2.

## B. El efecto anomérico

Como ya se mencionó, el átomo de carbono generalmente existe en una forma tetraédrica, que implica ángulos de enlace de  $109^\circ$  (**8**). Si el ciclohexano, una cadena cerrada de seis carbonos, existiera en una conformación plana (**9**) entonces sufriría de tensión angular pues los ángulos de enlace C-C-C serían necesariamente de  $120^\circ$ , en vez de  $109^\circ$ . (Además, (**9**) presenta eclipsamiento entre los enlaces C-H vecinos). En efecto, se ha encontrado que el ciclohexano adopta una conformación de "silla" (**10**) en la que se respetan los ángulos ideales de  $109^\circ$ .

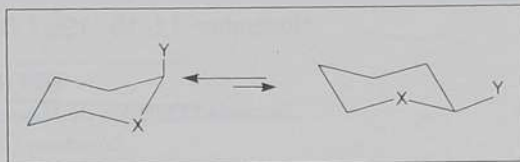


Como consecuencia de la conformación "silla", ciclohexanos monosustituídos pueden existir con el sustituyente *axial* (**11**) o *ecuatorial* (**12**). La repulsión estérica provocada por el volumen de los sustituyentes R en la conformación axial conduce a equilibrios en los que la forma ecuatorial generalmente predomina (ecuación 2).<sup>2,6</sup>



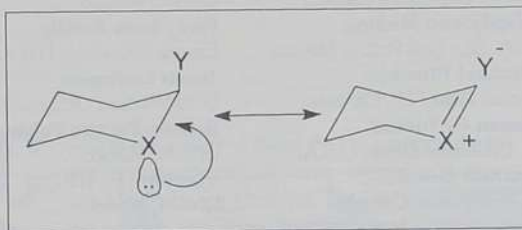
Ecuación 2

Sin embargo, cuando uno de los grupos metileno en ciclohexano se sustituye por un heteroátomo (X = oxígeno, azufre, etc.) y R es un átomo o grupo electronegativo (Y = F, OCH<sub>3</sub>, POPh<sub>2</sub>, etc.) entonces el equilibrio se desplaza hacia la forma axial (ecuación 3), "rompiendo" con las leyes del análisis conformational.<sup>7</sup>



Ecuación 3

Existen dos explicaciones razonables para este comportamiento inesperado: (1) la electronegatividad de X y Y da lugar a la formación de dipolos paralelos (y por lo tanto a repulsión electrostática) en la forma ecuatorial. (2) La forma axial es estabilizada por una interacción entre un orbital dador de electrones ( $n_X$ ) y un orbital aceptor ( $\sigma^*_{C-Y}$ )<sup>7</sup> (ecuación 4).



Ecuación 4

## Notas

1. E. Juaristi, "Quiralidad y síntesis enantioselectiva", *Avance y Perspectiva* **11**, 267 (1992).
2. E. Juaristi, *Introduction to Stereochemistry and Conformational Analysis* (Wiley, Nueva York 1991).
3. E. Juaristi, R. Martínez, R. Méndez, R.A. Toscano, M. Soriano-García, E.L. Eliel, P. Som, A., Glass, R.S. *J. Org. Chem.* **52**, 3806 (1987).
4. B. Gordillo, E. Juaristi, R. Martínez, R.A. Toscano, P.S. White, E.L. Eliel, *J. Am. Chem. Soc.* **114**, 2157 (1992).
5. E. Juaristi, *Stable Eclipsed Conformations* en *Encyclopedia of Computational Chemistry*, P.v.R. Schleyer, N.L. Allinger, Eds. (Wiley, Nueva York, en prensa).
6. C.H. Bushweller, en *Conformational Behavior of Six-Membered Rings*, E. Juaristi, Ed. (VCH Publishers: Nueva York, 1995) Capítulo 2.
7. E. Juaristi, G. Cuevas, *The Anomeric Effect* (CRC Press, Boca Raton, FL, 1995).

# FIFTH CHEMICAL CONGRESS OF NORTH AMERICA

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

## SPONSORS

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

## STOCHASTIC PROCESSES IN CHEMISTRY

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

**Germinal Cocho Gil**

UNAM, México

**Martin Grant**

McGill University, Canada

**Magdaleno Medina**

U. A. San Luis Potosí, México

**Michael Plischke**

Simon Fraser U., Canada

**Susan C. Tucker**

U. California Davis, U.S.A.

**Rashmi Desai**

U. of Toronto, Canada

**Luis Vicente Hinestroza**

UNAM, México

**José Onuchic**

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

**Rosalio Rodríguez**

UNAM, México

**Fereydoon Family**

Emory University, U.S.A.

**Turab Lookman**

U. of Western Ontario, Canada

**Ramón Peralta Fabi**

UNAM, México

**Vladimir E. Tchijov**

UNAM, México

### DYNAMICS, BROWNIAN MOTION, TIME SERIES, SCALING, SPECTROSCOPY

**Eliezer Braun**

UAM-Iztapalapa, México

**Ivan L'Heureux**

U. of Ottawa, Canada

**Eduardo Piña**

UAM-Iztapalapa, México

**Jim Skinner**

U. of Wisconsin, U.S.A.

**Emilio Cortés**

UAM-Iztapalapa, México

**Andre Longtin**

U. of Ottawa, Canada

**Alberto Robledo**

UNAM, México

**William A. Wassam, Jr.**

CINVESTAV, México

**Leopoldo García Colín**

UAM-Iztapalapa, México

**Mariano López de Haro**

UNAM, México

**Robert Silbey**

MIT, U.S.A.

### CHEMICAL SYSTEMS, PATTERN FORMATION, EXCITABLE MEDIA

**Kathy Hunt**

Michigan State U. U.S.A.

**Michael C. Mackey**

McGill U., Canada

**Leonard Sander**

U. of Michigan, U.S.A.

**Carmen Varea**

UNAM, México

**Raoul Kopelman**

U. of Michigan, U.S.A.

**Enrique Peacock-López**

Williams College, U.S.A.

**Ken Showalter**

West Virginia U. U.S.A.

**Miguel José Yacamán**

ININ, México

**Herbert Levine**

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

**Sidney Redner**

Boston University, U.S.A.

**Harry Swinney**

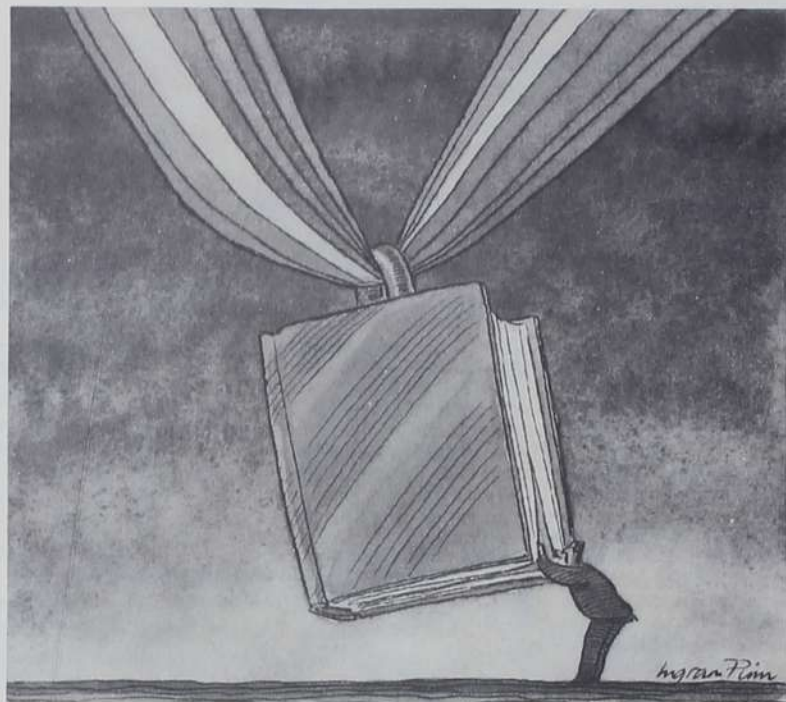
U. of Texas at Austin, U.S.A.

## Una nueva generación de investigadores

Isaura Meza

**C**elebramos hoy la entrega de los premios de investigación que anualmente otorga la Academia Mexicana de Ciencias. Este es el trigésimo quinto año consecutivo y se entregan a cinco jóvenes investigadores, seleccionados de un grupo numeroso, por la calidad y originalidad de sus trabajos científicos. En esta ocasión, además de hacer votos por el éxito de estos colegas que representan a la nueva generación de investigadores mexicanos, podemos celebrar que a pesar de varios años de dificultades económicas, la comunidad científica de nuestro país sigue cumpliendo con metas trazadas. Tenemos hoy dos investigadoras premiadas. La Academia Mexicana de Ciencias otorgó el primer premio de investigación a una mujer en 1964. Pasaron 14 años antes de que una segunda mujer lo recibiera y otros 14 años más, para que dos mujeres fueran premiadas conjuntamente, en las llamadas ciencias duras, en las que las científicas mexicanas desde hace tiempo habían abierto brechas y trabajado duro sin obtener mucho reconocimiento. Vemos con entusiasmo que se rompen las barreras y que la capacidad de las científicas en nuestro país se reconoce ya en todas las áreas de las ciencias, que, además, se ha formado una escuela y tenemos figuras modelo para imitar. Sueños de igual oportunidad para participar y establecer el destino de nuestro país son ya realidades que se comparten entre los géneros. Otra razón más para celebrar, es que los esfuerzos por sacar la investigación científica de los grandes centros en donde hasta ahora se había concentrado, empiezan a cristalizar. No sólo hay nuevos grupos y centros de investigación en

La Dra. Isaura Meza, investigadora titular del Departamento de Biología Celular y directora del Programa Multidisciplinario en Biomedicina Molecular del Cinvestav, es tesorera del Consejo Directivo de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC). Este texto fue leído en la entrega de los Premios de Investigación 1996 de la AMC, residencia oficial de Los Pinos, 30 de junio de 1997.



diferentes entidades del país, sino que como hoy vemos, en ellos se hace trabajo de calidad. Son también entonces una realidad, los grupos de gente joven llena de entusiasmo, fuerza y buena preparación, trabajando en ciencia fuera del Distrito Federal. Hacia estos dos logros podemos volver los ojos y renovar nuestra fe de que en nuestro país se pueden hacer muchas cosas si se planea y se procede inteligentemente. Los investigadores que hoy reciben los premios de nuestra Academia llenan estas expectativas. Tienen un gran reto por delante pero tienen el espíritu y las armas para ganar batallas.

La Dra. Estela Lizano Soberón, merecedora del premio de ciencias exactas y que labora en el Instituto de Astronomía de la UNAM situado en Morelia, Michoacán, destaca por su investigación sobre la formación estelar, en particular las estrellas masivas y sus efectos sobre las nubes moleculares. El Dr. Gerardo Torres del Castillo, coganador del premio en ciencias exactas, labora en la Universidad Autónoma de Puebla en la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas. El Dr. Torres, con sus estudios sobre relatividad compleja, ha contribuido a corregir y extender resultados sobre las

perturbaciones de agujeros negros y soluciones a las ecuaciones de Einstein. La Dra. Esperanza Martínez Romero, quien comparte con el Dr. Martín Aluja Shüneman el premio de ciencias naturales, es investigadora en el Centro de Fijación de Nitrógeno de la UNAM en Cuernavaca, y ha contribuido de manera importante en la generación de plantas leguminosas que ayudan a mantener el nitrógeno del suelo y mejorar zonas de cultivo. El Dr. Aluja, del Instituto de Ecología en Xalapa, ha hecho estudios sobre el comportamiento y distintos aspectos de la ecología de las moscas de la fruta, que constituyen una plaga dañina y difícil de controlar y que afecta a los árboles frutales y a la economía de exportación. El Dr. Luis Alfonso Ramírez Carrillo, a quien se otorga el premio en ciencias sociales, y es investigador en el Centro de Investigaciones Regionales Hideyo Noguchi de la Universidad Autónoma de Yucatán en Mérida, ha publicado extensamente sobre problemas y cambios sociales en Yucatán.

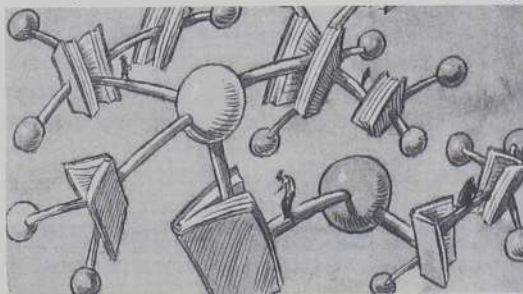
¡A todos ellos, felicidades!

Señor Presidente, México tiene una comunidad científica y tecnológica pequeña, pero que ha hecho

un esfuerzo sostenido. Ha respondido a convocatorias, se ha sujetado a minuciosas evaluaciones y aceptado nuevos retos. Ha emprendido acciones a diversos niveles para ayudar a mejorar la educación científica, la difusión del conocimiento y los vínculos con otros sectores de la sociedad. Hemos demostrado que podemos enfrentar el desafío que representa seguir compitiendo con naciones con mayor tradición científica y muchos más recursos económicos, y mantenemos en la vanguardia del conocimiento.

A este respecto, señor Presidente, deseo agradecer en nombre propio y de mis colegas, los esfuerzos que ha llevado a cabo su administración para proporcionar un financiamiento más o menos estable a la comunidad científica en tiempos tan difíciles, y a pesar de los graves problemas que aquejan al país y de las dificultades para implementar soluciones adecuadas. Por esto mismo, somos conscientes también de lo que no hemos logrado y para lo cual tanto nosotros como nuestros gobernantes y el resto de la sociedad, tendremos que esforzarnos. Vivimos la problemática de un país en desarrollo y necesitamos soluciones que garanticen un futuro acorde a las necesidades de un siglo nuevo. Para ello, la comprensión por parte de toda la sociedad sobre lo que puede proporcionar el pensamiento y el desarrollo científico es fundamental. Aunque el apoyo a la ciencia desde luego necesita incrementarse, pues de otra forma no se podrán lograr objetivos, necesitamos urgentemente algo que no re-

presenta gastos extraordinarios. Me refiero a soluciones para optimizar los recursos concedidos. Necesitamos trámites administrativos ágiles para obtener a tiempo implementos e insumos de trabajo y no más candellos burocráticos que entorpecen y retrasan cualquier proyecto. Necesitamos su confianza y su credibilidad sobre nuestras acciones y posibles contribuciones. Creo que hay pruebas como las de hoy, del compromiso de los investigadores y de la Academia Mexicana de Ciencias para apoyar el progreso de México: ¡Haciendo bien lo que sabemos hacer! Le proponemos entonces, señor Presidente, trabajar en conjunto, con su administración y con otros sectores para analizar en forma interdisciplinaria cuál sería el mejor camino. Esto no solamente facilitará nuestro trabajo, sino que podrá abrir otras puertas y obtener financiamiento de otros sectores. Creemos que sólo con un esfuerzo conjunto se podrá llegar a implementar un desarrollo científico y tecnológico propio con soluciones que sienten bases sólidas para un futuro.



## Paulo Freire: pedagogía de la indignación

**Emilia Ferreiro**

**S**iglo XXI ha tenido la feliz idea de convocarnos para rendir un homenaje a un hombre y una obra de extraordinaria influencia en toda América Latina; alguien que representó (y representa) para muchos europeos, norteamericanos y africanos el pensamiento pedagógico latinoamericano.

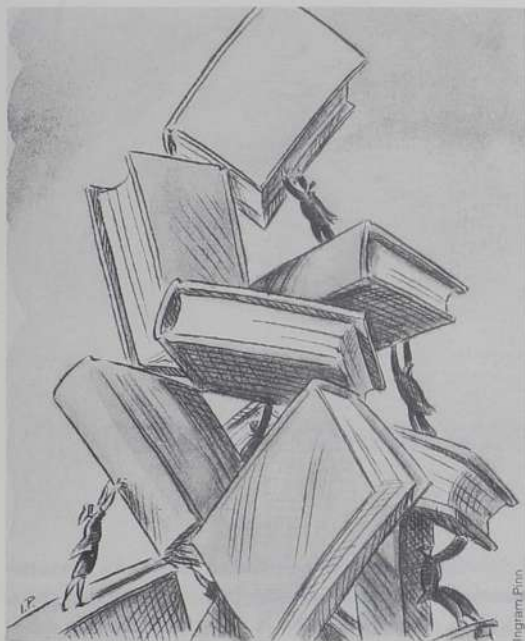
Un hombre y una obra. Es difícil separarlos, no sólo porque Paulo nos habla siempre en primera persona en todos sus textos y porque nos habla de sus vivencias y de las anécdotas que lo hicieron crecer como educador, sino por la búsqueda continua de coherencia entre sus palabras y su "hacer en el mundo con su cuerpo".

"Mi discurso tiene que ser coherente con mi cuerpo. La manera en que mi cuerpo se mueve en el mundo tiene que ser coherente con el discurso que habla del movimiento del mundo"<sup>1</sup>.

Quiero rendir mi homenaje a un hombre que fue coherente toda su vida, sabiendo muy bien lo difícil de esa empresa, particularmente en Brasil, donde connotados críticos de la educación que mantuvieron durante años un discurso progresista se han volcado ahora al pragmatismo y resultan asesores del Banco Mundial.

Quiero rendir mi homenaje a alguien que nunca escribió para transmitir cansancio, pesimismo o abatimiento, y que luchó toda su vida. A un luchador in-

*La Dra. Emilia Ferreiro es investigadora titular del Departamento de Investigaciones Educativas del Cinvestav. Este texto fue leído en el homenaje a Paulo Freire, Palacio de Bellas Artes, 27 de junio de 1997.*



cansable. A un luchador que buscaba el diálogo y quizás por eso concedió tantas entrevistas durante su intensa existencia.

"Yo quisiera morir dejando un mensaje de lucha", le dijo en septiembre de 1994 a Rosa María Torres que lo estaba entrevistando<sup>2</sup>. Y en enero de 1996, durante otra entrevista en Brasil le preguntan (probablemente para hacerlo hablar):

- Entonces, ¿usted está a favor del diálogo y, al mismo tiempo, a favor de la lucha (*briga*)?

y Paulo responde:

- Sí. Algunos han pensado que, por defender el diálogo, yo negaba el conflicto. No, yo jamás negué el conflicto. El conflicto está allí y es fundamental en el proceso de desarrollo, en el proceso histórico. La lucha me hace, la lucha me constituye, la lucha me forma; ella es pedagógica. (*A briga me faz, a briga me constitui, a briga me forma; ela é pedagógica*). Sólo que, como la lucha es histórica, las formas de luchar también cambian.<sup>1</sup>

Yo no fui colaboradora directa de Paulo, como otros aquí presentes que pueden testimoniar de su ex-

periencia de trabajo con él. Me voy a limitar aquí a recordar dos episodios.

En mayo de 1987 vi a un Paulo que se había retirado a llorar y que apenas se atrevía a volver a enfrentar un público. Fue en Brasilia, en una reunión de la UNESCO. Allí Paulo, que siempre recurría a sus propias experiencias para construir una analogía que iba más allá de lo singular, nos dijo:

"Esta es la primera vez, después de la muerte de Elza, que voy a hablar en una reunión de este tipo. [...] Cuando murió Elza, yo quedé deshecho. Murió en octubre y el primer seminario que hice, con todo mi sentido de responsabilidad, fue recién en febrero. Y yo me pregunto ¿cuántos obreros pueden darse el lujo de llorar siquiera dos días a su mujer? Obviamente entonces tratan de endurecerse frente a la emoción, para no destrozarse enteros, en cuanto a cuerpo. Pero esto es un derecho, y una de mis luchas es para que las grandes mayorías de este país puedan también llorar"<sup>3</sup>.

El derecho al llanto, el derecho al duelo... Nunca lo había pensado así, y me conmovió profundamente.

Porque, en el mismo contexto, Paulo volvió a llamar a la lucha: "Yo creo que no hay nada sin osadía; una dosis de insensatez es absolutamente fundamental en una *Pedagogía de la indignación*, que es la pedagogía que he venido defendiendo en este país bajo otros nombres. Porque no es posible, por ejemplo, saber que un 60% de la población de Brasil sobrevive en un vasto y profundo dolor; no es posible saber que hay 36 millones de niños, ¡de niños! que la ideología dominante, culpabilizándose, denomina *menores carentes*. ¿Se dan cuenta cómo tenemos la manía de inventar nombres dulzones para enfrentar situaciones trágicas, diabólicas?"<sup>3</sup>

¿Pedagogía de la indignación? (1987) ¿No era acaso pedagogía del oprimido (1970), de la liberación, de la concientización, de la esperanza (1992), de la autonomía? (1996).

Que nadie se desoriente por eso. Todos esos nombres designan lo mismo, en una visión esencialmente dialéctica del acto educativo. La indignación va de la mano con la esperanza y con la necesidad de una utopía.

"Cuando tú me preguntas: Paulo, tu aún sueñas?, yo te respondo: Sí, sueño. Sueño, al menos, con que ya no sea posible decir que no es posible soñar" (*Eu sonho, no mínimo, com que não é possível sonhar*). Esto lo dijo a los 74 años.<sup>1</sup>

Vi a Paulo por última vez hace poco más de un año, en tierras extrañas. Estábamos ambos en Filadelfia (marzo de 1996) en una de las múltiples conferencias donde lo invitaban a Paulo no tanto para escuchar su palabra sino para que *bendijera*, con su presencia patriarcal, una empresa que le era ajena. Pero Paulo hablaba de la esperanza y de la indignación, y de la necesidad de luchar contra el discurso economicista de la imposibilidad. Por ejemplo, Paulo se negaba a aceptar el desempleo como un mal inevitable de los tiempos modernos. Y tenía toda la razón: porque la escuela no puede educar para el desempleo, que es la negación misma de la esperanza.

Otro gran pensador de nuestro tiempo, Georges Steiner, me conmovió tanto como Paulo cuando le escuché decir, en 1993: "Educación, escolaridad, aprendizaje, quieren decir: tú serás (...) toda pedagogía es una utopía concreta (...) una verdadera escuela no es otra cosa que un atelier de lo utópico".<sup>4</sup>

Cuando no se puede decir "tú serás", "nosotros seremos", no hay educación posible. La educación necesita de un proyecto postulado como utopía alcanzable. Necesitamos denunciar la mentira del discurso

inmovilizador de la imposibilidad. De Paulo, necesitamos todo: el derecho a soñar tanto como el derecho a llorar; la coherencia entre la voz y el cuerpo; la esperanza y la indignación.



## Notas

1. Entrevista de Nye Ribeiro Silva en revista Dois Pontos, enero/febrero de 1996, p.6.
2. Inédita comunicación personal.
3. Publicado en *Alternativas de alfabetización en América Latina y El Caribe* (Santiago de Chile, UNESCO/OREALC, 1988) p.327.
4. Georges Steiner, "Enfants du siècle", en: *Enseigner, Apprendre, Comprendre* (Les Entretiens Nathan, Actes IV, Paris, Nathan, 1994) p. 181.



# Informe de labores 1996

**Adolfo Martínez Palomo**

## Programa de liderazgo científico

En este programa se condensa el objetivo principal del Cinvestav: mantener la vanguardia en lo realizado en materia científica en el país. El crecimiento cuantitativo y cualitativo reflejado en el incremento de la planta de profesores y su superación académica es el punto estratégico que lo conforma y está apoyado en la búsqueda de opciones hacia la mejora de las condiciones de desarrollo académico.

## Crecimiento de la planta académica

*Nuevas contrataciones.* El total de investigadores durante 1996 se incrementó 4% en relación con las cifras de 1995.

*Investigadores repatriados.* Durante 1996 se hizo un esfuerzo importante para el reclutamiento de investigadores nacionales que se encontraban laborando en el extranjero o bien que acababan de concluir su doctorado. En ese sentido, y con el apoyo del Programa de Repatriaciones del Conacyt, fue posible incorporar durante el año de referencia a un total de 13 investigadores repatriados.

*Cátedras patrimoniales.* Durante 1996, y con el apoyo del Programa de Cátedras Patrimoniales Nivel II del Conacyt, fue posible incorporar a la institución un total de nueve investigadores procedentes de varios países, en calidad de profesores visitantes.

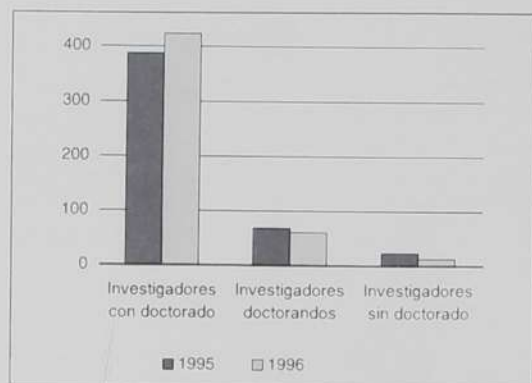


Figura 1. Investigadores con doctorado.

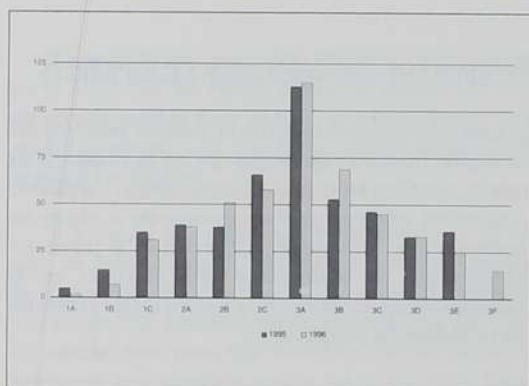


Figura 2. Investigadores por categoría académica.

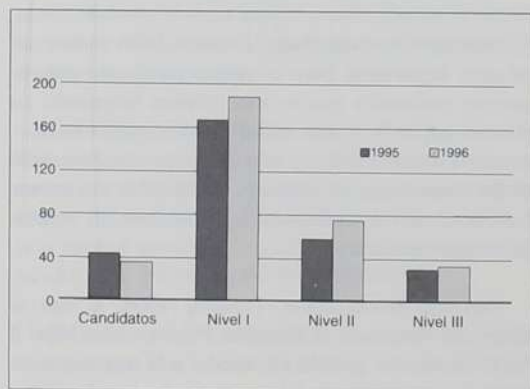


Figura 3. Investigadores por categorías del SNI.

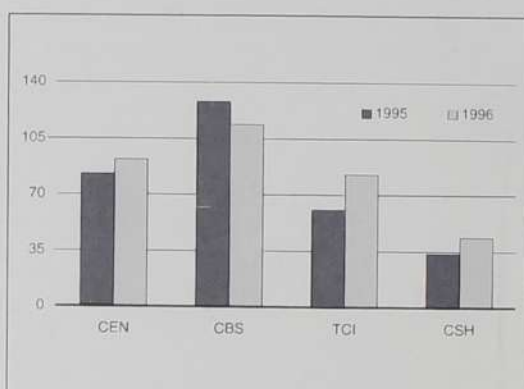


Figura 4. Investigadores por área de investigación.  
CEN: Ciencias exactas y naturales;  
CBS: Ciencias Biológicas y de la salud;  
TCI: Tecnología y ciencias de la Ingeniería;  
CSH: Ciencias Sociales y humanidades.

Tabla 1. Membresía en el SNI.

| Área  | Candidato |      | Nivel I |      | Nivel II |      | Nivel III |      | Total |      |
|-------|-----------|------|---------|------|----------|------|-----------|------|-------|------|
|       | 1996      | 1995 | 1996    | 1995 | 1996     | 1995 | 1996      | 1995 | 1996  | 1995 |
| CEN   | 10        | 11   | 39      | 39   | 31       | 22   | 12        | 11   | 92    | 83   |
| CBS   | 13        | 19   | 66      | 69   | 21       | 23   | 14        | 17   | 114   | 128  |
| TCI   | 7         | 6    | 54      | 39   | 15       | 13   | 7         | 3    | 83    | 61   |
| CSH   | 7         | 8    | 26      | 21   | 8        | 3    | 3         | 2    | 44    | 34   |
| Total | 37        | 44   | 185     | 168  | 75       | 61   | 36        | 33   | 333   | 306  |

Tabla 2. Estudiantes y auxiliares en el SNI.

| Categoría                   | Candidatos | Nivel I | Total |
|-----------------------------|------------|---------|-------|
| Estudiantes de doctorado    | 71         | 11      | 82    |
| Auxiliares de investigación | 3          | 6       | 9     |
| Total                       | 74         | 17      | 91    |

## Superación académica

*Investigadores doctorandos.* Del total de investigadores, 424 tienen el grado de doctor y en el transcurso del año 15 obtuvieron el grado. El porcentaje de investigadores sin el grado de doctor se redujo de 19 a 15 y el de investigadores sin inscripción al doctorado disminuyó de 4.8 a 2.6 (Fig. 1).

*Investigadores posdoctorandos.* Durante 1996, 13 investigadores iniciaron estancias posdoctorales en el extranjero.

*Promociones de categoría.* Como consecuencia del programa de Superación Académica, el número de investigadores en la categoría de Investigador Cinvestav 1 se vio disminuido. En 1995 esta categoría representaba 11.5% y actualmente comprende sólo 8% del total de los investigadores.

En 1996 se creó la categoría de Investigador Cinvestav 3F para los investigadores que por su trayectoria académica se han distinguido como líderes científicos con amplio reconocimiento internacional. En la Fig. 2 se muestra la distribución de investigadores por categoría.

*Investigadores eméritos Cinvestav.* En su tercera reunión de 1995, la Junta Directiva aprobó la creación de la categoría de Investigador Emérito, para lo cual se recomendó la redacción de un reglamento adecuado a la tradición académica del Centro, con criterios objetivos y homogéneos, a fin de que todo nombramiento fuese inobjetable. El 28 de octubre de 1996 se presentaron al Consejo Académico Consultivo los requisitos para el nombramiento de Investigador Emérito: "Los investigadores Cinvestav con la máxima categoría y nivel, 3F, y con dedicación de al menos 30 años de servicio a la institución recibirán el nombramiento de investigadores eméritos del Cinvestav".

De acuerdo con lo anterior, el 29 de noviembre se realizó una ceremonia en el Auditorio Arturo Rosenblueth para otorgar formalmente el nombramiento a los primeros investigadores eméritos del Cinvestav. Los cuatro investigadores distinguidos fueron: Jerzy F. Plebański Rosiński (Física), Jorge Aceves Ruiz (Fisiología, Biofísica y Neurociencias), Pablo Rudomín Zernovaty (Fisiología, Biofísica y Neurociencias) y Pedro Joseph-Nathan (Química).

## Distinciones y reconocimientos

*Membresía en el SNI.* En la promoción 1996 del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), 333 investigadores del Cinvestav forman parte del SNI, y representan 73% del total de investigadores Cinvestav 2 y 3.

La distribución de la membresía en el SNI, por categoría y nivel, en cada una de las áreas del conocimiento que se cultivan en el Cinvestav, se presenta en la tabla 1.

El número de investigadores en los niveles I y II se incrementó 10 y 23%, respectivamente, por las promociones otorgadas al personal del Centro, mismas que dieron lugar a la disminución del número actual de candidatos (Fig. 3). Por área del conocimiento, la información se muestra en la Fig. 4.

La disminución de investigadores miembros del SNI en el área de Ciencias Biológicas y de la Salud, con respecto al año anterior, se debe a que los investigadores de los Departamentos de Biotecnología y Bioquímica e Ingeniería Genética, y de la Sección de Ecología Humana, se reclasificaron en las áreas de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, y Ciencias Sociales y Humanidades, respectivamente.

Además del personal académico, 82 estudiantes de doctorado y nueve auxiliares de investigación pertenecen al SNI en los niveles que se muestran en la tabla 2.

*Premios y distinciones.* Como se detalla en la tabla 3, en 1996, investigadores y estudiantes del Cinvestav recibieron 11 premios y distinciones otorgadas por diversas instituciones de prestigio.

## Proyectos de investigación científica y tecnológica

*Proyectos de investigación institucionales.* Durante 1996 estuvieron en ejecución 582 proyectos de investigación. Este número representa la suma total de los proyectos que estuvieron vigentes en, al menos, algún trimestre de 1996. En la tabla 4 aparece la distribución de estos proyectos por área de conocimiento.

En la tabla 5 se presenta un análisis comparativo de

Tabla 3. Premios y distinciones.

| Investigador                                                                                                                      | Departamento                                     | Distinción                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jorge Aceves Ruiz                                                                                                                 | Fisiología, Biofísica y Neurociencias            | Investigador Nacional Emérito, SNI                                                                                                                                           |
| Pablo Rudomin Zevnovaty                                                                                                           | Fisiología, Biofísica y Neurociencias            | Investigador Nacional Emérito, SNI                                                                                                                                           |
| Enrique Hong Chong                                                                                                                | Farmacología y Toxicología                       | Premio Martín de la Cruz                                                                                                                                                     |
| Victor Tsutsumi Fujiyoshi                                                                                                         | Patología Experimental                           | Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, categoría profesional, en Ciencia de los Alimentos                                                                     |
| Martha Espinosa Cantellano                                                                                                        | Patología Experimental                           | Premio Lola e Igo Flisser-PUIS, UNAM                                                                                                                                         |
| Ricardo Pérez Fuentes, Ma. del Carmen Sánchez, Carlos González, Víctor M. Montón, Pedro A. Reyes López y José Luis Rosales Encina | Patología Experimental                           | Premio Dr. Rosenkranz, Área Clínica                                                                                                                                          |
| Laboratorio de Investigación en Materiales                                                                                        | Laboratorio de Investigación en Materiales, Qro. | Primer lugar en la modalidad de mejor desarrollo tecnológico, gobierno del estado de Querétaro                                                                               |
| Juan Pablo Martínez Soriano                                                                                                       | Biología y Bioquímica, Unidad Irapuato           | Premio a la mejor investigación, Universidad Autónoma de Nuevo León                                                                                                          |
| Victor Olalde Portugal                                                                                                            | Biología y Bioquímica, Unidad Irapuato           | Segundo premio en el Concurso sobre Tecnologías Apropriadas para la Prevención y Control de la Desertificación, Sequía y Degradación de Suelos en América Latina y el Caribe |
| Rosa María Farfán Márquez y José Alberto Huerta                                                                                   | Matemática Educativa                             | Mención especial del premio al mejor proyecto de investigación sobre los problemas de educación superior, ANUIES                                                             |
| María Lorena Hernández Yáñez                                                                                                      | Investigaciones Educativas                       | Premio a la mejor tesis sobre la educación superior, ANUIES                                                                                                                  |

Tabla 4. Proyectos de investigación institucionales.

| Área  | Núm. de proyectos |
|-------|-------------------|
| CEN   | 165               |
| CBS   | 259               |
| TCI   | 119               |
| CSH   | 39                |
| Total | 582               |

Tabla 5. Proyectos en ejecución.

| Área  | Proyectos en ejecución durante 1995 | Promedio en ejecución durante 1996 | Proyectos vigentes en algún trimestre de 1996 |
|-------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| CEN   | 176                                 | 146                                | 165                                           |
| CBS   | 149                                 | 226                                | 259                                           |
| TCI   | 133                                 | 101                                | 119                                           |
| CSH   | 25                                  | 32                                 | 39                                            |
| Total | 483                                 | 506                                | 582                                           |

Tabla 6. Proyectos vigentes.

| Área  | Proyectos iniciados en el periodo | Proyectos que concluyeron en el periodo | Proyectos que se prorrogaron |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| CEN   | 34                                | 31                                      | 21                           |
| CBS   | 57                                | 56                                      | 43                           |
| TCI   | 35                                | 26                                      | 19                           |
| CSH   | 9                                 | 9                                       | 16                           |
| Total | 135                               | 122                                     | 99                           |

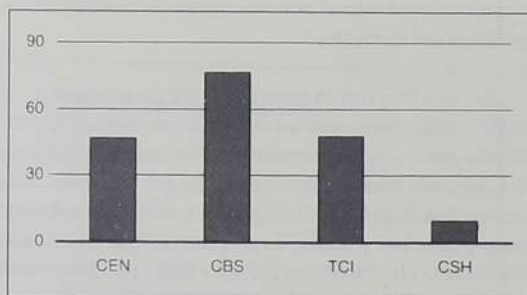


Figura 5. Proyectos CONACYT por área de investigación.

los proyectos en ejecución durante 1996 y la suma de todos los proyectos que estuvieron vigentes en, al menos, algún trimestre de 1996. El promedio de proyectos vigentes por trimestre en 1996 (506), representa un incremento de 5% en relación con el número de proyectos registrados en 1995.

Durante 1996 dieron inicio 135 proyectos de investigación y todos ellos recibieron apoyo complementario de alguna entidad. Asimismo, concluyeron 122 proyectos y 99 prorrogaron la fecha de terminación programada. En la tabla 6 se muestra el número de proyectos iniciados en 1996, el número de los que concluyeron y los que se prorrogaron. La información se desglosa por área de conocimiento.

En los proyectos que reciben cofinanciamiento externo, la fecha de terminación según convenio no siempre se cumple, ya que la terminación depende de la fecha real de flujo de los recursos financieros. En algunos casos, los investigadores solicitan prórroga por problemas inherentes al desarrollo de su proyecto o a la ampliación de las investigaciones.

## Proyectos con financiamiento externo (nacionales)

*Proyectos de investigación Conacyt.* El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología es la entidad con la que el Cinvestav suscribe el mayor número de convenios para desarrollar proyectos de investigación. Durante 1996, el Conacyt dio apoyo financiero para realizar 182 proyectos de investigación. Este número incluye 72 proyectos que iniciaron en 1996, así como 110 proyectos aprobados en años anteriores, pero todavía vigentes en 1996. En la Fig. 5 aparece la distribución del número de proyectos de investigación Conacyt que se desarrollaron en cada una de las áreas de conocimiento.

En 1996 se sometieron 105 proyectos de investigación al Conacyt, de los cuales 72 obtuvieron apoyo, es decir, 68% de los sometidos. El monto total asignado en los convenios fue de \$ 22 745 256. La distribución por áreas de conocimiento aparece en la tabla 7.

*Proyectos apoyados por otras entidades nacionales (proyectos intersectoriales).* Durante 1996 se suscri-

bieron 24 convenios intersectoriales para desarrollar proyectos de investigación cofinanciados por 13 entidades (tabla 8). Según las áreas de conocimiento, la distribución en número de proyectos intersectoriales se presenta en la tabla 9.

*Total de proyectos con cofinanciamiento nacional.* En 1996 estuvieron en ejecución 206 proyectos cofinanciados por alguna entidad nacional (incluye proyectos Conacyt y proyectos intersectoriales). En la Fig. 6 aparece la distribución, por áreas del conocimiento, del número de proyectos con cofinanciamiento nacional.

## Proyectos con financiamiento externo (internacionales)

*Proyectos bilaterales con participación del Conacyt.* En el financiamiento de los proyectos de cooperación bilateral participan las entidades de apoyo a la ciencia y las instituciones de investigación de la contraparte internacional; por la parte mexicana, el Cinvestav y el Conacyt. En este tipo de proyectos sólo se otorga apoyo para gastos de viajes de intercambio académico. En la tabla 10 se desglosa, por áreas, la información relativa al número de proyectos de cooperación bilateral que estuvieron vigentes durante 1996. Los países con los que se establecieron convenios de cooperación bilateral durante 1996 se especifican en la tabla 11.

*Proyectos bilaterales cofinanciados por entidades internacionales.* Durante 1996 se desarrollaron proyectos de investigación cofinanciados por las entidades internacionales incluidas en la tabla 12. La distribución por áreas de conocimiento de los proyectos cofinanciados por entidades internacionales de apoyo a la ciencia se indica en la tabla 13.

*Total de proyectos con cofinanciamiento internacional.* La Fig. 7 muestra el total de proyectos que recibieron apoyo económico internacional. Incluye los de cooperación bilateral cofinanciados con el Conacyt, así como los apoyados por organismos y entidades de diversos países.

*Total de proyectos con cofinanciamiento externo.* Se resume en la tabla 14 el número total de proyectos que recibieron apoyo económico de entidades o instituciones nacionales o internacionales.

Tabla 7. Proyectos de investigación Conacyt iniciados en 1996.

| Area  | Proyectos | Montos (\$) |
|-------|-----------|-------------|
| CEN   | 16        | 4 949 549   |
| CBS   | 24        | 8 451 845   |
| TCI   | 28        | 8 548 423   |
| CSH   | 4         | 795 439     |
| Total | 72        | 22 745 256  |

Tabla 8. Proyectos intersectoriales (instituciones).

| Institución                                                                | Area Cinvestav | Proyectos |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| Instituto de Investigaciones Eléctricas                                    | TCI            | 1         |
| Instituto Mexicano del Petróleo                                            | TCI, CBS       | 3         |
| Instituto Mexicano del Seguro Social                                       | CBS            | 2         |
| Instituto Nacional de Salud Pública                                        | CBS            | 1         |
| Instituto Nacional de Educación para Adultos                               | CSH            | 2         |
| Instituto Mexicano de Comunicaciones                                       | TCI            | 3         |
| Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior | TCI, CBS, CSH  | 4         |
| Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad           | TCI            | 1         |
| Consejo Nacional de Fomento Educativo                                      | CSH            | 2         |
| Fundación Mexicana para la Salud                                           | CBS            | 1         |
| Gobierno Municipal de Irapuato                                             | TCI            | 1         |
| Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca                   | CBS, CSH       | 2         |
| Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, gobierno de Quintana Roo   | CBS            | 1         |
| Total                                                                      |                | 24        |

Tabla 9. Proyectos intersectoriales (áreas).

| Area  | Proyectos |
|-------|-----------|
| CBS   | 9         |
| TCI   | 9         |
| CSH   | 6         |
| Total | 24        |

Tabla 10. Proyectos bilaterales CONACyT (áreas).

| Area  | Proyectos |
|-------|-----------|
| CEN   | 23        |
| CBS   | 16        |
| TCI   | 20        |
| Total | 59        |

Tabla 11. Proyectos bilaterales CONACyT (países).

| País            | Proyectos |
|-----------------|-----------|
| Alemania        | 3         |
| Argentina       | 1         |
| Cuba            | 24        |
| República Checa | 2         |
| España          | 2         |
| Estados Unidos  | 10        |
| Francia         | 14        |
| Italia          | 1         |
| Polonia         | 2         |
| Total           | 59        |

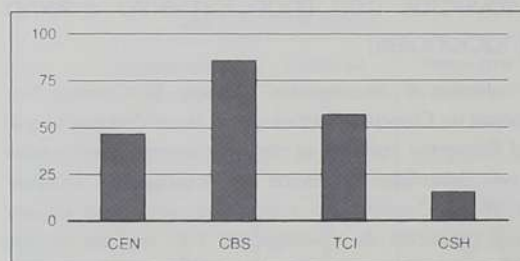


Figura 6. Proyectos con cofinanciamiento nacional por área de investigación (total).

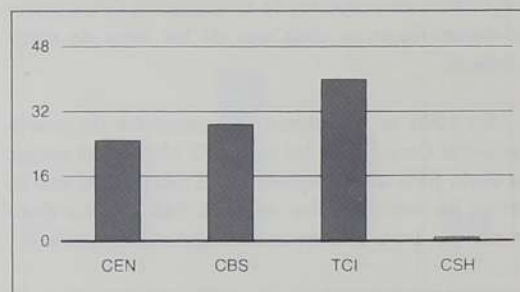


Figura 7. Proyectos con cofinanciamiento internacional por área de investigación

## Producción científica

De la tabla 15 a la 18 se presentan los resultados de investigaciones realizadas en el Cinvestav durante 1996. En los cuadros de artículos, memorias y libros, aparecen los trabajos publicados en ese año, así como aquellos que han sido aceptados para publicación.

## Programa de calidad educativa

Este programa está encaminado a garantizar la excelencia de la actividad académica en la formación de recursos humanos en las áreas de especialidad que maneja el Centro. Para tal fin se plantea la cuidadosa revisión, actualización y/o mejora de los diferentes programas de maestría y doctorado, a cargo de los órganos colegiados de la institución.

## Estudios de posgrado

*Programas de maestría y doctorado.* Continuaron en operación los 22 programas de maestría en ciencias (M) y los 24 programas de doctorado en ciencias (D) en las diversas especialidades que se atienden en el Cinvestav (tabla 19).

*Cursos de posgrado.* El número de cursos de posgrado impartidos durante 1996 fue de 559, como se muestra en la tabla 20, por área del conocimiento.

*Programas nuevos.* Se presentaron para evaluación tres nuevos programas de posgrado, uno de la Unidad Distrito Federal y dos de una unidad y un laboratorio foráneos, en las siguientes especialidades: Ecología Humana, Sección de Ecología Humana-U. Mérida; Materiales, Laboratorio de Investigación en Materiales-Qro.; Teoría y Metodología de la Ciencia, Sec. de Metodología y Teoría de la Ciencia. Estos programas, de ser aprobados, iniciarán cursos en septiembre de 1997.

## Formación de maestros y doctores en ciencias

*Alumnos atendidos.* Durante 1996 se atendió a 1 671 alumnos en los programas de prerequisites, maestría y doctorado, lo que significó un 3.6% de aumento con respecto al año anterior. La distribución se muestra en

la tabla 21 en términos del tipo de programa, y la distribución de los alumnos por áreas del conocimiento se da en la tabla 22.

En la Fig. 8 se muestra la distribución de los alumnos por tipo de programa, en las cuatro áreas del conocimiento. La disminución de alumnos en el Área de Ciencias Biológicas y de la Salud y el incremento en el Área de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, respecto al año anterior, se debe a que los programas de maestría y doctorado de Biotecnología de Plantas, con sus 119 alumnos, se reclasificaron en el Área de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, por considerarse que conceptualmente corresponden más a esta última.

En las unidades foráneas del Cinvestav se atendió a 316 alumnos, que representan 19% del total, distribuidos en la tabla 23. El aumento en la atención de alumnos en las unidades foráneas fue de 21%. A este aumento contribuyeron los 46 alumnos del programa de maestría en Ingeniería Eléctrica, del Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, que se inició en septiembre de 1995.

*Maestros y doctores graduados.* Durante 1996 se graduaron 171 maestros y 52 doctores en ciencias. La distribución por área del conocimiento se muestra en la tabla 24.

La disminución de graduados en los programas de maestría (-2.8%) se debe en parte al aumento del número de estudiantes que ya no obtienen la maestría por ingresar directamente a los programas de doctorado. En la Fig. 9 se muestra la distribución de alumnos graduados de maestría y doctorado por área del conocimiento.

## Becas de estudio

*Becas otorgadas por el Cinvestav.* En 1996 el Cinvestav apoyó a 310 estudiantes que no tuvieron beca de alguna institución externa o a los cuales se les terminó la beca sin haber concluido su programa de estudios. En la tabla 25 se muestra la distribución de estas becas por área.

*Becas otorgadas por el Conacyt.* En el período, 1 151 alumnos recibieron una beca del Conacyt. Los becarios Conacyt se distribuyeron por área del conocimiento según se muestra en la tabla 25.

Tabla 12. Proyectos bilaterales (entidades extranjeras).

| Entidad                                                                   | Area     | Proyectos |
|---------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| Comisión Europea                                                          | CEN      | 1         |
| Comisión Europea                                                          | CBS      | 6         |
| Comisión Europea                                                          | TCI      | 6         |
| Ciencia y Tecnología para el Desarrollo                                   | TCI, CEN | 4         |
| National Institutes of Health, EUA                                        | CBS      | 1         |
| Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia                           | CBS      | 1         |
| Mac Arthur Foundation, EUA                                                | CBS      | 1         |
| Rockefeller Foundation, EUA                                               | TCI      | 4         |
| Howard Hughes Medical Institute, EUA                                      | CBS, TCI | 2         |
| Agencia Internacional de Energía Atómica, ONU                             | TCI      | 2         |
| Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, ONU                   | CBS      | 1         |
| Volkswagen Foundation, Alemania                                           | CBS      | 1         |
| International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology, ONU       | TCI      | 2         |
| Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación | TCI      | 1         |
| Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola, Costa Rica              | TCI      | 1         |
| Organización Panamericana de la Salud, OMS                                | CBS      | 1         |
| Spencer Foundation, EUA                                                   | CSH      | 1         |
| Total                                                                     |          | 36        |

Tabla 13. Proyectos bilaterales (áreas).

| Area  | Proyectos |
|-------|-----------|
| CEN   | 2         |
| CBS   | 13        |
| TCI   | 20        |
| CSH   | 1         |
| Total | 36        |

Tabla 14. Proyectos (totales) con financiamiento externo.

| Area  | Proyectos |
|-------|-----------|
| CEN   | 72        |
| CBS   | 115       |
| TCI   | 97        |
| CSH   | 17        |
| Total | 301       |

Tabla 15. Artículos en revistas nacionales e internacionales.

| Area  | Internacionales |            | Nacionales |            |
|-------|-----------------|------------|------------|------------|
|       | aceptados       | publicados | aceptados  | publicados |
| CEN   | 58              | 167        | 5          | 14         |
| CBS   | 88              | 119        | 7          | 25         |
| TCI   | 63              | 99         | 9          | 33         |
| CSH   | 7               | 25         | 8          | 41         |
| Total | 216             | 410        | 29         | 113        |

Tabla 16. Memorias en congresos nacionales e internacionales.

| Area  | Internacionales |            | Nacionales |            |
|-------|-----------------|------------|------------|------------|
|       | aceptados       | publicados | aceptados  | publicados |
| CEN   | 4               | 63         | 3          | 9          |
| CBS   | 23              | 56         | -          | 17         |
| TCI   | 14              | 104        | 1          | 81         |
| CSH   | 12              | 49         | 5          | 8          |
| Total | 53              | 272        | 9          | 115        |

Tabla 17. Libros.

| Area  | Capítulos en libros |            | Libros    |            |
|-------|---------------------|------------|-----------|------------|
|       | aceptados           | publicados | aceptados | publicados |
| CEN   | 6                   | 1          | 1         | 5          |
| CBS   | 11                  | 30         | 3         | 4          |
| TCI   | 20                  | 19         | 5         | 3          |
| CSH   | 28                  | 49         | 21        | 29         |
| Total | 65                  | 99         | 30        | 41         |



## Programa de gestión tecnológica

En virtud de que una parte de la investigación realizada en el Cinvestav tiene aplicación en el sector productivo, existe la necesidad de potenciar y desplegar las capacidades institucionales con el fin de fortalecer los canales de vinculación con este sector. El Centro ha trabajado mediante este programa en la definición y el establecimiento de las políticas de gestión tecnológica que le permitan transferir conocimientos y tecnología a la planta productiva del país.

## Transferencia de tecnología

En la tabla 26 aparece el número de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que han sido cofinanciados por la industria nacional e internacional; destaca la vinculación con el sector productivo que mantiene el área de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería, que tiene como uno de sus objetivos principales la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico.

## Colaboración industrial

Las empresas e instituciones con las que se suscribieron convenios de colaboración se señalan en la tabla 27.

## Conclusiones

A lo largo de sus 36 años de existencia el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN ha logrado cumplir sus funciones: realizar investigación científica y tecnológica de excelencia y formar recursos humanos de alto nivel. En 1995, el mayor problema que enfrentó la presente administración en su primer año de gestión fue conservar las funciones sustantivas del Cinvestav frente a la muy considerable reducción presupuestal ocasionada por los efectos devaluatorios e inflacionarios de la crisis económica por la que atraviesa el país. Se estableció por ello una estrategia de ajuste presupuestal que, sumada a la consecución de fondos extraordinarios, permitió sortear con éxito un año particularmente crítico: no sólo se igualaron las metas logradas en 1994, sino que se superaron ampliamente.

En 1996 se continuó la marcha ascendente. Una vez lograda cierta mejora presupuestal era pertinente seguir una política de crecimiento planificado y equilibrado del Cinvestav, basada en las siguientes premisas:

- Fortalecer la planta académica del Centro con la incorporación de investigadores jóvenes y de expertos extranjeros.

Tabla 18. Comunicaciones presentadas en congresos nacionales e internacionales.

| Area  | Internacionales | Nacionales |
|-------|-----------------|------------|
| CEN   | 67              | 53         |
| CBS   | 116             | 197        |
| TCI   | 72              | 91         |
| CSH   | 51              | 47         |
| Total | 306             | 388        |

Tabla 19. Programas de maestría (M) y doctorado (D).

|                                              |   |                |
|----------------------------------------------|---|----------------|
| Ciencias Exactas y Naturales (CEN)           |   |                |
| Física                                       | M | D              |
| Física Aplicada                              | M | D              |
| Física Teórica                               |   | D              |
| Matemáticas                                  | M | D              |
| Fisicoquímica                                | M | D              |
| Química Orgánica                             | M | D              |
| Química Inorgánica                           | M | D              |
| Ciencias Biológicas y de la Salud (CBS)      |   |                |
| Biología Celular                             | M | D              |
| Biomedicina Molecular                        | M | D              |
| Bioquímica                                   | M | D              |
| Farmacología                                 | M | D              |
| Toxicología                                  | M | D              |
| Fisiología                                   | M | D              |
| Biofísica                                    |   | D              |
| Neurociencias                                |   | D              |
| Genética y Biología Molecular                | M | D              |
| Patología Experimental                       | M | D              |
| Biotecnología de Plantas                     | M | D              |
| Biología Marina                              | M |                |
| Ciencias Marinas                             |   | D              |
| Tecnología y Ciencias de la Ingeniería (TCI) |   |                |
| Biotecnología                                | M | D              |
| Ingeniería Eléctrica                         | M | D              |
| Ingeniería Metalúrgica                       | M | D              |
| Metalurgia no ferrosa                        | M | en liquidación |
| Ciencias Sociales y Humanidades (CSH)        |   |                |
| Investigaciones Educativas                   | M | D              |
| Matemática Educativa                         | M | D              |

Tabla 20. Cursos de posgrado.

| Area  | 1996 | 1995 |
|-------|------|------|
| CEN   | 127  | 124  |
| CBS   | 128  | 150  |
| TCI   | 240  | 185  |
| CSH   | 64   | 43   |
| Total | 559  | 502  |

Tabla 21. Alumnos atendidos (programas).

| Programa       | Alumnos |       |
|----------------|---------|-------|
|                | 1996    | 1995  |
| Doctorado      | 591     | 572   |
| Maestría       | 903     | 893   |
| Prerrequisitos | 177     | 148   |
| Total          | 1 671   | 1 613 |

Tabla 22. Alumnos atendidos (áreas).

| Area  | Alumnos |       |
|-------|---------|-------|
|       | 1996    | 1995  |
| CEN   | 359     | 349   |
| CBS   | 476     | 611   |
| TCI   | 592     | 445   |
| CSH   | 244     | 208   |
| Total | 1 671   | 1 613 |

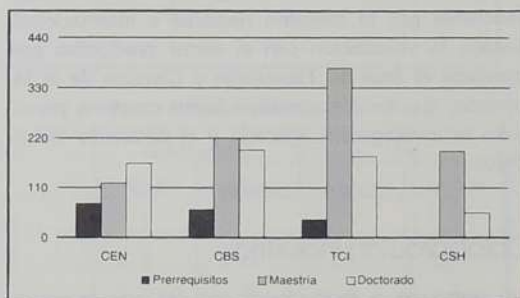


Figura 8. Alumnos atendidos por área de investigación, enero-diciembre de 1996.

- Brindar mejores opciones para el desarrollo profesional de los investigadores incrementando el salario y los estímulos y ampliando las categorías de promoción académica.
- Establecer los órganos colegiados estipulados en el Decreto de creación y fijar las normas que rijan la vida institucional.
- Agilizar los procedimientos administrativos y atender puntualmente la normativa, cada vez más prolija y demandante.
- Analizar el estado de vinculación del trabajo académico con el sector productivo para definir una política institucional de gestión tecnológica.
- Reforzar la presencia del Cinvestav en el sector público y en el medio académico nacional e internacional.

El Programa de Liderazgo Científico permitió incrementar durante 1996 en 4% el total de investigadores, repatriar a 13 investigadores mexicanos e incorporar como profesores visitantes a nueve científicos extranjeros. El porcentaje de investigadores sin grado de doctor se redujo de 19 a 15 y el de profesores sin inscripción al doctorado disminuyó de 4.8 a 2.6. A su vez, 13 investigadores iniciaron estancias posdoctorales en el extranjero. En 1995 los investigadores de la categoría de Investigador Cinvestav 1 representaban 11.5% del total; en el año siguiente, el porcentaje respectivo bajó a 8, por la promoción a categorías superiores. En 1996 se creó la categoría de Investigador Cinvestav 3F para los líderes científicos con amplio reconocimiento internacional. El Centro introdujo una importante innovación al considerar sólo elementos cualitativos para esta categoría. Una vez realizada la evaluación de la categoría F, y de acuerdo con lo autorizado por la Junta Directiva y sancionado por el Consejo Académico Consultivo, se procedió al nombramiento de los cuatro primeros investigadores eméritos. En la promoción 1996 el número de miembros del Centro incorporados al Sistema Nacional de Investigadores aumentó 9%, particularmente en el nivel II, en el que el incremento fue de 23%. El número de proyectos de investigación científica o tecnológica vigentes en 1996 (506) fue semejante al programado y superior en 5% al alcanzado en 1995, en tanto que el número de publi-

caciones internacionales producidas en 1996 (630) superó en 33% el del año anterior. Durante 1996 el Conacyt dio apoyo financiero a 182 proyectos de investigación, de los cuales 110 habían sido aprobados en años anteriores y 72 comenzaron en ese año; estos últimos representan 68% de los 105 proyectos sometidos a la aprobación del Conacyt por investigadores del Centro, y recibieron apoyo por un monto total de \$ 22 745 000.

Con el Programa de Calidad Educativa continuaron en operación los 22 programas de maestría en ciencias y los 24 de doctorado en ciencias en las diversas especialidades que se cultivan en el Cinvestav. Fueron impartidos 559 cursos de posgrado, 10% más que el año anterior. Se presentaron para evaluación tres nuevos programas de posgrado, uno de la Unidad Distrito Federal y dos de una unidad y un laboratorio foráneos, en las especialidades de teoría y metodología de la ciencia, ecología humana y materiales, para comenzar en septiembre de 1997, en caso de ser aprobados. Durante 1996 se atendió a 1 671 alumnos en los programas de prerequisites, maestría y doctorado; esta cifra representa un aumento de 3.6% respecto al año anterior, pero en el caso de las unidades foráneas el aumento fue de 21%, por lo que en la actualidad uno de cada cinco alumnos de posgrado del Cinvestav recibe su adiestramiento fuera de la capital. En el periodo enero-diciembre de 1996 se graduaron 171 maestros y 52 doctores en ciencias, cifras muy semejantes a las del año anterior; se espera que en el futuro próximo el número de graduados en el doctorado aumente considerablemente. Las becas otorgadas por el Centro crecieron 110% con respecto a 1995; en cambio, las 1 151 becas otorgadas por el Conacyt representaron un incremento de sólo 2% con relación a las becas asignadas el año anterior.

El Programa de Gestión Tecnológica se aplicó fundamentalmente al área de Tecnología y Ciencias de la Ingeniería. En total se concluyeron 39 proyectos de investigación y 1 221 servicios de laboratorio y cursos, y se obtuvieron nueve patentes internacionales y ocho nacionales. Asimismo, durante el periodo se suscribieron convenios de colaboración con 26 empresas nacionales y extranjeras.

Como parte del Programa de Legislación Académica funcionaron regularmente en 1996 la

Tabla 23. Alumnos atendidos (unidades foráneas).

| Unidad                                           | Alumnos |      |
|--------------------------------------------------|---------|------|
|                                                  | 1996    | 1995 |
| Unidad Irapuato                                  | 119     | 113  |
| Unidad Mérida                                    | 46      | 27   |
| Unidad Saltillo                                  | 83      | 68   |
| Lab. de Ingeniería Eléctrica y Computación-Guad. | 68      | 53   |
| Total                                            | 316     | 261  |

Tabla 24. Maestros y doctores graduados.

| Area  | 1996     |           | 1995     |           |
|-------|----------|-----------|----------|-----------|
|       | Maestría | Doctorado | Maestría | Doctorado |
| CEN   | 29       | 18        | 35       | 13        |
| CBS   | 60       | 9         | 55       | 19        |
| TCI   | 53       | 14        | 62       | 11        |
| CSH   | 29       | 11        | 24       | 6         |
| Total | 171      | 52        | 176      | 49        |

Tabla 25. Becarios por área.

| Area  | CINVESTAV |      | CONACYT |       |
|-------|-----------|------|---------|-------|
|       | 1996      | 1995 | 1996    | 1995  |
| CEN   | 84        | 23   | 223     | 230   |
| CBS   | 104       | 75   | 333     | 329   |
| TCI   | 105       | 40   | 454     | 458   |
| CSH   | 17        | 9    | 131     | 112   |
| Total | 310       | 147  | 1 151   | 1 129 |

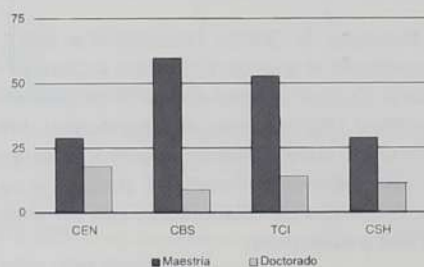


Figura 9. Alumnos graduados por área de investigación, enero-diciembre de 1996.

Tabla 26. Transferencia de tecnología.

| Area  | Proy. de inv. y desarrollo con industrias | Servicios de laboratorio y cursos | Patentes internacionales | Patentes nacionales |
|-------|-------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| CEN   | 4                                         | 1                                 |                          |                     |
| CBS   | 6                                         | 6                                 | 1                        |                     |
| TCI   | 28                                        | 1 209                             | 8                        | 8                   |
| CSH   | 2                                         | 5                                 |                          |                     |
| Total | 39                                        | 1 221                             | 9                        | 8                   |

Tabla 27. Colaboración industrial.

| Empresa/Institución                                                  | Departamento o Unidad                                               |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Sinápsis, S.A. de C.V.                                               | Biotechnología y Bioingeniería                                      |
| Pemex-Refinación                                                     | Biotechnología y Bioingeniería                                      |
| CERECHEM, Co.                                                        | Biotechnología y Bioingeniería                                      |
| Fundación Mexicana para la Salud                                     | Farmacología y Toxicología                                          |
| PROQUIFIN                                                            | Genética y Biol. Molecular                                          |
| PAIDOS                                                               | Investigaciones Educativas                                          |
| Centro Nacional Editor de Discos Compactos                           | Investigaciones Educativas                                          |
| Cargil de México, S.A. de C.V.                                       | Lab. de Investigación en Materiales, Qro.                           |
| DICONSA                                                              | Lab. de Investigación en Materiales, Qro.                           |
| Instituto Nacional de Ecología                                       | U. Mérida-Recursos del Mar                                          |
| Calizas Industriales del Carmen                                      | U. Mérida-Recursos del Mar                                          |
| Consortio de Desarrollos y Promociones Inmobiliarias H, S.A. de C.V. | U. Mérida-Recursos del Mar                                          |
| Cemarnap/S.S.S. "24 de Febrero"                                      | Ecología Humana, Recursos del Mar- U. Mérida                        |
| Frexport                                                             | U. Irapuato-Ing. Genética                                           |
| Fundación Produce Tabasco, A.C.                                      | U. Irapuato-Ing. Genética                                           |
| Industrial Orgánica, S.A. de C.V.                                    | U. Irapuato-Ing. Genética                                           |
| Sanfor Scientific, Inc.                                              | U. Irapuato-Ing. Genética                                           |
| Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V.                                        | U. Saltillo                                                         |
| HYLSA, S.A. de C.V.                                                  | U. Saltillo                                                         |
| Centro de Investigación y Desarrollo CONDUMEX                        | U. Saltillo                                                         |
| CIFUNSA, S.A. de C.V.                                                | U. Saltillo                                                         |
| Grupo IMSA-ENERMEX                                                   | U. Saltillo                                                         |
| Galvak, S.A.                                                         | U. Saltillo                                                         |
| Stabilus, S.A. de C.V.                                               | U. Saltillo                                                         |
| TAMSA, S.A. de C.V.                                                  | U. Saltillo                                                         |
| AT&T                                                                 | Lab. Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, Guadalajara |

Comisión de Promoción y Estímulos para los Investigadores y la Comisión Evaluadora Institucional y por vez primera sesionó regularmente el Consejo Académico Consultivo (CAC). Trabajaron además la Comisión de Tecnología, el Consejo de Coordinadores Académicos y los comités de Ética y Bioseguridad, de Seguridad, de Usos y Cuidados de Animales de Laboratorio, de Insectario y de Protección Radiológica. En el transcurso del año se establecieron 12 reglamentos, de los cuales cuatro fueron concluidos, tres están en discusión en el CAC y cinco se encuentran en etapa de anteproyecto. Se otorgaron además 31 nombramientos académico-administrativos.

Con el Programa de Descentralización Institucional se concluyó en la Unidad Irapuato la primera planta del nuevo edificio, con aportación del gobierno del Estado de Guanajuato, que completará también la segunda planta. Esta unidad fue designada Centro de Adiestramiento en Biotecnología para América Latina y el Caribe por la Unesco, en ceremonia presidida por el asesor especial del director general de esta organización. La Unidad Mérida retomó un rumbo ascendente con el nombramiento del nuevo director, la incorporación de nuevos investigadores y la planeación de dos nuevos programas de posgrado. A su vez, la Unidad Saltillo desarrolló un vigoroso proceso de consolidación con el incremento del personal académico, mejor infraestructura experimental, la creación del área de materiales cerámicos y la ocupación de un nuevo edificio. El Laboratorio de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación en Guadalajara aumentó su planta académica en 57% y su matrícula estudiantil en 45%, si bien no se ha logrado aún regularizar el terreno. En cambio, en Querétaro se inició el proyecto para construir las instalaciones de la futura unidad en los terrenos cedidos por el gobierno del estado y se celebró, con la presencia del presidente de la República, el convenio tripartita entre la UNAM, la UAQ y el Cinvestav.

Mediante el Programa de Intercambio y Cooperación se firmaron convenios de colaboración académica con la UNAM, la UAM, la UAQ, el ININ y el Instituto Nacional de Ortopedia, así como con las siguientes instituciones extranjeras: Instituto Pasteur, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Universidad Politécnica de Madrid, Université de Laval, University of Maryland y Fermi National Accelerator Laboratory.

El Programa de Difusión condujo a la publicación de seis números de la revista *Avance y Perspectiva*, el *Anuario 1994* y el *Anuario 1995*, así como a la liberación de 13 páginas-casa para Internet. Para celebrar los 35 años de la fundación del Cinvestav se organizaron 64 actos académicos y varias actividades culturales y deportivas.

En el Programa de Planeación Estratégica se inició la integración del plan de desarrollo institucional, con el fin de establecer las estrategias generales del Cinvestav y las particulares de cada dependencia, acordes con el Programa de Ciencia y Tecnología y con el Programa de Desarrollo Educativo, derivados del Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000. Este se ha complementado con dos estudios de diagnóstico: el comparativo de indicadores de gestión académica y el seguimiento de egresados en el mercado laboral, así como con el simposio de vinculación con el sector productivo.

El Programa de Apoyo Técnico y Administrativo tuvo entre sus logros, en los servicios de apoyo técnico, una considerable ampliación de la red de cómputo (CinvesRed) y la reorganización del bioterio, que llegó en 1996 a integrar 48% más de animales para la investigación científica que en 1995. A su vez, en los servicios de apoyo administrativo, se avanzó significativamente en el establecimiento del sistema automatizado de información financiera.

Con el Programa de Mejoramiento de Infraestructura se logró completar el macroproyecto, con lo que se dispone de 21 000 m<sup>2</sup> de nuevas instalaciones que amplían considerablemente la capacidad del Centro en Zacatenco. Se iniciaron remodelaciones en 14 edificios del Centro; al de la Sección de Terapéutica Experimental se le dio también mantenimiento.

Dentro del Programa de Relaciones Laborales se realizaron diversos trámites ante las secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Educación Pública para obtener los recursos que permitieran cubrir los incrementos salariales autorizados a esta institución en los meses de febrero, mayo y septiembre de 1996. Se concluyeron los trámites para lograr la autorización y el registro de las Condiciones Generales de Trabajo que regirán en el Cinvestav por el periodo 1996-1999. Con la representación sindical se realizaron varias reuniones para atender asuntos de interés general y así mantener

un clima laboral de previsión de conflictos, entre ellos la demanda con emplazamiento a huelga de julio de 1996.

La medida más importante para el mejoramiento de la gestión y el logro programático de metas y objetivos ha sido la puesta en operación del Plan de Desarrollo Institucional (PDI). La instrumentación de los diferentes programas de acción delineados en el PDI se ha seguido conforme a las tres fases contempladas: (a) conservación de inercia; (b) balance y crecimiento, y (c) consolidación y normalización de las funciones de la institución.

Considerando el trabajo realizado en 1995 y 1996 y de acuerdo con el plan institucional, la proyección a mediano plazo es la conclusión de las tareas emprendidas, el funcionamiento de los órganos institucionales y la puesta en marcha de un sistema de autoevaluación y retroalimentación. Ello permitirá a la institución continuar con una trayectoria ascendente, que fortalezca su posición de liderazgo nacional.





**Máquinas vivientes: ¿Cómo se mueven las células?**, Isaura Meza y Eugenio Frixione, serie La Ciencia desde México, FCE, 1996

## ¿Cómo se mueven las células?

**Ruy Pérez Tamayo**

"La realidad —nos dice Borges—

es mucho más fantástica y menos creíble que los sueños". Creo que lo que encierra la proposición del poeta argentino seguramente incluye alguna explicación del hecho que nos presenta en forma tan característicamente escueta. ¿Será porque la reiteración de lo cotidiano ha embotado nuestros sentidos al grado de transformar lo extraordinario en algo que deja de llamarnos la atención, si no es que de plano nos aburre? Recuerdo la primera vez que pasé un invierno en Boston y me tocó ver abrirse las flores al llegar la primavera, el 21 de marzo, a pesar de que estaba nevando y siguió nevando hasta el día 1 de mayo. No sólo me asombré ante la incongruencia de ver crecer flores en la nieve, sino ante la total indiferencia de los nativos, a los que les divertía que yo viera algo extraordinario en lo que para ellos era lo más natural del mundo. Algo semejante nos pasa con la famosa pregunta de Leibniz: "¿Por qué existen el mundo y las cosas, en lugar de que no exista nada?". La existencia nos parece tan natural

El Dr. Ruy Pérez Tamayo es profesor titular de la Facultad de Medicina de la UNAM. Texto leído en la presentación del libro de Isaura Meza y Eugenio Frixione el 8 de mayo pasado. Este mismo texto fue publicado en *La Jornada*, 2/06/97.

que al principio ni siquiera entendamos la duda que nos plantea el pensador alemán, pero si lo meditamos un momento nos daremos cuenta de que se trata de uno de los problemas filosóficos más antiguos y profundos, que ha dado origen, entre otras cosas, al pensamiento religioso. Seguramente lo que más trabajo le cuesta entender al pez es el agua.

Isaura Meza y Eugenio Frixione nos presentan ahora un libro sobre uno de los aspectos más increíbles y maravillosos de la naturaleza: el movimiento de los seres vivos. Lo inician diciendo: "la vida es movimiento" y a partir de esta sencilla proposición proceden a desenrollar ante nuestros ojos cada vez más admirados el milagroso mecanismo molecular que hace posible lo que a todas luces es imposible, pero que sin embargo ocurre todos los días y a todas horas, desde los niveles más simples hasta los más complejos de organizaciones biológicas.

El relato que nos entregan no puede ser más completo: se inicia con la descripción detallada de la fabricación y el ensamble de la maquinaria necesaria para que la célula se mueva; sigue con el examen de las fuentes de la energía que debe invertirse para que el fenómeno ocurra; continúa con el análisis de las estructuras móviles más simples, que son las enzimas y los polímeros que les sirven de apoyo al soporte (el citoesqueleto). Después se refiere a algunos aparatos de motilidad coordinada, como los cromatóforos, los cilios y los flagelos (que incluyen ese portento llamado axonema, caracterizado por los autores

como "pequeña obra maestra de la ingeniería natural") y el sarcómero, que es "la maquinaria más perfecta y poderosa que ha creado la evolución". Los autores señalan: "Es esta maquinaria molecular la que produce el brutal coletazo de una ballena, el raudo aleteo de un mosquito, el salto exacto de un trapecista y el arrebatador manejo del teclado de un virtuoso del piano. Su capacidad de transformación material del mundo ha quedado de manifiesto, con proporciones monumentales, en las pirámides de Egipto y Mesoamérica, las catedrales góticas de Europa y la Gran Muralla China". El examen del mecanismo de la contracción de la célula muscular es un modelo de claridad y precisión. Los autores concluyeron su libro con los movimientos generados por la combinación de los dos tipos generales de máquinas moleculares, las basadas en tubulina y sus motores asociados, y las constituidas por actina y miosina, o sea la descripción de la mitosis, y con una nota breve sobre la regulación del movimiento celular en sistemas multicelulares.

Como corresponde a una obra moderna de biología celular, el libro de Meza y Frixione es reduccionista y mecanicista; éstos no son defectos sino virtudes, ya que permiten acercarse a los fenómenos en forma objetiva y sin claudicar en la actitud crítica y analítica frente a los aspectos más complejos y difíciles de la realidad. Esta postura no está exenta de cierto estoicismo y requiere gran fortaleza de espíritu y determinación firme para no caer en la tentación de incluir propósitos o causas finales a los fenómenos ob-

servados, especialmente cuando ésta sería la "explicación" más fácil, y además no parece haber ninguna otra para ellos. Los autores nos advierten desde el principio que no van a tocar aspectos del movimiento celular para los que existe poca o ninguna información: "Se menciona sólo brevemente todo cuanto toca a la regulación del movimiento celular, dado que constituye un campo en el que aparte de la intervención casi universal del ion calcio no existe un esquema teórico de validez general equivalente a los que han logrado establecerse en relación con los aspectos propiamente mecánicos de la motilidad, o con la síntesis de las proteínas que desempeñan un papel central en tales procesos".

El libro de Meza y Frixione está escrito en lenguaje sencillo y claro, e ilustrado con figuras atractivas que facilitan la comprensión de los conceptos explicados en el texto. Pero no es un libro fácil de leer, sino todo lo contrario: requiere de mucha atención y cuidado, porque contiene gran cantidad de información que debe incorporarse y tenerse presente conforme se avanza en sus páginas. El esfuerzo de los autores por ser explícitos y presentar los datos en forma accesible es aparente, pero no hacen compromisos con la realidad y al pan le llaman pan y al vino vino. El mecanismo de biosíntesis de las proteínas o el ensamble de la actina con otras moléculas para formar el citoesqueleto, o el del deslizamiento de la actina y la miosina durante la contracción muscular, son fenómenos complejos y difíciles de captar en la primera lectura, especialmente por los jóvenes a los que está dirigido

primariamente este volumen. De modo que para aprovecharlo bien y en todo lo que vale, tendrá que ser leído con toda atención y seguramente más de una vez. La recompenza a este esfuerzo se hace aparente desde las primeras páginas, porque los fenómenos que describe parecen formar parte del mundo "real maravilloso" de Alejo Carpentier, de Gabriel García Márquez o de José Saramago. ¿Hay algo más extraordinario, más bien organizado, más eficiente y más perfecto que los mecanismos moleculares de codificación de la información genética, de transcripción y de traducción de esa información, y de la regulación de su expresión fenotípica? Cuando se lee la manera como se transforma la energía química en energía mecánica y se activan los motores moleculares que resultan en el movimiento celular, se tiene la misma sensación que cuando la paloma mecánica diseñada por el Padre Bartolomeu Lourenco en *Memorial del convento*, de Saramago, agita las alas y se levanta del suelo, llevando dentro al Padre, a Blímunda y a Baltasar Sietesoles, o cuando Remedios la Bella vuela al cielo llevándose las sábanas de Fernanda del Carpio, en *Cien años de soledad*, de García Márquez.

Quisiera terminar con una referencia de tipo personal. Tengo el privilegio de conocer a Isaura Meza desde hace ya algunos años, cuando ella todavía era estudiante, y de haber cultivado una amistad con ella que, aunque lejana, siempre se ha caracterizado por su suavidad y cortesía. Leyendo el libro que Isaura ha escrito con Eugenio Frixione recordé la manera como Cervantes inicia el prólogo de *El Quijote*, diciendo: "Desocupado lector, sin ju-

ramento me podrás creer que quisiera que este libro, como hijo del entendimiento, fuera el más hermoso, el más gallardo y discreto que pudiera imaginarse. Pero no he podido yo contravenir a la orden de la naturaleza; que en ella cada cosa engendra a su semejante..." El

libro de Isaura no sólo es hermoso, gallardo y discreto, sino además elegante, serio, inteligente, fino, amable y original, y posee un encanto difícil de precisar pero que probablemente resulta de la combinación armoniosa de todas las cualidades mencionadas. Como Isaura.

## Abrir el universo del movimiento celular

### Herminia Pasantes

Es para mí un placer acompañar a mis amigos Isaura y Eugenio en esta ocasión. Es una ocasión muy especial porque representa la culminación de un esfuerzo muy grande por varias razones. Entre ellas, el que los autores son esencialmente investigadores. Eso implica, por supuesto, el esfuerzo de creación, imaginación y análisis que conlleva la actividad de un científico en cualquier disciplina. Además, como son investigadores en biología celular, necesitan muchos recursos materiales y para conseguirlos tienen que llenar solicitudes de donativos a diversas instituciones, y cuando ya tienen el dinero tienen que recorrer el viacrucis de los varios estratos de burocracia, institucional, interinstitucional, nacional, etc.

Tienen reconocimiento internacional. Deben viajar a exponer sus resultados, preparar sus diapositivas, con las técnicas más sofisticadas, para que no desmerezcan ante las de los que disponen de departamentos eficientes, en manos de profesionales dedicados exclusivamente a este propósito, tienen

que sufrir el *jetlag*... Además, son profesores, dan clases en la licenciatura, tienen estudiantes de posgrado, hacen enseñanza tutorial, tienen cargas académicas administrativas, en fin... Por todo esto es especialmente apreciable que hayan encontrado el tiempo para escribir este libro.

Un libro escrito por dos autores representa siempre un reto adicional, pero que tiene sus ventajas. Sobre todo cuando, como en este libro, se tiene la impresión de que está escrito por una sola persona. Es de una unidad notable, que no se ve a veces ni aun en los libros de un solo autor. Entonces, o bien los autores están muy identificados, lo cual por el conocimiento que tengo de ellos no parece totalmente obvio (aunque, bueno, uno nunca sabe), o bien el texto del que hoy nos ocupamos debe ser el producto de innumerables discusiones (qué tan armónicas no lo sabemos), de argumentaciones sin fin sobre éste o el otro enfoque, sobre ésta o la otra forma de transmitir la idea, sobre ésta o la otra forma de ilustrar un párrafo. Pero no cabe duda que, como en todo, estas discusiones no han hecho sino enriquecer las ideas y el producto de esto lo vemos aquí.

*La Dra. Herminia Pasantes es investigadora titular del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM.*

Es un libro en el que se percibe la solidez del conocimiento de los especialistas pero que es de una sencillez sorprendente. Se lee como llevado de la mano por un experto que ha recorrido este camino muchas veces, en la cátedra, en el devenir diario de la exploración de la célula, año tras año. Y casi sin sentir, el lector se descubre ya iniciado en el tema del movimiento celular, pero luego de haber aprendido de la manera más gentil los grandes pilares de la biología celular, de la bioquímica, de la genética. Los elementos de la transmisión de los caracteres hereditarios, los fundamentos de la obtención de la energía, de la síntesis de las proteínas, de la duplicación celular.

Luego se abre el universo del movimiento. Que en biología es un fenómeno fundamental, y que aun los biólogos de formación como yo, a veces no tenemos presente. Acostumbrados como estamos a la visión macroscópica del fenómeno, es decir, a que se mueven las manos, los pies, a que los atletas corren o saltan o nadan o como dice bellísimo en una de las páginas al virtuoso movimiento de las manos de un pianista, perdemos a veces la concepción y la importancia del movimiento a nivel celular o subcelular. Movimiento es el de los linfocitos, que tienen que recorrer distancias enormes, y a veces atravesar una verdadera barrera de células para llegar al cerebro y rescatarlo de un ataque viral o bacteriano; el de los macrófagos, esos guardianes de la limpieza. Hay movimientos espectaculares; tal vez uno de los mayores es el del ansioso espermatozoide, interesado en ganar la carrera que justifica su existencia,



de vida o muerte, esa sí, no como la muy famosa de los 100 metros. Hay los movimientos malvados, que quisiéramos conocer para detener, los de las amibas, los de las células cancerosas que viajan para instalarse en más y más órganos. Y luego vienen los más sutiles, los intracelulares, pero de una importancia increíble, sólo por citar un ejemplo, el de los cromosomas en el huso acromático de las células, cómo se mueven en lo que es una distancia enorme hacia los polos de los husos, para reconstituir el núcleo de las células hijas.

Pensado así, leer el libro me descubrió una dimensión fascinante del movimiento celular, resaltando la belleza profunda de los fenómenos biológicos.

El libro está escrito en un lenguaje simple, muy claro, muy puro, diría, pero muy académico. Los lectores percibirán, al tiempo

que aprenden, que el libro fue escrito por dos personas que conocen el tema a profundidad no sólo por haberlo leído en otros libros, sino de primera mano, de años de vivir en él, con él, de descubrir en el laboratorio los secretos del citoesqueleto o del movimiento de las amibas, o de los pigmentos de la retina.

Pero en ese mismo sentido se percibe también que los autores manejan un lenguaje pulido, sencillo y elegante al mismo tiempo. Se percibe, quien sabe cómo pero así es, que detrás de este lenguaje están muchas horas de lectura deleitosa, de varia naturaleza, desde textos de Nietzsche y Kierkegaard, hasta novelas de Bioy Casares o Paul Bowles. Reconozco en este libro la erudición de Eugenio, el rigor científico de Isaura y la investigación de los dos. Este libro, su hijo, les salió muy bien. Felicidades.

# Ensayo sobre motilidad celular

**Guadalupe Ortega Pierres**

Conozco a ambos autores desde hace varios años y he sido testigo de la gran dedicación que han mostrado en la realización de su trabajo científico: uno en el campo de estudio del citoesqueleto y el otro en el estudio de la motilidad celular. La originalidad de sus contribuciones en estas áreas está patente en varias publicaciones que han tenido un impacto importante a nivel internacional. En esta ocasión, la colaboración entre Isaura y Eugenio ha cristalizado en un producto escrito y organizado que integra sus conocimientos y nos ofrece la oportunidad de conocer y entender de una forma clara, sencilla y con una secuencia muy organizada lo que ellos describen como "elementos operativos esenciales que hacen posible la motilidad celular". Esta secuencia no podía ser más adecuada, ya que inician con la descripción de las moléculas básicas, los ácidos nucleicos y proteínas, cómo se generan éstas para después embeber al lector en los mecanismos que participan en el ensamblaje de las proteínas y su organización supramolecular. Las ilustraciones esquemáticas empleadas en estos capítulos dan una idea clara no sólo de cómo son los elementos básicos sino también de cómo se organizan dentro de la célula. En particular, recuerdo la figura en la cual se representan de manera esquemática algunas de las pro-

teínas que se unen específicamente a filamentos y monómeros de actina. Esta imagen permite apreciar cómo toda la gama de proteínas, cuyos nombres encantan y se entienden como elementos hermanos, responden de manera organizada a señales específicas que permiten regular de manera precisa la forma en que la actina participa en los movimientos celulares.

La descripción de las fuentes de energía que utilizan las células resulta muy oportuna para entender los mecanismos de operación de la maquinaria que produce el movimiento celular. La descripción que hacen sobre la molécula de ATP, que es un importante intermediario en el flujo de energía en las células, y el símil de su transferencia empleando el ejemplo de la caja de madera con tres bolas de hule, proveen al lector de una excelente imagen de cómo sucede este fenómeno.

Una vez que el lector ha cubierto esta parte se diría que ya tiene el conocimiento necesario sobre los elementos básicos, así como la noción sobre los combustibles que utiliza la célula para llevar a cabo la motilidad celular. De ahí puede incursionar en la fascinante descripción que hacen los autores de cómo se lleva a cabo la motilidad celular.

Considero que el capítulo en que los autores describen los motores y máquinas simples, es decir, las mecanoenzimas y polímeros de

soporte, ofrece una información no sólo fascinante sino ilustrativa de la interacción de los filamentos de miosina II con microfilamentos de actina con la participación de ATP. Aun cuando no se tienen actualmente todos los detalles de esta maravillosa interacción, sí se ejemplifica cómo este mecanismo constituye uno de los más simples diseñados por la naturaleza para realizar la motilidad celular. La descripción que hacen los autores de otras mecanoenzimas, como la dianaína, cinesina y dinamina, ofrece un entendimiento más completo de este fenómeno tan complejo.

No cabe duda que los datos aportados por los autores respecto al conocimiento actual sobre el transporte axoplásmico, las corrientes citoplásmicas, el movimiento ameboideo, basados en la participación de motores moleculares con funciones muy definidas y de las señales de control que llegan a la membrana de las células, constituyen una información básica que permite contar con elementos necesarios para incursionar en la lectura más especializada sobre estos modelos de motilidad celular por demás importantes en los procesos fisiológicos de los organismos multicelulares.

La descripción última que hacen los autores sobre aparatos de acción interna, como son los cromatóforos, migración de pigmentos retinales, el movimiento ciliar y flagelar que emplean un aparato denominado axonema, muestra la mayor complejidad de los mecanismos de motilidad celular. Estos a su vez tienen ya una regulación más elaborada acorde

La Dra. Guadalupe Ortega Pierres es investigadora titular y jefa del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav.

con la función que cada uno realiza.

La concepción de los autores acerca del sarcómero como unidad fundamental del músculo esquelético ejemplifica de manera no sólo embelesante, sino impactante, cómo unas máquinas naturales mueven otras máquinas para que, como ellos lo mencionan, "ocurra la transformación material del mundo". A esta unidad la llaman la maquinaria más perfecta y poderosa que ha creado la evolución.

Finalmente, la descripción que hacen los autores sobre el movimiento generado durante la división celular, no sólo ofrece datos para aprender aspectos básicos sobre este fenómeno, sino que incluye información que a mi juicio estimula enormemente al lector para persuadirlo a leer más sobre este fascinante fenómeno que hace que los seres vivos crezcan, se dividan y proliferen.

Si bien los autores mencionan algunos mecanismos de regulación de la motilidad celular, en particular en relación con la activación de señales, queda el lector en espera de que ellos mismos se entusiasmen por describir, ahora con más detalle, cómo ocurre esta regulación, no sólo en sistemas unicelulares sino en organismos multicelulares, en los cuales los sistemas nervioso y endocrino juegan un papel muy importante. Ojalá que en un futuro podamos gozar de una lectura, igualmente atractiva y tan elegantemente escrita como el presente texto, sobre la complejidad de los movimientos biológicos en los organismos multicelulares.

## ¿De verdad se mueven las células?

**Eugenio Frixione**

Parecerá extraño que formule esta pregunta, después de tantos años dedicados al estudio de la motilidad celular en colaboración con diversos colegas. Éstos serán sin duda los más sorprendidos. Sin embargo, con el tiempo uno empieza a preguntarse las cosas de otra manera, y el panorama no es siempre tan claro como antes. Llega un momento en el que la prudencia aconseja extemar las dudas. Para mí ese momento es ahora, justo cuando comienza a suscitar interés un libro escrito en colaboración con Isaura Meza acerca del movimiento de las células.<sup>1</sup>

Afirmamos que las células son capaces de moverse porque, desde los descubrimientos hechos por Leeuwenhoek en el siglo XVII, se las ha visto que cambian de lugar o de forma por sí mismas. El microscopio ha permitido analizar estos intrigantes fenómenos con creciente claridad; hoy en día

podemos cronometrarlos con exactitud, filmarlos y exhibirlos ante una gran audiencia. Sabemos que dependen estrictamente de energía metabólica y se ha logrado ya dilucidar la clave de sus mecanismos. No sólo se tienen identificadas las estructuras subcelulares que en ellos intervienen sino que, además, en muchos casos han sido localizados los genes que instruyen para la producción de las principales moléculas participantes. Todos los datos son congruentes con un esquema teórico de validez aparentemente general. La única dificultad estriba en que —digámoslo de una vez— el movimiento de las células es inaceptable desde un punto de vista rigurosamente racional.

Permítaseme una aclaración un poco larga pero necesaria. El planteamiento de este problema no es nuevo ni se limita sólo al caso de las células. En retrospectiva se deriva de la bien conocida discusión acerca de la naturaleza material del cosmos, iniciada en Mileto en el siglo VI antes de nuestra era. Allí el venerable Tales había concluido, luego de reflexiones hasta entonces inauditas, que en realidad el mundo está compuesto básicamente por agua. Sin embargo, esta opinión no fue compartida por su discípulo Anaximandro, que juzgó necesario suponer como origen del mundo



*El Dr. Eugenio Frixione, miembro del Consejo Editorial de Avance y Perspectiva, es investigador titular de los Departamentos de Biología Celular, Fisiología, Biofísica y Neurociencias del Cinvestav.*

algo aún más vasto que el agua, y que a falta de mejor palabra llamó "lo ilimitado." A su vez, Anaximandro habría de experimentar también la desazón de verse abandonado por su propio discípulo, Anaxímenes, quien aseguró que el principio de todas las cosas está en el aire. Por su parte Heráclito, en la vecina población de Éfeso, con su enrevesado estilo se declaró partidario del fuego como elemento esencial.

La controversia irradió hasta el territorio italiano con la llegada a Crotona del solemne Pitágoras, convencido de que en los números y sus exquisitas relaciones —y no en un sustrato material— está el verdadero secreto del universo. Poco después se mudó a Elea el bienhumorado Jenófanes, que en sus ratos de seriedad vió en el agua y la tierra las raíces de todo. Y en la misma Elea tocó al fin su turno a alguien, Parménides, que concluyó que toda esta algarabía de opiniones encontradas no llegaba a ninguna parte. Para urdir una nueva cosmogonía del tipo propuesto por sus predecesores, decía, bastaba con sólo proponérselo. Como prueba de ello inventó una teoría del universo, tan plausible como las anteriores, en la que todo se hace provenir de dos opuestos primordiales, la luz y la oscuridad. Pero este camino para abordar el problema —advirtió Parménides— no es el que mejor conviene a un intelecto cauto y responsable. La vía correcta consiste en pensar rigurosamente. Y así, pensando con sumo cuidado, nos legó la colosal dificultad que hoy me siento obligado a recordar por las razones que expondré más adelante.



Para empezar, Parménides partió de una premisa inobjetable: existe únicamente el Ente porque la existencia del no-Ente es inconcebible y un contrasentido. De aquí se deriva por necesidad que el Ente existe desde siempre y para siempre —es decir, que no tuvo principio ni tendrá fin— porque para ello sería preciso suponer que fuera precedido o sucedido por el inimaginable y absurdo no-Ente. Puede asegurarse además que el Ente es de tamaño invariable; pues ambos cambios implicarían interconversiones con un no-Ente que, como se ha demostrado ya, no puede existir. Ni es posible que haya diferencias dentro del propio Ente —que sea, por ejemplo, más denso en un lugar que en otro— dado que para esto se requeriría que en los sitios de menor plenitud hubiera una especie de mezcla con el inconcebible no-Ente. El Ente es, por consiguiente, único, eterno, continuo, homogéneo... e inmutable. En vista de que el Ente es incapaz de sufrir variación alguna, no hay forma de que ocurra

movimiento. Y si Heráclito y los demás replican airados que la evidencia indica lo contrario, que el mundo aparece múltiple, variado, cambiante y en constante movimiento, habrá que recomendarles que no se dejen engañar por sus sentidos y se atengan a la verdad pura que revela un pulcro razonamiento.

Parménides debe de haber sido un sujeto apacible que, terminada la presentación de sus poemas didácticos —puesto que prefería aleccionar en versos—, dejaba que cada quien eligiera entre las dos opciones que ofrecía para el conocimiento: la sabia y la necia. Sus principales alumnos, sin embargo, eran discutidores natos. Uno de ellos, Meliso, fue comandante naval y no se andaba con poemas. En prosa directa y llana contribuyó a la filosofía eleática al agregar que el Ente debe ser además infinito porque si tuviera límites por necesidad colindaría con el no-Ente, que por definición no puede existir. Su deducción de que no existe el movimiento es de lo más elocuente:

*No hay además vacío alguno. Porque el vacío no es cosa alguna, y no hay manera cómo llegue a ser lo que no es cosa alguna. Ni se mueve el Ente, pues no tiene ya lugar a dónde ir, puesto que hay lleno; que, si se diera un vacío, a tal lugar vacío pudiera trasladarse; mas, no habiendo tal vacío, no tiene a dónde ir. (...) Así que, por necesidad, donde no hay vacío hay lleno; y si hay lleno, no hay movimiento.<sup>2</sup>*

Si estas abstracciones parecen demasiado distantes de la motilidad celular, considérese la apor-

tación brindada a la filosofía eleática por Zenón, quien según algunos fue hijo o entenado de Parménides.<sup>3</sup> El ejemplo más célebre es una carrera imaginaria entre Aquiles, el intrépido héroe de la *Ilíada*, y una tortuga. Zenón argumentaba que si la tortuga arrancara primero Aquiles nunca podría ya rebasarla, porque en el tiempo que le tomara alcanzarla la tortuga habría avanzado a su vez un tanto, y mientras Aquiles recorriera esta distancia adicional la tortuga habría adelantado un poco más todavía, y así hasta el infinito —de manera que la tortuga iría siempre al frente en la carrera. Desde luego, Zenón no creía que tal competencia pudiera jamás acontecer en la realidad, pues en su opinión "lo movido no se mueve ni en el lugar en que está ni en el que no está".<sup>2</sup> Simplemente no hay movimiento, como quedó puesto en claro por Parménides y Meliso mediante un esmerado ejercicio del intelecto. Ahora bien, si Aquiles y la tortuga no podrían moverse en la realidad, estamos obligados a concluir que sus músculos tampoco pueden hacerlo. Y si los músculos, compuestos por células especializadas en la actividad motora, no se mueven, ¿qué decir de las demás células?

Los intentos para revelar una falacia radical en la inexpugnable posición de los filósofos eleáticos constituyen una lista casi interminable. Pero esta misma multiplicidad de aparentes respuestas es la que en el fondo más preocupa, porque con una buena y contundente bastaría. En la práctica adoptamos la actitud de Diógenes el Cínico. Se cuenta que, encon-

trándose cierta vez en una reunión donde se defendía la filosofía eleática, Diógenes se levantó y comenzó a deambular en silencio y sin descanso por entre la concurrencia. Los hechos, más que las palabras, le parecieron el mejor recurso para convencerse de que el movimiento existe. Sin embargo, Parménides hubiera replicado con una sonrisa que eso era tan sólo *mostrar* el movimiento, no *demonstrar* su existencia.

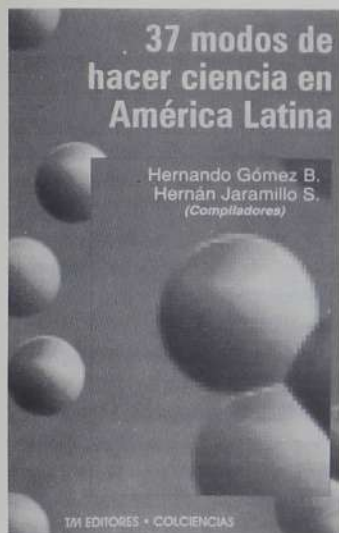
Se comprenderá entonces que la situación de quienes hemos dedicado la vida a estudiar el movimiento resulte particularmente discutible. El asunto no pasaría de ser un ameno tema de tertulia si no implicara riesgos de consideración en el orden pragmático, sobre todo en México. Por fortuna, hasta ahora el rendimiento en la investigación sobre este tipo de cuestiones ha sido valorado de manera equivalente al de otras áreas. Pero siempre cabe la posibilidad de que algún día un miembro cualquiera de nuestras múltiples instancias de evaluación académica señale este singular talón de Aquiles (talón que, por cierto, ni el mismo Zenón puso en duda al referirse al héroe). Las colecciones de reimpresos de artículos publicados sobre estos tópicos serían entonces vistas quizás como lastimosos ejemplos de derroche en aras de la futilidad. Los comités calificadoros, nunca faltos de creatividad para ajustarse a las complejidades de cuantificar la producción intelectual, optarían acaso por introducir las puntuaciones negativas o los sumandos con números imaginarios en sus ecuaciones. En cualquier caso el efecto final sobre el ingreso neto de los investigadores del mo-

vimiento sería, en una palabra, impredecible.

De aquí que, luego de no poca meditación, me haya decidido a dejar constancia impresa de que no todos los especialistas en motilidad somos ajenos al peligro de estar atareados con una mera ilusión. Sirva lo cual, al menos, para vernos exculpados de una eventual acusación de ingenuidad. Confío en la solidaridad comprensiva de mis colegas y agradezco al editor la oportunidad de hacer pública esta opresiva congoja. 

## Notas

1. I. Meza, y E. Frixione, *Máquinas Vivientes. ¿Cómo se mueven las células?*, Colección "La Ciencia desde México", núm. 143. (SEP/Fondo de Cultura Económica/CONACYT, México, 1996).
2. *Los Presocráticos*, J. D. García Bacca (Trad.), Colección Popular, núm. 177. (Fondo de Cultura Económica, México, 1980).
3. Diógenes Laercio, *Vidas de los Filósofos más Ilustres* (Libros VIII a X), J. Ortiz Sanz (Trad.), Colección Austral, núm. 978 (Espasa-Calpe Argentina, Buenos Aires, 1951).
4. B. Russell, *A History of Western Philosophy*, Unwin Paperbacks (Counterpoint, Londres, 1984).
5. G. S. Kirk, J. E. Raven y M. Schofield, *Los Filósofos Presocráticos*. Historia crítica con selección de textos, Biblioteca Hispánica de Filosofía, núm. 63. (Editorial Gredos, Madrid, 1987).



**37 modos de hacer ciencia en América Latina**, H. Gómez y H. Jaramillo (compil), TM Editores/Colciencias, Bogotá, 1977

#### Miguel A. Pérez Angón

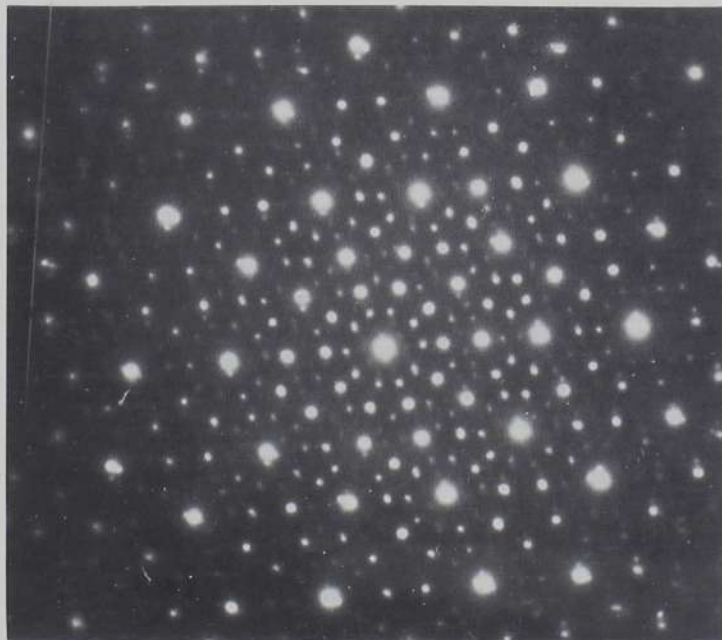
No existen inventarios sobre las entidades que desarrollan actividades de ciencia y tecnología en América Latina. Menos aún estudios sistemáticos sobre el modo de hacer ciencia y tecnología en unidades de investigación de nuestra región geográfica. Por ello resulta bienvenido el libro *37 modos de hacer ciencia y tecnología en América Latina*, que contiene ensayos escritos por diez autores sobre un "muestreo dirigido" que abarca 37 instituciones latinoamericanas abocadas a la investigación en ciencias básicas (cinco), ciencias de la salud (cuatro), ciencias agrícolas (trece), tecnología industrial (nueve)

y ciencias sociales (seis). Están representados 14 de los 20 países latinoamericanos: Argentina (con 3 instituciones) Bolivia (1), Brasil (2), Colombia (11), Costa Rica (1), Cuba (1), Chile (4), Ecuador (1), Guatemala (1), México (2), Panamá (1), Perú (3), Uruguay (1) y Venezuela (4). La selección de las instituciones consideradas en el estudio refleja en buena medida el origen de los autores de los ensayos (de 10 autores en total, 8 son colombianos), y por lo tanto no se buscó con tal selección cubrir alguna especie de representatividad geográfica o de jerarquía académica.

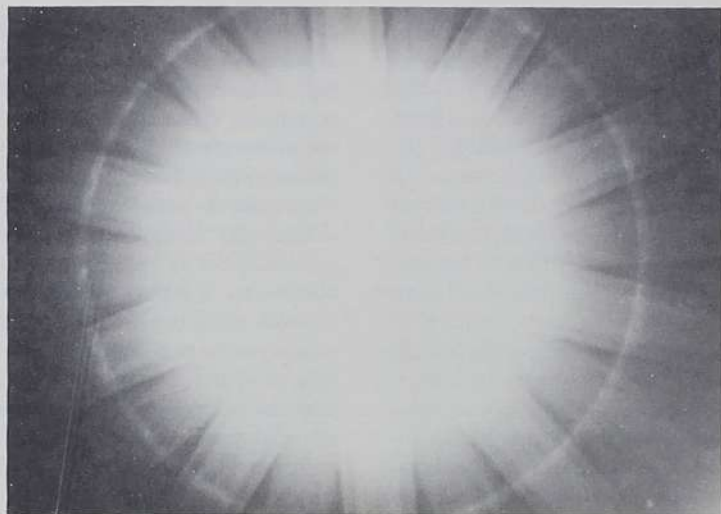
Las contribuciones que integran este texto están escritas por sociólogos y economistas. De manera natural eligieron entonces cubrir cinco aspectos o dimensiones en el análisis y la descripción de los 37 entidades de investigación consideradas: el personal

científico, su disciplina o área de especialidad (el proyecto de saber), su comunidad intelectual (el grupo), las prácticas administrativas y financieras de la institución respectiva y algunos agentes externos (usuarios, patrocinadores, interlocutores). Entre las conclusiones principales de estos ensayos se plantea que si falta o falla alguna de estas cinco circunstancias, hay menos ciencia o la actividad científica es menor; que si estos cinco dominios convergen, si se refuerzan mutuamente, la labor científica se desarrolla mejor.

Es posible percibir un rasgo común en los 37 ensayos que componen este libro: determinar en qué medida se ha institucionalizado el quehacer científico en las entidades latinoamericanas bajo estudio. La conclusión en la mayoría de los casos considerados es alarmante, aunque en buena medida también esperada: la pro-



El Dr. Miguel A. Pérez Angón, miembro del Consejo Editorial de *Avance y Perspectiva*, es investigador titular y jefe del Departamento de Física del Cinvestav.



ducción científica institucionalizada en una *rara avis* en el panorama latinoamericano. Se concluye, además, que la diversificación excesiva de objetivos o procedimientos crea el riesgo de dispersión con baja productividad científica, mientras que la sobreespecialización de las metas o metodologías agudiza la vulnerabilidad a cambios en el ambiente local. En fin, que el proceso de institucionalización de la ciencia es un sistema adaptativo complejo.

Las dos instituciones mexicanas incluidas en el presente texto son el Cinvestav y el Inifap (Instituto Nacional de Investigación sobre la Fauna, la Agricultura y la Pesca). Este último está contemplado en un análisis comparativo sobre los Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria (Inas) en América Latina. En cambio, el Cinvestav está comprendido en la sección correspondiente a las ciencias básicas con otras tres instituciones latinoamericanas con las que guarda muy pocas características en común: el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

(Ivici), el Centro Internacional de Física (Cif) y la Escuela Nacional de Física Teórica (Enafit). Mientras que las dos últimas instituciones colombianas están restringidas al campo de las ciencias físicas, el Ivici y el Cinvestav cultivan un mayor número de disciplinas científicas: química, física, matemáticas, ecología, antropología, biotecnología agrícola, teoría de la ciencia en el Ivici, en tanto que en el Cinvestav las especialidades cubiertas se agrupan por áreas: ciencias exactas, ciencias biológicas y de la salud, ingeniería y tecnología, y ciencias sociales y humanidades. Los ensayos sobre estas dos instituciones fueron escritos por la Dra. Hebe M.C. Vessuri, directora del Departamento de Estudios sobre la Ciencia del mismo Ivici, y que ha mantenido un añojo interés sobre la actividad científica mexicana<sup>1</sup>. Por ello no resulta sorprendente constatar que su artículo sobre el Cinvestav está ampliamente documentado, y hasta podría decir que con una mayor riqueza de información que el de su propia institución de adscripción,

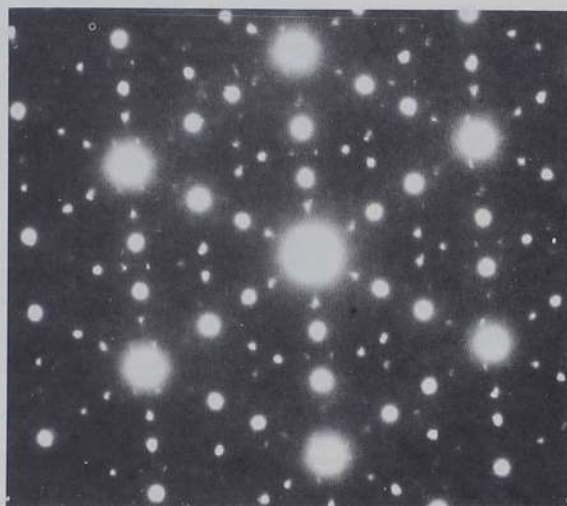
el Ivici. Para los que hemos estado ligados al proceso editorial de *Avance y Perspectiva* (AyP), resulta gratificante apreciar que prácticamente toda la información contenida en el artículo sobre el Cinvestav proviene de las páginas de AyP: desde la estructura organizativa (toma de decisiones, disponibilidad financiera, estructura del personal), pasando por la institucional (actividad de investigación, investigación aplicada, relaciones con el sector productivo, Comisión de Promoción y Estímulos para Investigadores, Copei), y la docencia de posgrado (estructura, requisitos, impacto institucional, sociedad de alumnos).

De las conclusiones obtenidas por la Dra. Vessuri sobre el Cinvestav, se pueden destacar: (i) el papel estratégico que tienen la estabilidad y la transparencia de las reglas laborales, así como los canales establecidos para crear consenso, para la institucionalización de la ciencia; (ii) la mística de las etapas tempranas dio lugar a la organización formal, con una cultura profesional cada vez más sólida y relacionada con las redes apropiadas de publicación, divulgación, evaluación del trabajo científico y de representatividad en los lobbies de la política científica y tecnológica nacional; (iii) la actividad que define la misión del Cinvestav es la investigación, con la noción de autonomía como un acto eminentemente individual que se cultivó como filosofía del Centro desde el inicio; (iv) el propósito de lograr el balance adecuado entre fijarse como meta la excelencia internacional y mantenerse inserto en la sociedad local al tratar de encontrar soluciones al proceso de

modernización de la producción industrial mexicana.

Los objetivos que se plantearon los autores de este texto se cubrieron con creces: realizar un análisis descriptivo y cualitativo sobre la empresa institucional de 37 centros dedicados a la actividad científica en América Latina. Sin embargo, dentro de este planteamiento radican las dos principales limitaciones, según mi entender, de esta publicación: la primera está asociada a la falta de un análisis comparativo sobre las virtudes y defectos de las 37 instituciones. Para mencionar el caso específico del área de las ciencias básicas, ¿cuáles son las ventajas y desventajas del modo de hacer ciencia entre el IVIC y el Cinvestav? O para ir todavía más lejos, a una meta más ambiciosa no contemplada por los autores del presente texto, ¿es posible identificar rasgos comunes del modo de hacer ciencia entre diversas instituciones científicas de América Latina? ¿En qué medida estos rasgos han tenido repercusiones positivas en su producción científica y en el proceso de formación de nuevos investigadores? Como un científico interesado en el desarrollo de la ciencia en nuestro ámbito latinoamericano, me gustaría contar con análisis similares a los publicados para el Ivic y el Cinvestav para otras instituciones de amplio arraigo en el medio latinoamericano como el Cbpf (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) o el Centro Atómico Bariloche de Argentina.

La segunda limitación de este libro está asociada al estudio de los aspectos cuantitativos de evaluación



de la actividad científica. Con el advenimiento de las técnicas bibliométricas utilizadas para determinar la repercusión internacional de las publicaciones científicas, los análisis sobre la ciencia latinoamericana deberían verse enriquecidos con ellas. En el ámbito mexicano éste ha sido el caso<sup>2</sup>. Sobre el medio latinoamericano existen dos estudios recientes sobre la producción científica generada por nuestras comunidades académicas. Uno realizado por *Nature*<sup>3</sup> y el otro por *Science*<sup>4</sup>. Sería deseable que nuestros propios investigadores interesados en el estudio de la ciencia completaran esta visión cuantitativa de la ciencia. Con ello se podrá definir con mayor nitidez el perfil de nuestra comunidad científica. Es cierto que estas técnicas bibliométricas se han vuelto populares en nuestro medio a raíz de la instrumentación de los procesos de evaluación de las comunidades académicas, procesos que son utilizados para otorgar estímulos económicos a los investigadores. No obstante, la imagen que obtendremos a partir de

la integración de ambas descripciones redundará en un mejor conocimiento de nuestro potencial científico. Debemos estar preparados para detectar en qué medida los sistemas de estímulos económicos para los investigadores y los consecuentes procesos cuantitativos de evaluación del trabajo académico repercutirán en el modo de hacer ciencia en América Latina.



## Notas

1. Véase, por ejemplo, su artículo "Alvarez Buylly y Acta Physiologica Latinoamericana"; *Avance y Perspectiva* **11**, 173 (1992).
2. H. Aréchiga, "La ciencia mexicana en el contexto global", en *México, ciencia y tecnología en el umbral del Siglo XXI*, (Conacyt, México, 1994) y múltiples referencias contenidas en este artículo.
3. *Nature* **368**, 789 (1994).
4. *Science in Latin America, Science* **267**, 808 (1995).



## INFORMACION PARA LOS AUTORES de *Avance y Perspectiva*

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

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

Los artículos y notas recibidos serán evaluados por especialistas seleccionados por el Consejo Editorial. Los artículos de divulgación deben dar cuenta de los logros o avances obtenidos en las especialidades que se cultivan en el CINVESTAV. Se buscará que su contenido sea ameno y novedoso. Deberán ser escritos a máquina, a doble espacio, con márgenes amplios y extensión máxima de 20 cuartillas.

El lenguaje debe ser accesible a estudiantes de licenciatura sin perjuicio de la información científica o académica contenida en el artículo. Cuando sea necesario el uso de tecnicismos, deberá explicarse su significado con la amplitud conveniente. Se recomienda la inclusión de recuadros que aclaren el significado de conceptos de difícil comprensión. Dentro de lo posible, se evitará el uso de fórmulas y ecuaciones. Los artículos pueden tener subtítulos o incisos y un resumen al principio, no mayor de cinco líneas, a manera de introducción, que atraiga el interés del lector. Las referencias bibliográficas aparecerán completas al final del artículo; cuando se mencionen en el artículo deberán indicarse con un superíndice y estar numeradas por orden de aparición.

Deberán enviarse los originales de las figuras, gráficas o fotografías que acompañen el texto. Las figuras y gráficas se deben preparar por computadora a línea sin pantallas o con tinta china sobre papel albanene con buena calidad. Los autores recibirán las pruebas de galera de sus artículos con la debida anticipación. Sin embargo, para evitar retrasos en el proceso de publicación, los autores que usen un procesador de textos en microcomputadora, además del texto impreso en papel, deben enviar su texto grabado en un disco flexible. Los procesadores de texto útiles para este propósito son: *Microsoft Word*, *Word Perfect*, *Ami Pro*, *Xy Writer*, *Wordstar* y *Multimate*, guardando el documento con la extensión DOC.



**Introducción a la superconductividad**, Oracio Navarro Chávez, Editorial Aula Magna, 1977

### Rafael Baquero

Este libro corresponde al número 11 de la serie con que la Universidad Autónoma de Sinaloa está enriqueciendo la literatura científica que se origina en México. Anterior a éste, ya han aparecido dos publicaciones de carácter general e introductorio sobre el tema de la superconductividad, el mismo que aborda el texto que nos ocupa en esta ocasión. Los dos libros anteriores corresponden al folleto *Introducción a la superconductividad*, R. Baquero (1981), originalmente editado por el Departamento de Física del Instituto de Ciencias de la UAP, y el libro *Superconductividad* de Fernando Magaña del IIM de la UNAM (1987) dentro de la colección "Ciencia desde México" que edita el Fondo de Cultura Económica.

El libro de Navarro destaca como una contribución sistemática que se acerca mucho más a un texto, apto para apoyar un curso formal, con respecto a los anteriores.

Hace falta en la literatura mundial un texto intermedio que permita enseñar el tema en el último año de un programa de licenciatura en física. El libro de Navarro es una aportación muy interesante en esta dirección. Es útil advertir que contiene algunos errores tipográficos y ligeras inconsecuencias que, de ninguna manera, le quitan su enorme mérito ni lo sacan de su justo lugar: es el único texto, como tal, que hemos producido en México, en nuestro idioma, sobre el fenómeno de la superconductividad.

El libro recorre las propiedades termodinámicas, la electrodinámica de un superconductor y la interacción electrón-fonón, en una primera parte. Los capítulos contienen apéndices que se encargan de las técnicas matemáticas.

Navarro va rápidamente al punto central, evitando el exceso de detalles. El capítulo cuarto, por ejemplo, introduce muy rápidamente la segunda cuantización que se usa en la formulación del hamiltoniano de Frohlich que describe la interacción electrón-fonón. Enseguida, encuentra las bases para poner en evidencia la posibilidad de que dos electrones resulten atrayéndose a través de la red, usando una conocida transformación canónica. El resultado queda muy claro y está sustentado por dos apéndices matemáticos que le dan rigor al planteamiento.

El capítulo 5 es un muy buen acierto de este libro. Expone la teoría BCS, primera que haya explicado de manera consecuente este precioso fenómeno. Una introducción ubica el problema y



aborda el tema predilecto de la superconductividad: los pares de Cooper. Sobre él, monta la teoría BCS y luego el modelo BCS, precedido de un tratamiento detallado de la transformación de Bogoliubov-Valentin. Finalmente, la energía de condensación, la función de onda del estado base superconductor y las ecuaciones para la brecha y la temperatura crítica son derivadas dentro de este modelo. Un bello capítulo, al que quizá se le podría agregar algo más de la termodinámica que se deriva del modelo BCS.

En el siguiente capítulo, el libro afronta, con habilidad, un tema matemático muy complejo, las ecuaciones de Eliashberg, y se detiene en el análisis del tema sutil de las derivadas funcionales. El capítulo deja sólo algunas ideas de este

profundo tema que me parece, es lo adecuado al nivel que pretende. Un capítulo final que ilustra el modelo de Hubbard (muy usado en los intentos modernos de hacer una teoría de los superconductores de alta  $T_c$ ) cierra el libro.

Una limitación grande del libro es que no trata los nuevos materiales superconductores. Quizás en una nueva edición el autor se decida a hacerlo.

Este libro debería usarse como texto en las clases de superconductividad, a nivel introductorio. Se puede mejorar, se puede extender, se puede corregir, pero —creo yo— es lo mejor que tenemos hoy, producido aquí y en nuestra lengua. ¡Felicitaciones al autor!

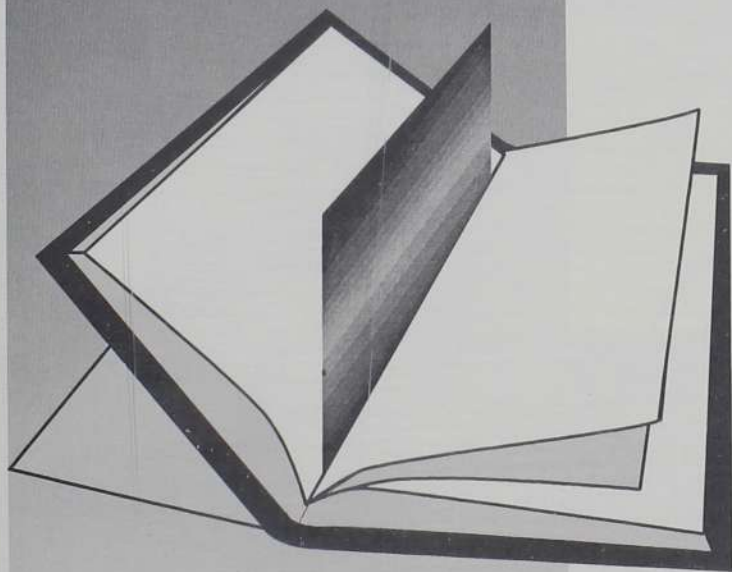




## El Colegio Nacional

### Colección de textos

*Rubén Bonifaz • Olmecas, esencia y fundación*  
*Carlos Chávez • Hacia una nueva música*  
*Leopoldo García-Colín • Contaminación atmosférica*  
*Antonio Gómez Robledo • Dante Alighieri*  
*Miguel León-Portilla • Raíces indígenas, presencia hispánica*  
*Marcos Mazari • Problemas de la Cuenca de México*  
*Ruy Pérez Tamayo • Burke y Hare y otras historias*  
*Octavio Paz • Blanco*  
*Beatriz de la Fuente • Arte prehispánico funerario*  
*Alfonso Reyes • Animalia*



### Colección de Obras

José Adem  
Salvador Elizondo  
Enrique González Martínez  
Jesús Kumate  
Manuel Martínez Báez  
Adolfo Martínez Palomo  
Marcos Moshinsky  
Ezequiel Ordóñez  
Arturo Ronsenblueth  
Pablo Rudomín  
Gabriel Zaid

**OFRECE LOS TÍTULOS DE SUS MIEMBROS  
E INVITA A VISITAR SU BIBLIOTECA**

Luis González Obregón núm. 23,  
Centro Histórico,  
Tel 789 43 30 Fax. 702 17 79  
E-mail: col.nal@mail.internet.com.mx.

# Simposio en honor de José Adem

2 de septiembre de 1997

Con motivo de la inauguración del Auditorio José Adem, en las instalaciones de los departamentos de Física, Matemáticas y Matemática Educativa del Cinvestav, se invita a la comunidad académica al Simposio en honor de José Adem que tendrá lugar el 2 de septiembre de 1997 a partir de las 9 horas.

## Conferencistas invitados

- Nora E. Bretón, Cinvestav
- Samuel Gitler, Cinvestav/Univ. Rochester
- Francis Halzen, Univ. de Wisconsin
- Carlos Imaz, Cinvestav
- R. James Milgram, Univ. de Stanford\*
- James Wertsch, Univ. Clark\*

## Mayores Informes:

Departamento de Matemáticas:

Tel: 747 7000 Ext. 4118

[eramirez@math.cinvestav.mx](mailto:eramirez@math.cinvestav.mx)

Departamento de Física:

Tel: 747 7000 Ext. 4200

[admision@fis.cinvestav.mx](mailto:admision@fis.cinvestav.mx)

Departamento de Matemática Educativa:

Tel: 688 63 12 y 688 29 08

[mrojanoa@mailier.main.conacyt.mx](mailto:mrojanoa@mailier.main.conacyt.mx)

\* Por confirmar

# Maestría y Doctorado en Ciencias

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN

Departamento de Ingeniería Eléctrica

sección de

## CONTROL AUTOMÁTICO

### Teoría de Sistemas

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

### Robótica y Visión Artificial

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

### Control de Procesos

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

### Becas

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

### Correspondencia

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



CINVESTAV

# Tercera conferencia de Ingeniería Eléctrica

**K.S. Narendra** (Por confirmar)

Yale University  
EUA

**J.A. Gallego-Juárez**

Instituto de Acústica CSIC  
España

**P. Hajek**

Academia Checa de Ciencias  
República Checa



**L.M. Martynov**

Ministerio de Telecomunicaciones  
Rusia

**Y.Z. Tsyarkin**

Instituto de Control Automático  
Rusia

**C. Yang**

Santa Clara University  
EUA

El Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV - IPN invita a su Tercera Conferencia de Ingeniería Eléctrica "CIE 97", la cual se llevará a cabo los días 17, 18 y 19 de septiembre de 1997, en la sede Zacatenco del CINVESTAV.

Av. Instituto Politécnico Nacional  
2508, Col. San Pedro Zacatenco,  
07360 México, D.F.

Informes:

Dr. Guillermo Morales-Luna

Sra. Ma. del Carmen Quintero

Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
CINVESTAV-IPN

Tel. 747-7000 ext. 3018, Fax: 747-7002

e-mail: cie97@mxvax1.red.cinvestav.mx

URL: <http://www.cinvestav.mx/webelect/>



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN